산림바이오매스 산정을 위한 LiDAR 자료와 고해상도 위성영상 활용 Application of LiDAR Data & High-Resolution Satellite Image for Calculate Forest Biomass

이현직* · 유지호**

Lee, Hyun Jik · Ru, Ji Ho

要 旨

이산화탄소 배출로 인한 지구온난화로 발생하는 기상이변에 따른 경제적 손실은 2100년까지 세계 GDP의 5~20% 예상되며, 전 세계적으로 이산화탄소 배출량 감소를 위한 기술 개발이 고부가가치 산업으로 급부상하고 있다. 1997년 교토의정서에 따라 이산화탄소 배출량을 평균 5%수준으로 감축하자는 내용이 채택되고 우리나라도 2013년 2차 의무대상국 지정이 유력하게 되어 이산화탄소 배출량 감축을 위한 다양한 사업 및 연구가 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 LiDAR자료와 KOMPSAT-2 위성영상을 활용하여 산림 바이오매스를 산정하였다. 원시 LiDAR 자료로부터 추출된 수목의 객체수와 수고를 현장조사 자료와 비교 하였을 때, 객체 수는 평균 90%이상의 유사성을 나타내고 수고는 평균 0.3m의 수고차를 나타냈으며, KOMPSAT-2 위성영상과 LiDAR 자료로 분류된 임상정보로 산림바이오매스를 산정 하였을 때, 객체목의 수고자료를 이용하여 임상별 산림 바이오매스와 이산화탄소 흡수량 산정이 가능하였으며, 현장조사와의 유사성은 평균 90%이상으로 높게 분석되었다.

핵심용어 : LiDAR 자료, 고해상도 위성영상, 산림 바이오매스

Abstract

As a result of the economical loss caused by unusual climate changes resulting from emission of excessive green house gases such as carbon dioxide which is expected to account for 5~20% of the world GDP by 2100, researching technologies regarding the reduction of carbon dioxide emission is being favored worldwide as a part of the high value-added industry. As one of the Annex II countries of Kyoto Protocol of 1997 that should keep the average CO₂ emission rate of 5% by 2013, South Korea is also dedicated to the researches and industries of CO₂ emission reduction.

In this study, Application of LiDAR data & KOMPSAT-2 satellite image for calculated forest Biomass. Raw LiDAR data's tree numbers and tree-high with field survey data resulted in 90% similarity of objects and an average of 0.3m difference in tree-high. Calculating the forest biomass through forest type information categorized as KOMPSAT-2 image and LiDAR data's tree-high data of tree enabled the estimation of CO₂ absorption and forest biomass of forest type, The similarity between the field survey average of 90% or higher were analyzed.

Keywords : LiDAR data, High-Resoultuon Satellite Image, Forest Biomass

1. 서 론

지구온난화는 1972년 로마클럽 보고서에서 처음으로 거론되기 시작됐으며, 1985년 유엔환경계획(UN Environmental Plan, UNEP)과 세계기상기구(World Meteorological, WMO)는 지구온난화의 주요인이 이산화탄소임을 공식 선언하였다. 전 세계적으로 대기 중

이산화탄소량은 산업화 이전인 1750년 280ppm에서 2005년에는 379ppm으로 증가하였고, 특히 지난 10년간 이산화탄소는 매년 2ppm씩 증가한 것으로 조사되었으며, 이산화탄소량의 증가로 인한 지구온난화는 전 세계적으로 해수면 상승, 생물종 손실, 태풍과 같은 기상이변을 일으키고 있으며, 이로 인한 경제적 손실은 2100년까지 세계 GDP의 5~20% 예상되고 있다(김현,

2012년 1월 1일 접수, 2012년 3월 15일 채택

* 정회원 · 교신저자 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수(hjikle@sangji.ac.kr)

** 정회원 · 상지대학교 대학원 토목공학과 박사(sjce96@hanmail.net)

2010; 장안진, 2008).

전 세계적으로 이산화탄소 배출량 감소를 위한 기술 개발이 고부가가치 산업으로 급부상하고 있다. 1997년 교토의정서에 따라 이산화탄소 배출량을 평균 5%수준으로 감축하자는 내용이 채택되고 우리나라도 2013년 2차 의무대상국 지정이 유력하게 되어 이산화탄소 배출량 감축을 위한 다양한 사업 및 연구가 진행되고 있다. 그 중 산림은 이산화탄소의 주요 흡수원으로 산림의 바이오매스를 산정하고 모니터링하는 기술 개발을 통해 경제적 효과 및 저탄소 녹색성장 산업의 발전을 도모할 수 있다(국립산림과학원, 2010). 기존의 산림의 바이오매스 산정은 공간해상도(GSD : Ground Sampling Distance) 30m이상의 저해상도 위성영상을 이용한 처리 기술을 기반으로 이루어지고 있어 고해상도 위성영상에 적합한 바이오매스 산정 기술이 필요한 실정이다. 하지만, 위성영상자료만을 이용한 바이오매스 산정의 한계가 예상되며, 산림의 수직적 구조의 분석이 가능한 LiDAR 자료와 고해상도 위성영상을 융합한 바이오매스 산정 기술이 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 위성영상 또는 항공 LiDAR 자료만을 이용한 산림 바이오매스 산정 기법의 한계가 예상됨에 따라 위성영상과 LiDAR 자료를 융합하여 산림의 임상 정보와 수고 및 흉고직경 등의 산림정보를 추출하고 이를 이용한 산림바이오매스 산정 기법을 제시하였다.

