

항공사진과 Lidar 데이터를 이용한 산림지역의 바이오매스 추정에 관한 연구

장안진¹ · 김형태^{2*}

Study of Biomass Estimation in Forest by Aerial Photograph and LiDAR Data

An-Jin CHANG¹ · Hyung-Tae KIM^{2*}

요 약

최근 지구환경 문제가 국제적 이슈로 떠오르는 가운데, 친환경적이면서 재생 가능한 바이오매스 에너지원에 대한 관심이 주목되고 있다. 특히 우리나라는 기후변화 협약 및 교토의정서 발효 등에 따라 탄소배출량을 조절해야 하는 시점이기에 산림 바이오매스에 대한 중요성이 더욱 커지고 있다. 산림지역이 전체국토의 약 2/3을 차지하는 국내의 경우 넓은 지역을 포함하고, 일률적인 데이터 처리가 가능한 원격탐사 자료를 이용하여 바이오매스를 추정하는 것이 보다 경제적이고 효율적인 방법이다. 본 연구에서는 원격탐사 자료 중 개체목 구분 및 수고 추출이 가능한 LiDAR 데이터와 항공사진을 이용하여 산림지역의 바이오매스를 추정하고, 현장실측 자료와 비교를 통해 정확도 평가를 수행하였다. 총 3종류의 바이오매스 산출식을 사용하여 조사구 내 개체목의 평균 바이오매스와 조사구 내 전체 바이오매스를 계산하여 현장조사 자료와 비교하였다. 개체목 평균 바이오매스의 회귀분석 R^2 는 모두 0.8이상으로 높게 추정되었고, 조사구 내 전체 바이오매스의 R^2 도 0.65 이상의 값을 나타내었다. 이를 통해 기존의 현장조사를 통한 방법보다 원격탐사 자료를 이용하여 보다 효율적이고 경제적으로 관측할 수 있음을 확인하였다.

주요어: 라이다, 항공사진, 바이오매스, 수목 모델링

ABSTRACT

Recently, problem of earth environment being attended with international issue, people are concerned about the environmentally-friendly and renewable biomass energy. Especially, the forest biomass is more important because Korea have to control carbon footprint for Kyoto Protocol and Convention on Climate Change. In case of Korea,

2008년 8월 12일 접수 Received on August 12, 2008 / 2008년 9월 17일 수정 Revised on Sep. 17, 2008 / 2008년 9월 23일 심사완료 Accepted on Sep. 23, 2008

1 서울대학교 건설환경공학부 Department of Civil & Environmental Engineering, Seoul National University

2 한국토지공사 Korea Land Corporation, Land and Urban Research Institute, Research Fellow

* 연락처 E-mail: kht@iklc.co.kr

forest area covers the land about 2/3 of all country. It is needed that more economical and efficient method to estimate the biomass by remote sensing data which include wide coverage and is progressed by one-step. In this study, we estimate forest biomass with LiDAR data and aerial photograph. Three biomass equation is used and estimate mean biomass of single tree and entire biomass in plots. The results are compared with field data. R^2 of the mean biomass of single tree is greater than 0.8 and that of entire biomass in plots is greater than 0.65. In conclusion, the method using remote sensing data is verified more economical and efficient than previous field data method.

KEYWORDS : LiDAR, Aerial Photograph, Biomass, Tree Modeling

서론

최근 기후 등과 관련된 지구환경 문제가 국제적 이슈로 떠오르는 가운데, 친환경적이면서 재생 가능한 바이오매스 에너지원에 대한 관심이 주목되고 있다. 특히 우리나라는 기후변화 협약 및 교토의정서 발효 등에 따라 탄소배출량을 조절해야 하는 시점이기에 산림 바이오매스에 대한 중요성이 더욱 커지고 있다.

