

# 계절별 항공라이다 자료에 의한 수고 추정

## Estimation of Tree Heights from Seasonal Airborne LiDAR Data

전민철<sup>1)</sup> · 정태웅<sup>2)</sup> · 어양담<sup>3)</sup> · 김진광<sup>4)</sup>

Jeon, Min Cheol · Jung, Tae Woong · Eo, Yang Dam · Kim, Jin Kwang

### Abstract

This paper estimates the tree height using Airborne LiDAR that is obtained for each season to analyze its influence based on a canopy closure and data fusion. The tree height was estimated by extracting the First Return (RF) from the tree and the Last Return (LR) from the surface of earth to assume each tree via image segmentation and to obtain the height of each tree. Each data on tree height that is collected from seasonal data and the result of tree height acquired from the data fusion were compared. A tree height measuring device was used to measure on site and its accuracy was compared. Also, its applicability on the result of fused data that is obtained through the Airborne LiDAR is examined. As a result of the experiment, the result of image segmentation for an individual tree was closer to the result of site study for 1 meter interval when compared to the 0.5 meter interval of point cloud. In case of the tree height, the application of fused data enables a closer site measurement result than the application of data for each season.

Keywords : Airborne LiDAR, Tree Height, Grid, Fusion

### 초 록

본 논문은 계절별로 획득된 항공라이다 자료로부터 수고를 추정하여 수관유펜도와 자료융합에 따른 영향을 분석하였다. 수고추정은 수목에서 반사되는 신호(First Return : FR)와 지표에서 반사되는 신호(Last Return : LR)를 추출하고, 영상분할을 통해 수목개체를 가정하여 개체목별 수고를 획득하는 방법을 적용하였다. 계절별 자료를 통해 획득한 각 수고 자료와 융합자료로부터 획득한 수고의 결과를 비교하였으며, 수고측정기를 사용하여 현지 측정을 하여 정확성을 비교하고, 항공라이다를 통해 획득한 자료들을 융합한 결과에 대한 그 활용성을 검토하였다. 실험 결과, 수목개체를 위한 영상분할 결과는 0.5미터 점군간격보다 1미터 간격이 현지조사 결과와 가까웠으며, 수목고의 경우 각 계절별 자료보다 융합자료를 활용한 결과가 현지 측정 결과에 접근하고 있음을 알 수 있었다.

핵심어 : 항공라이다, 수고, 격자, 융합

## 1. 서 론

수목의 높이는 수목의 밀도와 함께 산림조사에서 중요하게 조사되고 군락구조(Canopy structure), 줄기의 평균 지름(Mean stem diameter) 등을 추정하는데 주요변수로 작

용한다(McCombs 등, 2003). 또한 산불 확산 및 산림차폐에 의한 방재효과 분석에서도 수고는 주요 입력변수가 되어 광역의 산림조사분석에 대하여 정확하고도 경제적인 획득방법의 하나로 연구(Næsset, 2002; Popescu 등, 2004)가 진행되어 왔다. 조사자가 작업 현장에서 획득하는 경우

1) 건국대학교 신기술융합학과 석사과정(E-mail:mcblue@konkuk.ac.kr)  
2) 건국대학교 신기술융합학과 박사수료(E-mail:takeused@gmail.com)  
3) 교신저자 · 정회원 · 건국대학교 신기술융합학과 조교수(E-mail:eoandrew@konkuk.ac.kr)  
4) 정회원 · 중앙항업(주) 수석연구원(E-mail:jeff2kim@chollian.net)

비교적 쉽게 측정이 가능하나 시간과 노력이 많이 들고 경제성 면에서 한계가 있다. 따라서, 광범위한 지역에 대하여 단시간에 획득가능한 항공사진에 의한 방법이 연구(Næsset, 2002; McCombs 등, 2003)되었는데, 수목개체를 인식하고 수목과 지표의 가시영역의 확보가 가능한 영역에 한정되어 수목밀도가 매우 높은 지역에서는 현실적으로 정확한 높이 측정이 어려운 단점도 있다. 항공라이다에 의한 수고 측정(Holmgren 등, 2004; Popescu 등, 2004)은 자료획득에 필요한 기상조건이 항공사진에 비해 유연하고, 근적외선 파장대 신호의 반사강도를 위치정보와 함께 취득하여 부가정보 획득이 가능하다는 장점이 있어서 고도자료 획득의 대표적인 기술로 대두되고 있다. 항공라이다 자료에 의한 수고 추정은 획득한 점군(Point Clouds) 중 수목의 가장 높은 곳으로 추정되는 것과 지면으로부터 반사되었다고 추정되는 것을 선별하여 이것의 차이로부터 수목을 추정하는 원리에 기반한다(Popescu 등, 2004). 따라서 지표면 높이를 얻기 위한 DTM(Digital Terrain Model) 필터링 기법 연구와 함께 수목개체 영역을 추정하여 수고를 정확히 추출하기 위한 연구(Nilson, 1996; Holmgren 등, 2003; Holmgren 등, 2004; Kwak 등, 2007)가 진행되어 왔다. 이외에도 항공사진과 라이다 자료를 활용하여 각각의 자료가 갖는 장점을 보완하여 수목개체와 수고를 추출하는