2. 기존 산림 바이오매스 산정 기법 분석

산림 바이오매스를 산정하는 기법은 현장조사에 의한 방법, 위성영상을 이용한 방법, 항공 LiDAR 자료를 이용한 방법이 있다.

현장조사에 의한 산림 바이오매스의 산정은 일반적으로 수목의 군락지를 32m×32m를 대상으로 한 표본조사를 수행하여 산정한다. 표본조사는 표본지역 내의 모든 수종별 흉고직경 및 수고를 계측하여 줄기재적을 산정하여 표본지역의 산림 바이오매스를 산정하며, 표본지역의 조사자료를 바탕으로 각 매개변수의 계수를 산정하는 방법과 기존 산림 바이오매스 산정 매개변수 계수를 이용하는 방법이 있다.

위성영상을 이용한 산림 바이오매스의 산정 기법은 회귀방정식을 이용한 방법과 수관(Tree Crown)직경을 산정하는 기법이 대표적으로 이용되고 있다. 회귀방정식을 이용한 산림 바이오매스의 산정 기법은 일반적으로 대규모 지역의 산림 바이오매스의 산정에 이용되며, 주로 저·중해상도 위성영상을 이용하기 때문에 임목

의 재적 및 축적의 산정이 어려워 영상의 분광정보와 현장조사 자료와의 상관성을 분석하여 회귀방정식에 의해 산정한다.

수관직경을 이용한 산림 바이오매스의 산정 기법은 일반적으로 소규모 지역의 산림 바이오매스의 산정에 이용된다. 고해상도 위성영상 또는 항공사진을 기반으로 영상분류기법을 이용하여 임상 및 수종분류하고, 영상에서 수목의 객체별 수관직경을 관측하여 수관직경을 매개변수로 상관식을 이용하여 흉고직경 및 수고의 산정하여 줄기재적에 의한 산림 바이오매스를 산정하는 기법이다. 그러나 수관직경을 이용한 산림 바이오매스의 산정 기법은 정확도가 높은 반면 임상, 수종 분류와 수관직경의 산정은 주로 수작업에 의한 이루어지고 있어 이에 대한 자동화 방안이 요구된다.

항공 LiDAR 자료를 이용한 산림 바이오매스의 산정 기법은 수관직경을 산정하는 기법과 수고산정 기법이 있다.

수관직경을 산정하는 기법은 LiDAR 자료의 지면점과 식생점을 이용하여 수치수관모델(DCM : Digital Canopy Model)을 생성하고, 광학영상인 위성영상 또는 항공사진과 DCM을 합성하여 임상과 객체목을 분류한다. 위성영상을 이용한 수관직경 산정 기법과 동일한 방법으로 객체목별 수관직경을 산정하여 임목재적 또는 임목 축적을 계산하여 산림 바이오매스 산정한다.

수고산정 기법은 수관에서 최고 높이 점이 수목의 위치와 일치하며 이때는 높이는 수고와 일치한다고 할 수 있다(Felix Morsdorf et al., 2004). 따라서 항공 LiDAR 점군자료로부터 지면점과 식생점을 분류한 후 분류된 식생점들로부터 객체목의 갯수와 수목의 정점 및 객체목의 수고를 추출하고 수고정보를 통하여 객체목의 흉고직경 등의 추정함으로써 수목의 기하학적 정보를 추출할 수 있다(고신영, 2011). 항공 LiDAR 자료로부터 추출된 수고와 흉고직경을 이용해 줄기재적을 계산하여 산림 바이오매스 산정하며, 임상 및 수종에 대한 정보는 임상도, 식생도 등의 별도의 정보를 이용하거나, 위성영상으로부터 획득하여야 한다.

현장조사, 위성영상, 항공 LiDAR 자료를 이용한 산림 바이오매스의 산정 기법에 대하여 분석을 수행한 결과 현장조사에 의한 산림 바이오매스의 산정 기법은 정확한 산림 바이오매스의 산정이 가능하지만, 시간, 비용, 인력의 소모가 크고, 접근 가능한 지역에 대한 조사만이 가능하기 때문에 광범위한 지역에 대한 산림 바이오매스 산정에는 부적합하다.