세계적으로 산림 바이오매스에 관한 연구는 미국, 일본, 벨기에, 캐나다 등을 중심으로 연구되어 왔고(Pard, 1980), 우리나라에서도 1970년대 이후 지속적인 연구가 진행되고 있다. 손영모 등(2007)은 국내 산림통계자료를 이용하여 우리나라 전체 산림 바이오매스를 추정하였고, 수종별 지상부 탄소고정량에 대한 연구도 수행되었다(이상진 등, 2007; 이상태 등, 2005). 하지만 이러한 연구들은 기존에 존재하는 데이터베이스에 의존하거나 실제 표본을 취득하여 바이오매스 또는 탄소고정량을 추정해야 하기 때문에 비용 및 방법적인 측면에서 비효율적이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 넓은 지역을 포함하고, 일률적인 데이터 처리가 가능한 원격탐사 자료를 이용하는 것이 적당하다고 할 수 있다. 특히 산림 지역의 경우 위성영상 뿐만 아니라 라이다 및 항공사진을 이용하여 수고, 개체수, 수종 구분 등의 정보를 추

출하는 연구가 진행되었다(Nilsson, 1996; Persson, 2002; Sorin, 2004). 기존에도 인공위성 영상을 이용하여 산불 피해지역의 입목 손실량을 평가하거나(마호섭 등, 1999) 비이산화탄소 온실가스 배출량을 추정하는 연구가 진행되었다(원명수 등, 2008). 또한 광두안 등(2005)과 장안진 등(2006)은 항공사진과 LiDAR 데이터를 이용하여 개체목의 수고, 흉고직경(DBH)을 측정하고, 이를 통해 산림 지역의 임분체적, 바이오매스 등을 추정하였다.

하지만 기존의 원격탐사 자료를 이용한 바이오매스 관련 데이터 추정에 관한 연구는 산불 피해지역에 국한되어 있거나, 바이오매스를 추정하는데 그치고 있다. 따라서 본 연구에서는 원격탐사 자료 중 개체목 구분 및 수고 추출이 가능한 LiDAR 데이터와 항공사진을 이용하여 산림지역의 바이오매스를 추정하고, 현장실측 자료와 비교를 통해 정확도 평가를 수행하였다. 원격탐사 자료를 이용하여 수고, 흉고직경 등을 취득하고 바이오매스를 추정함으로써, 기존의 산림지역 측정 방법보다 경제적이고 효율적인 방법을 제시하고자 한다.

대상 지역 및 연구 방법

1. 사용 데이터

본 연구에서는 2005년 4월 26일 동시에 취득된 항공사진(그림 1)과 LiDAR 데이터(그림 2)를 이

용하였으며(표 1), 대상지역은 대전광역시 중구와 서구 지역에 위치한 산림지역이다. 연구 지역의 주요 수종은 리기다 소나무로 현장조사를 통해 확인하였다.

정확도 평가를 위한 현장조사 자료를 얻기 위해 실험 지역을 정사각형의 조사구(Plot)로 하여 산림정보를 수집하였다. 조사구의 크기는 10m×10m 로서 조사구 내에 존재하는 수목의 개체수와 수고, 흉고직경 등을 측정하였다. 총 8곳의 조사구의 산림 정보를 조사하였으나 인공조림 등이 진행되어 변화된 산림은 정확도 평가에서 제외하였다. 최종적으로 총 5곳의 조사구 자료를 정확도 평가에 이용하였다. 조사구별 현장조사 자료는 표 2와 같다.

TABLE 1. Data specification

	항공사진	LiDAR
취득일	2005년 4월 26일	
해상도 및 점밀도	0.25 m	4.76 p/m ²
밴드정보	3개(R, G, B)	1개(Height)

TABLE 2. Field measurement data

ID	크기	개체수	수고 평균(m)
1	10m×10m	17	9.28
2	10m×10m	13	11.58
3	10m×10m	22	11.47
4	10m×10m	20	12.20
5	10m×10m	29	9.78