연구(St-Onge 등, 2001; Popescu 등, 2004)도 발표된 바 있다. 그런데 계절별로 획득된 라이다 자료가 갖는 여러 가지 한계에도 불구하고, 이들 자료를 융합하여 수고를 추출하고 이에 대한 활용성 연구가 진행된 사례는 드물다. 또한, 항공라이다 자료의 밀도 한계로 인해 정확한 수목개체의 수관, 임관 최고점을 획득하지 못하고, 지표역시 밀부분에 대한 정확한 지표점을 관목이나 교목으로 인해 획득하지 못하며, 일정격자를 만들때의 내삽효과가 추가되어 수목고가 축소되는 경향이 있다.

본 연구에서는 필터링 기법이 아닌 동일한 산림지역에 대하여 계절별로 획득된 항공라이다 자료로부터 각각의 수고를 추정하였다. 그리고, 계절별 자료들의 융합으로 수목고를 추정하는 개선방법을 시도하였으며, 수고측정기를 사용하여 현지 측정을 통한 정확성을 비교함으로써 항공라이다를 통해 획득한 계절별 자료들을 융합한 결과에 대하여 그 활용성을 검토하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 자료획득

본 연구에서는 충남 아산시 탕정면에 있는 선문대학교 주변 삼봉산 일대를 실험대상 지역으로 선정하여

표 1. 항공 라이다 실험자료 상세

촬영일시	2008.4.19			2008.10.17			2009.1.3		
	촬영고도(AGL, m)	650	1300	2000	670	1300	2000	660	1300
swath(m)	530	1061	1632	548	1063	1636	538	1061	1632
점밀도(m <sup>2</sup> )	10.7			7.2			6.45		
FOV	44.4			44.5			44.4		

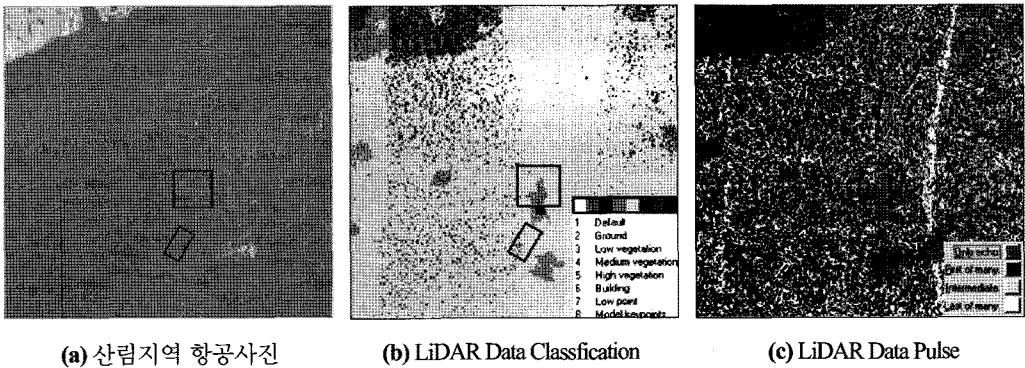


그림 1. 연구지역 (□ : 현지측정 지역)

2008년 4월 19일, 2008년 10월 17일, 2009년 1월 3일 총 3회 촬영하여 획득한 항공라이다 자료를 활용하였다. 연구지역의 특징으로는 보안에 의한 비접근 영역이 없고, 항공기의 접근이 용이하다는 장점이 있다. 항공라이다 자료 획득에 사용된 장비로는 Leica-Geosystems사의 ALS50 Airborne LiDAR System이 실험에 사용되었다.