위성영상을 이용한 산림 바이오매스의 산정 기법은 저해상도 위성영상의 경우 오차가 크기 때문에 국가적

또는 지방자치단체 차원의 산림 바이오매스 산정이 곤란한 상태이며, 고해상도 위성영상의 경우 국지적 지역을 대상으로 산림 바이오매스의 산정 기법에 관한 연구가 이루어져 실용화가 어려운 실정이다.

항공 LiDAR 자료를 이용한 산림 바이오매스의 산정 기법은 수목의 수직적 구조 분석에 의해 구성요소별 바이오매스 추정 가능성이 높기 때문에 높은 정도의 추정치를 얻을 수 있으나, 지상참조 자료의 수집 시 측정항목이 많고 실용화하기까지는 전문성과 기술개발이 더 필요한 단계이다.

산림 바이오매스의 정확한 산정을 위해서는 임상 및 수종의 정확한 분류와 임목재적 또는 임목축적의 산정이 주요 인자가 되기 때문에 위성영상과 LiDAR 자료의 기하학적 방사적 장점을 융합한 산림 바이오매스 산정 기법이 요구된다.

3. 연구 방법

본 연구는 기존의 산림 바이오매스 산정의 산정 기법의 한계를 극복하기 위해 고해상도 위성영상 또는 항공 LiDAR 자료를 융합하여 산림의 임상 정보와 수고 및 흉고직경 등의 산림정보를 추출하고 이를 이용하여 산림 바이오매스의 산정 기법을 개발하기 위한 연구로 고해상도 위성영상 또는 항공 LiDAR 자료로부터 산림 정보를 추출하는 단계와 각 자료로부터 추출된 산림 정보를 이용하여 최적의 산림 바이오매스를 산정하는 단계로 나누어 연구를 수행하였다.

고해상도 위성영상인 KOMPSAT-2 위성영상을 이용한 산림 정보의 추출은 객체기반분류기법을 이용한 토지피복에 대한 분류를 수행하여 산림지역을 분류하고, 산림지역에 대한 임상은 다시 활엽수, 침엽수, 혼효림으로 분류하였다. 분류된 임상은 영상을 이용한 육안

검수 및 기존 임상도와 비교 분석하였다.

항공 LiDAR 자료를 이용한 산림정보 추출은 포인트 필터링 기법을 이용한 지면점을 분류하고, 분류된 기준점을 수관 형태에 따른 산림 분류 후, 분류된 식생점에 영역확장 기법을 이용하여 수고점을 산정하였다. 이렇게 분류된 수고점을 현장조사 자료와 비교하였다.

KOMPSAT-2 영상과 항공 LiDAR 자료로 추출된 산림정보를 이용하여 산림 바이오매스를 산정하고, 현장조사 자료와 정확도 비교를 수행하여 KOMPSAT-2 위성영상과 항공 LiDAR 자료를 이용한 산림 바이오매스의 최적 산정 공정을 정립하였다.

4. 대상지역 선정 및 자료특성

4.1 대상지역 선정

본 연구에서는 동일한 지역의 고해상도 위성영상과 LiDAR 자료를 획득 가능한 강원도 횡성군을 대상지역으로 선정하였으며, 대상지역 중 횡성군청 일원을 토지피복분류 Test Field로 선정하였다. 그림 2는 대상지역을 나타낸 것이다.

4.2 자료특성

4.2.1 KOMPSAT-2 위성영상

산림지역의 임상분류를 분류하기 위해서는 다시기의 고해상도 위성영상이 요구되어 본 연구에서는 2009년 1월과 2011년 5월에 취득된 KOMPSAT-2 위성영상을 이용하였다. KOMPSAT-2 위성영상은 각 취득 시기별

그림 1. 연구 방법

그림 2. 실험 대상지역

표 1. KOMPSAT-2 영상 제원

구분	내용	
	2009.01	2011.05
지역	강원도 횡성군 일원	
취득일자	2009.01.13	2011.05.30
영상종류	GSD 1.0m : panchromatic 영상 GSD 4.0m : R,G,B,NIR 밴드 영상	
영상등급	표준정사보정	
스테레오	단일영상	

로 단일영상으로 공간해상도(GSD : Ground Sample Distance) 1m인 전정색(panchromatic) 영상, GSD 4m인 다중분광(MSS : Multi Spectral Scanner) 영상을 수집하였으며, 위성영상의 기하학적 보정에 필요한 다항식계수(RPC : Rational Polynomial Coefficients) 정보도 함께 수집하였다. 표 1은 획득한 KOMPSAT-2 영상의 제원을 나타낸 것이다.

4.2.2 LiDAR 자료

표 2. LiDAR자료 제원

구분	내용
지역	강원도 횡성군 일원
장비명	LiteMapper6800
촬영고도	약 1,400m
레이저주파수	200kHz
점밀도	평균 5point/m ²
촬영폭	700m

그림 3. 대상지역 LiDAR 자료

그림 4. 표정해석 결과

대상지역의 LiDAR 자료는 2009년 5월 취득된 자료는 평균 점밀도 5point/m²로 객체별 수고와 홍고직경을 산정하였다. 표 2와 그림 3은 LiDAR자료의 제원과 대상지역의 LiDAR 자료를 나타낸 것이다.