(a) Site 1



(b) Site 2



(c) Site 3

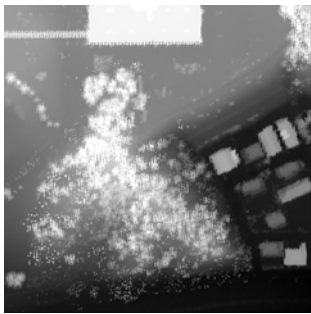


(d) Site 4

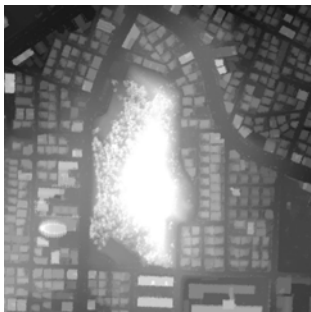
FIGURE 1. Color aerial photograph



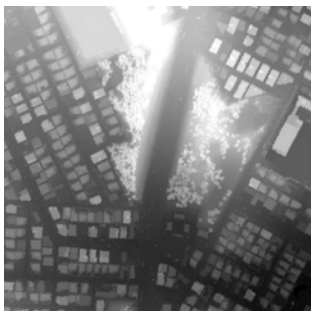
(a) Site 1



(b) Site 2



(c) Site 3



(d) Site 4

FIGURE 2. LiDAR Data

2. 연구 방법

본 연구는 산림 지역의 바이오매스 추정을 위하여 원격탐사 자료 중 항공사진과 LiDAR 데이터를 사용하였다. 수목 모델링을 통해 얻어진 수고를 현지 조사 자료로부터 추정된 흉고직경-수고 관계식에 대입하여 흉고직경을 추정하고, 최종적으로 추정된 수고와 흉고직경으로 바이오매스를 산출하였다. 추정된 바이오매스는 현지 조사 자료를 통해 산출한 바이오매스와 비교하여 정확도 평가를 수행하였다. 본 연구의 연구 흐름도는 그림 3과 같다.

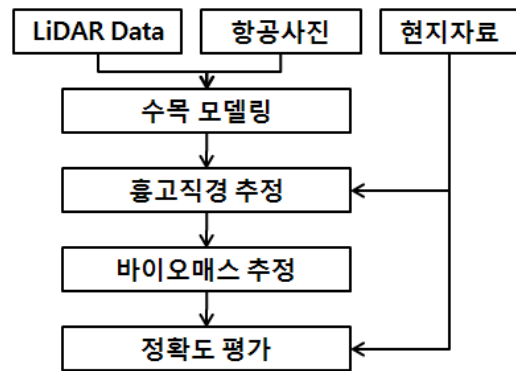


FIGURE. 3. Flow Chart

3. 수목 모델링

기존에 수행된 연구 결과를 바탕으로 LiDAR 데이터와 항공사진을 이용한 수목모델링을 수행하였다(장안진 등, 2006). 항공사진을 무감독 분류하고, 수목지역만을 추출한다. 이때 인공물, 차량 등 산림지역으로 잘못 분류된 개체를 높이 편차, 개체 형태 등의 속성을 통해 제거한다.

수목지역을 추출된 지역의 LiDAR 데이터를 유역분할(Watershed Segmentation) 알고리즘을 통해 개체목(수목 1그룹)으로 구분한다. 개체목으로 구분한뒤 개체의 넓이, 형태 등을 이용하여 수목이 아닌 부분을 제거한다.

유역분할 알고리즘으로 구분된 각 개체목에

국부적 최대값 필터링(Local maximum filtering)을 통해 수목 중심 및 수고를 추정한다. 이를 통해 얻어진 수고를 현장 조사 자료와 비교한 결과 실제 측정값과 추정값이 차이가 없는 것으로 나타났다.

4. 흉고직경 추정

원격탐사 자료의 경우 수목의 흉고직경을 직접적으로 얻을 수는 없지만, LiDAR 데이터를 이용하여 수고를 취득할 수 있기 때문에 현지 조사 자료를 이용하여 흉고 직경을 간접적으로 구할 수 있다. 수고를 통해 흉고 직경을 추정하기 위하여 현지 조사 자료를 이용하여 흉고직경과 수고 사이의 관계식을 산출한다. 개체목을 흉고직경을 수고로부터 추정할 수 있는 다양한 비선형 회귀식(표 3)을 테스트하였고, 이중 가장 좋은 결과를 나타내는 식을 선택하였다(곽두안 등, 2005; Sit 등, 1994). 회귀분석을 통해 추정된 $DBH=f(H)$ 함수식에 수목 모델링을 통해 추정된 수고정보를 입력하여 흉고직경을 추정하였다.