시기별로 항공라이다 자료 획득시 촬영 고도를 달리하여 중복 촬영하였고, 비행고도를 서로 달리함으로써 항공라이다 시스템 자체의 보정을 위함과 동시에 지형에 대한 오차를 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 표 1은 각 계절별 항공라이다 자료에 대한 세부내용에 대한 현황이며, 그림 1은 산림지역의 항공사진과 자동분류된 결과, 그리고 라이다 자료의 Pulse 분포이며, 현지측정을 위한 영역 2곳을 선정하였다.

### 2.2 연구자료 처리

총 3회에 걸쳐 획득한 항공라이다 자료는 GPS/IMU 자료와 점군 자료로 구분하여 처리하는 과정을 거치게 된다. GPS/IMU 자료는 POSPAC S/W를 이용하였으며, 지상기준국 GPS 측량 자료를 입력하고 처리하였다. 항공라이다 자료를 처리하기 위한 소프트웨어로서 Bentley사의 Microstation V8과 Terrasolid사의 Terra Scan/Terra Modeler를 사용하였다. 그림 2는 계절별로 획득한 항공라이다 자료를 처리하기 위한 흐름도이다.

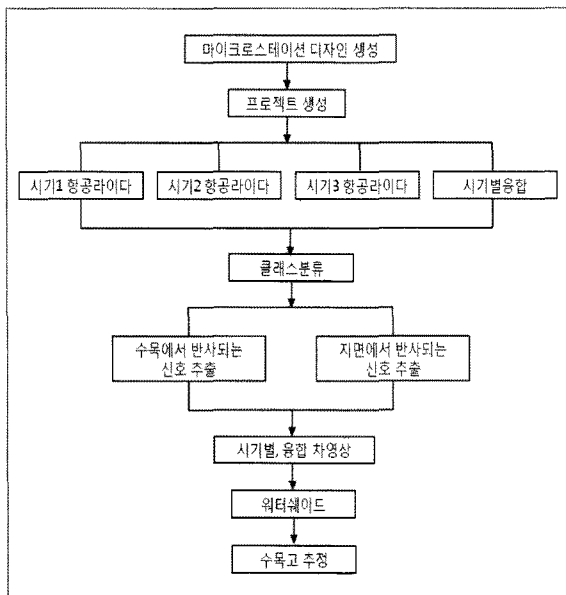


그림 2. 흐름도

먼저 각 시기별 획득된 대용량 항공라이다 자료를 처리하기 위하여, MicroStation의 Terra Scan 모듈에서 시기별 프로젝트 파일, 시기별 자료를 융합한 프로젝트 파일로 각각 생성하였으며, 자료처리를 위한 블록단위를 100m 간격으로 설정하였다.

각 시기별 항공라이다 자료와 시기별 항공라이다 자료를 모두 융합한 프로젝트 파일에서 산림지역에 대한 자료 처리로 실험 지역에 대한 9개의 블록영역을 설정하고 항공라이다 자료의 전체 점군에 대하여 Terra Scan을 이용하여 클래스별로 자동분류를 수행하였다. 표 2는 자동분류를 위하여 설정한 매크로의 상세 기능에 대한 설명이다.

표 2. 자동분류 매크로 설정

순서	기능
1	모든 점들을 Default Class로 분류
2	지면보다 0.5m 아래 점들을 4.0m 간격으로 SinglePoint분류 (한점씩 Lowpoint로 분류)
3	지면보다 0.5m 아래 점들을 4.5m 간격으로 GroupPoint분류 (4.5m 간격에 있는 모든점들을 LowPoint로 분류)
4	Ground(지면)점으로 분류, 지면점 기준 빌딩은 최대 50m
5	지면을 분류하고 남은 나머지 Point를 Low Vegetation Class로 분류
6	지면을 포함한 모든 Class에서 식생 Point를 추출, Low Vegetation 분류된 식생중 최소 높이가 0.08m, 최대 높이가 9999.0m인 것을 Medium Vegetation으로 분류
7	Medium Vegetation으로 분류된 Class중 최소 높이가 1.5m, 최대 높이가 9999.0m인 것은 High Vegetation으로 분류
8	High Vegetation으로 분류된 식생 Class중 최소 높이가 10m 넘어가는 Point는 Building(건물)로 분류

각 클래스별로 자동분류된 항공라이다 자료에서 수고를 획득하기 위한 선행 작업으로서 High Vegetation Class로 분류된 점군들 중에서 FR(First Return, 이하 FR)에 해당하는 점들과 Ground Class로 분류된 점들 중에서 LR>Last Return, 이하 LR) 값에 해당하는 점들을 ASCII 포맷의 파일로 각각 저장하였다. FR과 LR값으로 분류된 ASCII 파일로부터 ERDAS Imagine 9.3 소프트웨어를 사용하여 각 시기

별 Surface Image와 융합된 Surface Image를 0.5m, 1m의 셀 간격의 TIFF Format 영상으로 생성하였다.