4.3 표정해석

KOMPSAT-2 위성영상의 표정해석은 영상과 함께 제공되는 다항식계수(RPC : Rational Polynomial Coefficients) 와 1:1,000 수치지도를 통하여 획득한 Test Field 내 지상기준점(GCP, Ground Control Point) 8점을 이용하여 수행하였다.

KOMPSAT-2 위성영상의 표정해석을 결과09년 영상의 dX는 $\pm 1.22m$, dY는 $\pm 1.37m$, dL은 $\pm 1.83m$ 로 11년 영상의 dX는 $\pm 1.30m$, dY는 $\pm 1.25m$, dL은 $\pm 1.80m$ 로 위성영상 절대표정 규정인 2화소 이내의 정확도를 나타냈다. 그림 4는 표정해석 결과를 나타낸 것이다.

4.4 정사영상 제작

KOMPSAT-2 위성영상의 정사영상은 대상지역의 LiDAR DEM을 이용하여 수치편위수정을 수행하였다.

영상재배열(Image Resampling) 보간법은 공일차내 삼법(Bilinear Interpolation)을 이용하였으며, 영상재배열은 4화소 단위로 수행하였다. 그림 5와 그림 6은 KOMPSAT-2 위성영상으로 제작된 정사영상과 1:1,000 수치지도를 중첩하여 나타낸 것이다.

KOMPSAT-2 위성영상으로 제작된 정사영상의 정확도 분석은 상지역 내의 20점의 검사점을 선정하여 1:1,000 수치지도와 상대적인 위치오차 분석을 수행하였다.

정사영상의 정확도 분석 결과 09년 영상의 평균 수평위치오차는 2.8m, 11년 영상의 평균 수평위치오차는 2.5m로 1:5,000 수치지도 수평위치오차인 $\pm 3.5m$ 보다 높은 것으로 판단된다.

그림 5. KOMPSAT-2 위성영상의 정사영상
(2009년 1월 영상)

그림 6. KOMPSAT-2 위성영상의 정사영상
(2011년 5월 영상)

5. 산림정보 추출

5.1 KOMPSAT-2 위성영상을 이용한 산림 정보 추출

산림 바이오매스를 산정하기 위한 KOMPSAT-2 위성영상으로부터 추출 가능한 산림 정보는 임상에 따른 산림지역이다. 임상별 산림지역을 분류하기 위해서는 다시기 영상 중 식생활력도가 비교적 높은 2011년 5월 영상을 이용해 토지피복에 대한 분류를 수행하여 산림 지역을 분류하고, 산림지역에 대한 임상은 다시기 영상 중 식생활력도가 비교적 낮은 2009년 1월 영상을 이용하여 활엽수, 침엽수, 혼효림으로 분류하였다.

그림 7은 KOMPSAT-2 영상을 이용한 산림 정보의 추출 과정을 나타낸 것이다.

산림지역의 분류는 식생활력도가 높은 2011년 5월에 취득된 KOMPSAT-2 위성영상으로 토지피복분류를

그림 7. KOMPSAT-2 영상을 이용한 산림 정보의 추출 과정

수행하여 산림지역에 대한 분류를 수행하였다. 토지피복정보의 분류 기법은 고해상도 위성영상에 이용되는 주제정보의 자동분류기법인 객체기반분류기법(Object-based Classification Method)을 이용하여 산림지역에 대한 영역을 분류하였다.

객체기반분류기법은 화소 기반의 영상 분류와는 달리 영상의 분광정보와 동시에 공간정보를 이용하여 영상을 객체 단위로 분할하여 영상 분류를 시행하게 된다. 이와 같은 객체의 분할에 있어서 중요한 요소가 되는 것이 객체 분할 축척(Scale), 분광 정보(Color), 공간 정보(Shape) 등이 있으며 공간 정보에 해당하는 변수로는 평활도(Smoothness)와 조밀도(Compactness)가 있다(John R. Jensen, 2004). 객체기반분류기법의 기반이 되는 객체의 분할에 있어서 가중치의 선택이 객체기반 영상 분류의 결과에 중요한 영향을 주게 된다.

본 연구에서는 2010년 “고해상도 위성영상 기반의 정밀 주제도 제작 기술 연구, 한국항공우주연구원”에서 제시된 다중 필터링 기법, 다중 분할 기법의 분할 인자의 가중치, 토지피복정보 분류를 위한 매개변수를 이용하여 산림지역을 분류하였다.

다중 필터링 기법은 영상 평활화 기법과 경계선 강조 기법을 동시에 원시 영상에 적용하는 기법으로 영상 평활화 기법은 메디안 필터를 이용하였으며, 경계선 강조 기법은 라플라시안 필터를 이용하였다. 그림 8은 토지피복 정보 및 산림지역 추출 결과를 나타낸 것이다.