TABLE 3. DBH-Height curve functions

No.	Function (DBH : 흉고직경, H : 수고)
1	$DBH = a \cdot H^b \cdot c^H$
2	$DBH = a \cdot H^b$
3	$DBH = a \cdot e^{b \cdot H}$
4	$DBH = e^{a-bH}$
5	$DBH = a \cdot e^{\frac{b}{H}}$
6	$DBH = a \cdot b^H$

5. 바이오매스 추정

개체목의 수고와 흉고직경을 통해 바이오매스를 산출하는 추정식은 다음과 같다.

$$W = a \cdot DBH^b \cdot H^c \tag{1}$$

(W : 바이오매스, DBH : 흉고직경, H : 수고)

$$W = 10^{(a \cdot \log(DBH^2 \cdot H) + b)} \tag{2}$$

(W : 바이오매스, DBH : 흉고직경, H : 수고)

(1)의 경우 수목의 줄기부분의 바이오매스만을 산출하는 추정식이고(Lee 등, 2002), (2)의 경우 계수에 따라 수목의 줄기, 가지, 잎부분에 대한 바이오매스를 산출 할 수 있고, 그 총합이 개체목 전체의 바이오매스가 된다(임경빈 등, 1982). 조사구 내 산림의 수종은 침엽수 중 리기다 소나무로 구성되어 있기 때문에 해당 수종에 맞는 계수를 선택하였다(표 4).

TABLE 4. Parameters of biomass equation

식	바이오매스	계수		
		a	b	c
(1)	W_s	0.029	1.983	0.813
	W_g	0.81	1.88	×
(2)	W_b	1.47	-0.57	×
	W_l	0.84	0.72	×

본 연구에서는 조사구 내 산림지역의 1 그루당 평균 바이오매스와 조사구 전체 바이오매스를 산출하였고, 현지 조사 자료를 이용하여 산출한 바이오매스와 비교하였다.

결과 및 분석

1. 흉고직경 추정

흉고직경-수고 관계식을 추정하기 위하여 현장조사 자료에 표 2에 나타나 있는 비선형 회귀분석 식을 적용해본 결과 $DBH = a \cdot b^h$ 형태가 가장 정확한 것으로 나타났으며, 본 연구에 사용된 회귀분석 식은 다음과 같다.

$$DBH = 10.9572 \cdot 1.0491^h \quad (3)$$

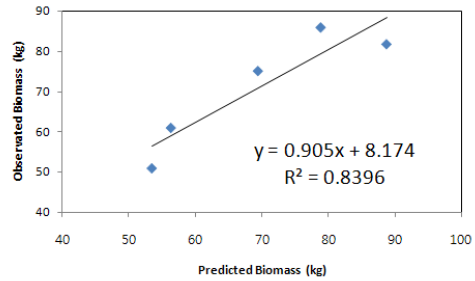
현장조사를 통한 흉고직경과 추정된 흉고직경 값을 T-검정을 통해 살펴본 결과 차이가 없는 것으로 나타났다.

2. 바이오매스 추정

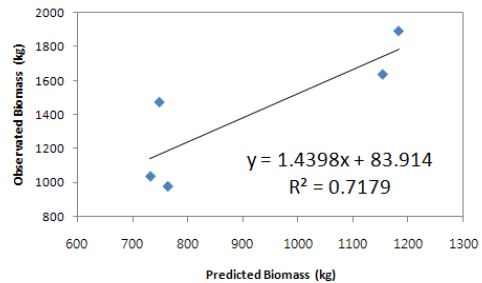
식 (1)을 이용하여 바이오매스를 구한 결과는 그림 4와 같다. 그래프 (a)는 각 조사구 별 개체목 평균 바이오매스를 회귀분석을 통해 비교한 것이고, (b)는 조사구 내에 존재하는 수목의 전체 바이오매스를 계산한 것이다. 개체목의 평균의 경우 결정계수의 값이 0.84로 추정되었고, 조사구 내의 바이오매스는 결정계수가 0.72로 나타났다.

식 (2)를 이용하여 바이오매스를 산출한 경우는 수목의 줄기부분만을 계산한 바이오매스 (W_s)와 수고 및 흉고직경을 통해 줄기 W_s , 가지(W_b), 잎(W_l) 등 수목 전체의 바이오매스 2가지로 나누어 추정량과 실측치를 비교하였다. 또한 각각의 산출된 바이오매스는 개체목 평균과 조사구 내의 전체 바이오매스 양으로 나누어 비교하였다.

회귀분석 결과 줄기부분만을 이용하여 바이오매스를 구한 경우 개체목 평균 바이오매스는 결정계수가 0.86, 조사구 내의 전체 바이오의 결정계수는 0.66으로 나타났다(그림 5).

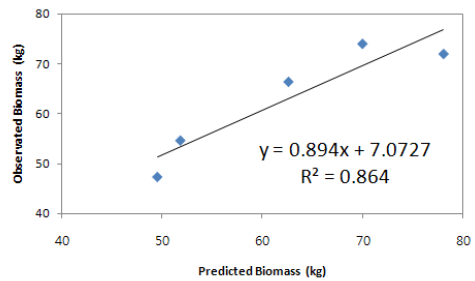


(a)

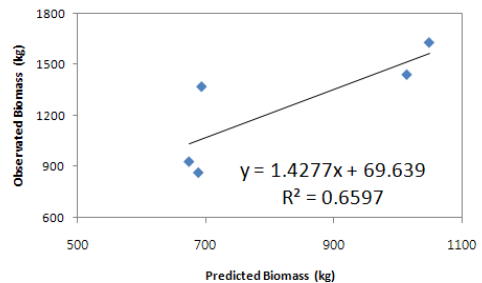


(b)

FIGURE 4. Biomass of tree stem using Eq. (1)



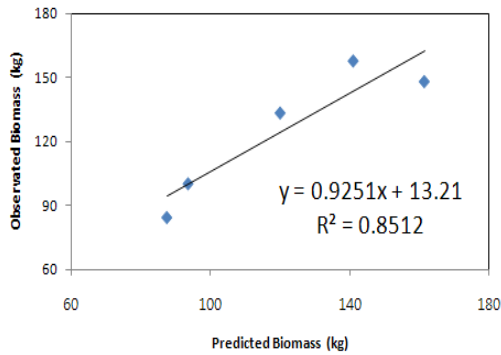
(a)



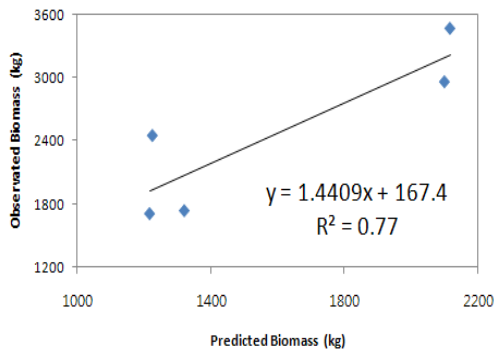
(b)

FIGURE 5. Biomass of tree stem using Eq. (2)

수목의 줄기, 가지, 잎 등 전체의 바이오매스를 구한 경우 개체목 평균 바이오매스의 결정계수는 0.85, 조사구 내 전체 수목의 바이오매스는 0.77로 계산되었다(그림 6).



(a)



(b)

FIGURE 6. Biomass of entire tree using Eq. (2)

4. 분석

LiDAR 데이터와 항공사진을 통하여 추정된 수고와 현장조사 자료를 바탕으로 결정한 흉고직경을 이용하여 바이오매스를 산출하고 실측치를 비교하였다. 총 3개의 바이오매스 산출식을 사용하였고, 조사구 내의 개체목 평균 바이오매스와 조사구 내 전체 수목의 바이오매스를 구하여 현장조사 자료와 비교하였다.

현장조사 자료를 통해 산출한 바이오매스와 실험으로 추정된 바이오매스를 회귀분석을 이용하여 비교한 결과, 결정계수가 개체목 평균

바이오매스는 0.8이상, 조사구 내 전체 바이오매스는 0.65이상의 높은 정확도를 나타냈다. 조사구 내의 수목 개체수가 현장조사 자료와 차이가 나기 때문에 개체목 평균 바이오매스보다 조사구 내 전체 바이오매스 정확도가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 하지만 개체목 평균 바이오매스의 경우 원격탐사 자료를 이용해서 기존의 방법에 비해 효율적이고, 경제적으로 추정이 가능한 것으로 나타났다.