산림지역의 임상 분류는 식생 활력도가 낮은 2009년 1월에 취득된 KOMPSAT-2 위성영상으로 분류하였다. 2011년 5월에 취득된 KOMPSAT-2 위성영상으로 분류된 산림 경계를 이용하여 2009년 1월 영상의 산림지역을 정의하고, 산림지역에 대한 영상 분할을 수행한 후 분할된 객체를 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), SAVI(Soil Adjusted Vegetation Index) 지수를 매개변수로 객체별 상관관계를 분석하

그림 8. 토지피복정보 및 산림지역 추출결과

여 NDVI와 SAVI 지수가 높은 순으로 침엽수, 혼효림, 활엽수에 대한 임상을 분류하였다.

임상 분류를 위한 매개변수로 사용된 NDVI는 일반적으로 가장 많이 사용되는 식생지수로 식생 성장 및 상태에 대한 모니터링이 가능 지수이며, SAVI는 NDVI를 개선한 식생지수로 토양으로 인한 적색 및 근적외선 반사도 차이가 줄어드는 현상을 개선하는 장점이 있다. 식 (1)과 식 (2)는 NDVI와 SAVI의 산정식이다(John R. Jensen, 2004). SAVI 산정식인 식 2의 L 은 토양보정인자로 본 연구에서는 일반적으로 사용되는 값인 0.5를 사용하였다. 그림 9는 산림지역의 임상분류 결과를 나타낸 것이다.

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{nir} - \rho_{red})}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (2)$$

다시기 영상을 이용한 토지피복분류를 통한 임상분류 결과와 기존 임상도의 정확도를 분석한 결과 개발로 인해 산림이 변경된 지역 외의 지역은 유사성을 가지고 있었다. 그림 10은 수치임상도와 임상 분류의 유사성을 나타낸 것이다.

그림 9. 산림지역 임상 분류 결과

그림 10. 수치임상도와 임상 분류 결과 정확도 분석

5.2 LiDAR 자료를 이용한 산림 정보 추출

본 연구에서는 앞선 연구대상지역 및 취득 자료를 바탕으로 그림 11과 같은 산림 정보 추출 과정을 선택하였다.

실험을 위해 대상지역의 원시 LiDAR 자료에서 경사도 기반 알고리즘과 각거리 알고리즘을 이용한 순수 지면점을 분류하고, 분류된 기준점을 기준으로 높이 값을 비교하여 식생점을 분류하였다. 이렇게 분류된 식생점에 영역 확장 기법과 수관형태를 고려한 수목점 분류를 수행하였다. 그림 12는 수목점을 분류하기 위한 LiDAR 처리과정을 나타낸 것이다.

그림 11. LiDAR 자료를 이용한 산림 정보 추출 과정

그림 12. LiDAR 자료를 이용한 수목점 산정

그림 13. 수고 정점 산정 방법

이렇게 분류된 수목점을 이용하여 버퍼링 기법을 통한 수고정점을 추출하고, 수고 및 흉고직경을 산정하였

다. 그림 13은 수고 정점 산정 과정을 나타낸 것이다.

LiDAR 자료로부터 버퍼링 기법을 이용하여 수고정점을 추출하여 산정된 수목의 객체수와 현장조사된 수목의 객체수를 비교한 결과를 나타낸 것으로 현장조사된 수목의 객체수와 항공 LiDAR 자료로 추출된 수목의 객체수는 평균 90% 이상의 정확도를 나타냈으며, 침엽수와 혼효림의 경우 객체수의 추출 정확도가 90% 이상으로 나타났으며, 활엽수의 경우 객체수의 추출 정확도가 86%로 나타났다. 또한 현장조사된 수목과 항공 LiDAR 자료로 추출된 수목의 위치또한 거의 동일한 위치에 존재하는 것을 확인할 수 있다.

활엽수의 추출 정확도가 다소 낮은 이유는 활엽수가 수관폭이 침엽수나 혼효림에 비해 넓어 수목의 밀도가 높게 되면 인접 수목과의 분류가 침엽수나 혼효림에 비해 어려워 상대적으로 객체수의 추출 정확도가 낮은 것으로 판단된다.

표 3은 산림 바이오매스 선정 지역내 수목 객체수 추출 정확도를 나타낸 것이다.