결론

본 연구는 원격탐사 자료를 이용하여 산림의 바이오매스 추정에 초점을 맞추어 진행되었다. 특히 최근 여러 분야에서 활용되고 있는 LiDAR 데이터는 기존의 원격탐사 자료와는 달리 3차원 좌표를 제공하기 때문에 산림지역을 보다 정밀하게 관측할 수 있다. 항공사진과 LiDAR 데이터를 통해 수목 개체 및 수고를 추정하고, 현장조사 자료를 바탕으로 흉고 직경을 추정할 수 있다. 이를 바탕으로 산림의 바이오매스를 산출할 수 있다.

본 논문에서는 총 3종류의 바이오매스 산출식을 사용하였고, 조사구 내 개체목의 평균 바이오매스와 조사구 내 전체 바이오매스를 계산하여 현장조사 자료와 비교하였다. 비교 결과 개체목 평균 바이오매스의 회귀분석 결정계수는 모두 0.8이상으로 높게 추정되었고, 조사구 내 전체 바이오매스의 결정계수도 0.65이상의 값을 나타내었다. 이를 통해 기존의 현장조사를 통한 방법보다 원격탐사 자료를 이용하여 보다 효율적이고 경제적으로 관측할 수 있음을 확인하였다. 추후 연구에서는 보다 수고 및 개체수 추정 알고리즘 개발 및 다양한 수종에 대해서 실험을 수행하고, 조사구 수를 늘려 정확도 평가를 진행할 계획이다. 이러한 연구를 통해 우리나라 산림이 보유하고 있는 바이오매스 및 탄소흡수원의 정량적 평가가 가능할 것으로 사료된다. **KAGIS**

참고 문헌

- 곽두안, 이우균, 손민호. 2005. 개체목 및 임분조사를 위한 LiDAR 응용에 관한 연구. 한국임학회지 94(6): 431-440.
- 마호섭, 정영관, 정수영, 최동욱. 1999. 위성자료를 이용한 산화지의 입목 손실량 평가. 한국지리정보학회지 2(2): 79-86.
- 손영모, 이경학, 김래현. 2007. 우리나라 산림 바이오매스 추정. 한국임학회지 96(4): 477-482.
- 원명수, 구교상, 이명보, 손영모. 2008. Landsat TM 영상자료를 활용한 삼척 대형산불 피해지의 비이산화탄소 온실가스 배출량 추정. 한국농림기상학회지 10(1): 17-24.
- 이상진, 박관수. 2007. 충주지역의 자작나무와 가래나무 조림지의 지상부 탄소고정에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 10(6): 62-69.
- 이상태, 손영모, 이경재, 황재홍, 최재채, 신현철, 박남창. 2005. 붉가시나무 간벌강도에 따른 지상부 탄소고정량에 관한연구. 한국농림기상학회지 7(4): 282-288.
- 임경빈, 이경재, 권태호, 박인협. 1982. 리기다 소나무 인공조림지의 물질생산량에 관한 연구. 한국임산에너지학회 2(2): 1-12.
- 장안진, 유기운, 김용일, 이병길. 2006. 컬러항공사진과 LiDAR 데이터를 이용한 수목 개체 및 수고 추정. 대한원격탐사학회지 22(6): 543-551.
- Lee, K. H., Y. M. Son, D. K., Rho and S. D. Kwon. 2002. Stem Weight Equations for Six Major Tree Species in Korea. Journal of Korean Forest Society 91(2): 206-212.
- Nilsson, M. 1996. Estimation of Tree Heights and Stand Volume Using an Airborne Lidar system. Remote Sensing of Environment 56: 1-7.
- Pard, J. 1980. Forest Biomass. Forestry Abstracts Review Article 41(8): 343-362.
- Persson, A., J. Holmgren, and U. Soderman. 2002. Detecting and Measuring Individual Trees Using an Airborne Laser Scanner. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 68(9): 925-932.
- Sit, V., M. Poulin-Costello. 1994. Catalogue of Curves for Curve Fitting. Forest Science Research Branch Ministry of Forests in Canada, pp.30-59.
- Sorin, C.P., and R. H. Wynne. 2004. Seeing the Trees in the Forest: Using Lidar and Multispectral Data Fusion with Local Filtering and Variable Window Size for Estimating Tree Height. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 70(5): 589-604. **KAGIS**