현장조사는 수고의 직접 측정이 어려워 흉고직경을 측정하고 산림과학원에서 제공하는 흉고직경을 매개변수로 하는 수고산정식인 식 (3)을 이용하여 실측 흉고직경에 대한 비선형회기 분석을 통하여 침엽수, 활엽수, 혼효림에 대한 식 (4)~식 (6)과 같이 수고 산정식을 도출하였다.

$$\text{기본식} : H = a \cdot DBH^b \quad (3)$$

$$\text{침엽수} : H = 3.3217 \cdot DBH^{0.5053} \quad (4)$$

$$\text{혼효림} : H = 4.0976 \cdot DBH^{0.5} \quad (5)$$

$$\text{활엽수} : H = 3.189 \cdot DBH^{0.5849} \quad (6)$$

현장 조사를 통해 획득된 흉고직경으로 산정한 수고와 LiDAR 데이터로 추출된 수고를 비교한 결과 침엽수림은 평균 0.2m, 혼효림은 평균 0.3m, 활엽수림은 평균 0.4m의 수고차이를 나타냈다. 기존 연구에서 항공 LiDAR 자료로 산정된 수고와 현장조사 자료와의 수고 차는 1m 이내로 본 연구의 성과는 매우 높은 정확도를 나타냈다. 그러나 추후 추가적으로 현장 조사(수고)를 수행하거나 NFI자료를 이용하여 수목의 객체

표 3. 산림 바이오매스 선정 지역내 수목 객체수 추출 정확도

구 분	침엽수 1	침엽수 2	혼효림 1	혼효림 2	활엽수 1	활엽수 2	평균
현장조사 수목 객체수	104	35	32	37	55	31	90.3
LiDAR Data 추출 수목 객체수	96	32	30	34	47	27	
추출 정확도(%)	92.3	91	93.8	91.9	85.5	87.1	
	91.7		92.9		86.3		

표 4. 항공 LiDAR 자료로 산정된 수고의 평균 오차

구분		침엽수1	침엽수2	혼효림1	혼효림2	활엽수1	활엽수2
오차량(m)	개별	0.20	0.30	0.30	0.30	0.40	0.30
	평균	0.25		0.30		0.35	
평균 오차량(m)		0.30					

표 5. 항공 LiDAR 자료로 산정된 흉고직경의 평균 오차

구분		침엽수1	침엽수2	혼효림1	혼효림2	활엽수1	활엽수2
오차량(Cm)	개별	0.18	1.38	0.17	1.42	0.60	1.05
	평균	0.78		0.80		0.83	
평균오차량(Cm)		0.80					

수 및 수고에 대한 정확도의 신뢰성을 확보하여야 할 것으로 판단된다.

표 4는 항공 LiDAR 자료로 산정된 수고의 평균 오차를 나타낸 것이다.

흉고직경의 산정은 현장조사를 통해 침엽수림, 혼효림, 활엽수림지역에 대한 조사 자료와 항공 LiDAR 자료를 산정된 수고를 이용하여 흉고직경 산정식인 식(7)의 매개변수를 비선형회귀분석을 통해 산정하였다. 흉고직경에 대한 정확도 분석은 현장조사를 통해 획득된 실측 흉고직경을 기준으로 항공 LiDAR 자료로 산정된 흉고직경의 차를 분석하였다.

$$DBH = a \times b^H \quad (7)$$

현장조사를 통해 획득된 실측 흉고직경과 항공 LiDAR 자료를 이용해 산정된 흉고직경의 평균오차는 최소 0.17cm에서 최대 1.42cm로 비교적 흉고직경에 대한 오차가 크게 발생하였다. 현재 산림과학원에서는 임상 및 수종에 따른 흉고직경에 대한 산정식을 제공하지 않기 때문 본 연구의 현장조사 자료만을 이용하게 되어 정확도가 낮은 것으로 판단된다. 따라서 향후 국가산림자원조사 자료 등을 확보하여 흉고직경 산정식에 대한 정확도를 향상해야 할 것으로 판단된다.

표 5는 항공 LiDAR 자료로 산정된 흉고직경의 평균 오차를 나타낸 것이다.

6. 산림 바이오매스 산정

대상지역 중 각 임상별로 2개 총 6개의 실험지역을 산정하여 산림 바이오매스를 산정하였다. 실험지역은 32m×32m로 현장조사된 산림정보와 KOMPSAT-2 위성영상 및 LiDAR 자료로 추출된 산림정보를 이용하여 산림 바이오매스를 산정하였다. 산림 정확도 분석은 현장조사를 통해 산정된 산림 바이오매스를 기준으로 위

성영상 및 LiDAR로 추출된 산림 정보를 비교 분석하였다. 그림 14와 그림 15는 대상지역 중 실험지역과 산림 바이오매스 산정 체계를 나타낸 것이다.

그림 14. 대상지역의 실험지역

그림 15. 산림 바이오매스 산정 체계

산림 바이오매스는 줄기재적에 줄기밀도(D), 지상부 확장계수(BEF), 지하부 확장계수(R)를 곱하여 산정하며, 산림의 이산화탄소 흡수량은 산정된 산림바이오매스에 탄소전환계수(CF)를 곱하여 산정한다.

줄기재적의 산정식은 흉고직경과 수고를 매개변수로 이용한 비선형회귀방정식과 흉고직경, 수고, 흉고형수를 이용한 산정식이 있다. 본 연구에서는 흉고직경, 수고, 흉고형수를 이용한 식 (8)을 이용하여 줄기재적을 산정하였다.

$$\text{줄기재적} = \frac{\pi}{4} \times DBH \times H \times \text{흉고형수} \quad (8)$$

흉고형수, 줄기밀도, 지상부확장계수, 지하부확장계수는 산림과학원에서 제공하는 자료를 이용하였으며, 임상별 수종의 흉고형수 평균값을 사용하였다. 줄기밀도는 각각 침엽수 수종의 평균 줄기밀도인 0.47, 활엽수 수종의 평균 줄기밀도 0.80, 혼효림은 침엽수와 활엽수 수종의 평균 줄기밀도로 0.64를 사용하였다.

지상부 확장계수와 지하부 확장계수도 침엽수와 활엽수 수종에 대한 값만 제공하고 있어 혼효림에 대한 확장계수는 침엽수와 활엽수 수종의 평균값을 사용하였다. 지상부 확장계수는 침엽수, 혼효림 순으로 29%, 25.2%, 22%로 사용하였으며 지하부 확장계수는 침엽수, 활엽수, 혼효림 순으로 28%, 38% 48%를 사용하였

표 6. 산림바이오매스와 이산화탄소흡수량 산정식

구분	산정식
산림바이오매스	줄기재적 $\times D \times BEF \times R$
침엽수	줄기재적 $\times 0.47 \times 1.29 \times 1.28$
혼효림	줄기재적 $\times 0.635 \times 1.252 \times 1.38$
활엽수	줄기재적 $\times 0.80 \times 1.22 \times 1.48$
이산화탄소 흡수량	산림 바이오매스 $\times CF$
침엽수	산림 바이오매스 $\times 0.4853$
혼효림	산림 바이오매스 $\times 0.4817$
활엽수	산림 바이오매스 $\times 0.4798$

다. 표 6과 표 7은 산림 바이오매스와 이산화탄소 흡수량 산정식과 동일 객체목 평균 산림 바이오매스 및 이산화탄소 흡수량을 나타낸 것이다.

산림바이오매스의 정확도는 현장조사 자료로 산정된 산림 바이오매스를 기준으로 KOMPSAT-2 위성영상 및 LiDAR 자료로 산정된 산림바이오매스의 유사성을 분석 하였을 때, 동일 객체에 대한 줄기재적, 바이오매스, 이산화탄소 흡수량은 현장 조사 자료와 97% 이상의 높은 유사성을 나타냈다.

동일 객체인 경우 개별 변수인 흉고직경과 수고에서 미소한 오차가 발생하였으나, 계산과정에서 오차가 상쇄되어 높은 유사성을 나타냈다.

임상지역별 총 줄기재적, 바이오매스, 이산화탄소 흡수량은 현장조사 자료와 88%의 유사성을 나타냈으며,

표 7. 동일 객체목 평균 산림 바이오매스 및 이산화탄소 흡수량

구분	현장조사					위성영상 + LiDAR				
	흉고직경 (단위 m)	수고 (단위 m)	줄기재적 (단위 m ³)	바이오매스 (단위 kg/m ³)	이산화탄소 흡수량 (단위 kg/m ³)	흉고직경 (단위 m)	수고 (단위 m)	줄기재적 (단위 m ³)	바이오매스 (단위 kg/m ³)	이산화탄소 흡수량 (단위 kg/m ³)
침엽수1	0.15	13.05	0.77	0.59	0.29	0.15	13.08	0.73	0.55	0.27
침엽수2	0.18	15.36	0.79	0.61	0.30	0.18	15.55	0.81	0.63	0.30
혼효림1	0.22	19.13	1.56	1.76	0.85	0.22	18.99	1.54	1.74	0.84
혼효림2	0.20	16.74	1.50	1.68	0.81	0.20	16.56	1.48	1.66	0.80
활엽수1	0.20	15.27	1.08	1.57	0.75	0.20	15.14	1.07	1.55	0.74
활엽수2	0.08	8.24	0.27	0.39	0.19	0.90	7.98	0.28	0.40	0.19

표 8. 산림 바이오매스 정확도 비교

구분	객체목			지역별		
	줄기재적 (단위 : m ³)	바이오매스 (단위 : kg/m ³)	이산화탄소 흡수량 (단위 : kg/m ³)	줄기재적 (단위 : m ³)	바이오매스 (단위 : kg/m ³)	이산화탄소 흡수량 (단위 : kg/m ³)
침엽수	96.2	95	96.6	89.1	88.3	88.3
혼효림	98.7	98.8	98.8	92.7	92.7	92.7
활엽수	97.8	98.1	99.3	83.1	83.1	83.1
평균	97.5	97.3	98.2	88.3	88	88

임상지역별 산림 바이오매스의 오차는 LiDAR로 추출된 수목의 객체수와 현장조사된 객체수의 차이로 인하여 차이가 나타난 것으로 판단된다. 수목객체추출정확도는 혼효림 > 침엽수 > 활엽수 순으로 나타났다.

표 8은 객체목 및 지역별 산림 바이오매스 정확도 비교를 나타낸 것이다.

7. 산림 바이오매스 최적 산정 공정 정립

본 연구에서는 현장조사, 위성영상, 항공 LiDAR 자료를 이용한 산림 바이오매스의 산정 기법에 대하여 분석 수행한 결과 산림바이오매스의 정확한 산정을 위해서는 임상 및 수종의 정확한 분류와 임목재적 또는 임목축적의 산정이 주요한 인자가 되기 때문에 위성영상과 LiDAR 자료의 기하학적 방사적 장점을 융합한 산림 바이오매스 산정 기법이 요구된다.

이에, KOMPSAT-2 위성영상과 항공 LiDAR 자료를 이용하여 위성영상의 표정해석 및 정사영상 제작을 통한 임상경계 추출과 항공 LiDAR 자료의 전처리와 지면점 및 수목점 분류, 산림 정보의 추출을 통해 얻어진 자료를 현장조사 자료와 정확도 비교를 통하여 KOMPSAT-2 위성영상과 항공 LiDAR 자료를 이용한 산림 바이오매스의 산정을 위한 최적 공정을 그림 16과 같이 정립하였다.

그림 16. 산림 바이오매스 최적 산정 공정

8. 결 론

본 연구 수행결과, KOMPSAT-2 위성영상과 LiDAR 자료를 융합하여 산림의 임상 정보와 수고 및 혼고직경 등의 산림정보를 추출하고 이를 이용하여 산림 바이오매스 산정이 가능하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 원시 LiDAR 자료로부터 추출된 수목의 객체수와 수고를 현장조사 자료와 비교한 결과 객체수는 평균 90%이상의 유사성을 나타냈으며, 수고는 평균 0.3m의 수고차를 나타냈다.

둘째, KOMPSAT-2 영상으로 분류된 임상정보와 LiDAR자료로 추출한 객체목의 수고자료를 이용하여 임상별 산림 바이오매스와 이산화탄소 흡수량 산정이 가능하였으며, 현장조사와의 유사성은 평균 90%이상으로 높게 나타났다.

셋째, 본 연구에서 제시한 산림 바이오매스 산정 기법을 광범위한 지역에 대한 적용을 위해서는 산림 바이오매스 산정의 정확도 향상 및 범용화에 대한 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 고신영, 2010, LiDAR를 이용한 산림 CO₂흡수량 산정연구, 전북대학교 대학원 석사학위 논문.
2. 김소라, 이우균, 곽한빈, 최성호, 2009, KOMPSAT-2 영상을 이용한 산림의 이산화탄소 흡수량 추정, 2009 한국임학회지, 제98권, 제3호, pp.324-330.
3. 김현, 2010, GIS·RS 기법을 이용한 전라북도 산림의 바이오매스 추정, 전북대학교 대학원 박사학위논문.
4. 손영모, 이경학, 김래현, 표정기, 박인협, 손요환, 이영진, 김춘식, 2010, 산림 온실가스 인벤토리를 위한 주요 수종별 탄소배출계수, 국립산림과학원.
5. 우충식, 윤호중, 정용호, 2007, 산지토사재해 발생구간 분석을 위한 항공사진 DTM에서의 수목필터링, 2007 한국지리정보학회지, 제10권, 제3호, pp.22-30.
6. 유지호, 2010, 고해상도 위성영상을 이용한 3차원 스마트 주제도 생성, 삼지대 대학원 박사학위 논문.
7. 이현직, 유영걸, 유지호, 2009, 고해상도 위성영상 기반의 정밀 주제도 제작, 2009 한국지형공간정보학회 춘계 학술대회 논문집, pp.258-260.
8. 임중수, 한원성, 황주호, 정상영, 조현국, 신만웅, 2009, 위성영상자료 및 국가 산림자원조사 자료를 이용한 산림 바이오매스 추정, 2009 대한원격탐사학회지, 제25권, 제4호, pp.311-320.
9. 장안진, 김형태, 2008, 항공사진과 Lidar 데이터를 이용

- 한 산림지역의 바이오매스 추정에 관한 연구, 2008 한국지리정보학회지, 제11권, 제3호, pp.166-173.
10. Dirk Tiede, Christian Hoffmann, 2006, Process Oriented Object-Based Algorithms for Single Tree Detection using Laser Scanning, 2006 3D remote Sensing in Forestry, Vienna.
11. Felix Morsdorf, 2004,, Lidar-Based Geometric Reconstuicun of Boreal Type Forest Stands at Single Tree Lever for Forest and Wildland Fire Management, 2004 Remote Sensing of Environment, vol.92, Issue 3, pp.353-362.
12. John R, Jensen. 2004, Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, Person College Div.