### 2.3 실험방법

시기별 Surface Image로부터 FR값과 LR값으로만 생성된 Surface Image로부터 차영상을 생성하였다. 시기별로 융합한 Surface Image를 생성하기 위하여 ERDAS Imagine 9.3의 Modeler를 이용하였으며, 다음 2가지 방법으로 융합하여 Surface Image를 생성하였다.

(방법 1) 항공라이다 점밀도가 수목개체의 수관 Canopy 최고점을 획득하지 못할 개연성을 고려하여 점밀도 향상을 위해 각 시기별 자료를 물리적으로 융합하였고, 이를 0.5m, 1m 셀간격의 FR 영상과 LR 영상으로 분류하였다. (그림 3)

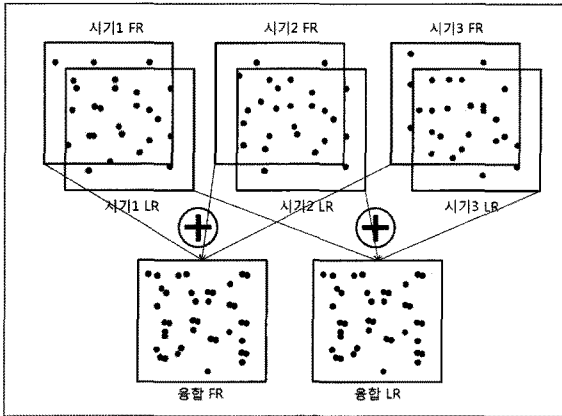


그림 3. 라이다 자료 융합 개념 (방법 1)

(방법 2) 항공라이다 자료 획득시 샘플링에 따른 수고 축소영향을 고려하여 각 시기별 획득 라이다자료의 Surface

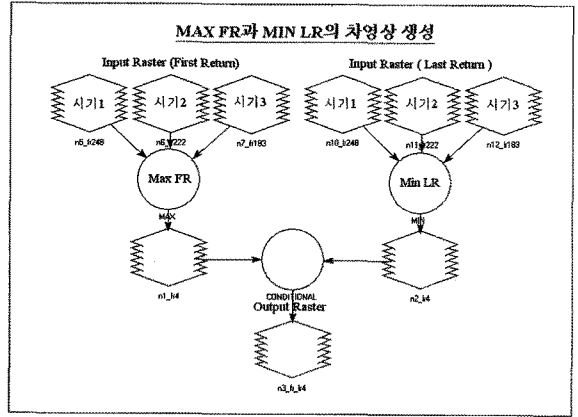


그림 4. 라이다 자료 융합 개념 (방법 2)

Image를 비교하여 셀별로 높이값을 비교하였다. 그림 5와 같이 각 시기별 항공라이다 Surface Image의 같은 위치에 해당하는 FR값들 중에서 최대값에 대한 Surface Image를 생성하고, LR값들 중에서 최소값에 Surface Image를 생성하였다. (그림 4)

산림지역의 영상에 대하여 수고를 획득하기 위한 방법으로 Matlab의 Watershed 함수를 이용하여 수목개체로 예상되는 분할된 영역으로 분류하였다. Watershed 알고리즘(Beucher 등, 1979)은 영상분할 기법의 하나로 영상 화소 값을 높이로 하여 물을 채웠을 때 하나의 윤곽선으로 나타나는 영역을 분할된 영역으로 판단하여 영상을 분할하는 알고리즘이다.

Surface Image에서 Watershed 알고리즘을 이용하여 생성된 분할개체를 개체목으로 판단하고 각각의 분할개체에서 가장 높은 값을 가지는 것을 수고로 판단하였다. 분할된 영역에서 최대값으로 영상을 생성하였으며, 그 결과는 그림 5와 같다. 표 3은 연구지역에 대하여 항공라이다 자료의



(a) LiDAR Surface

(b) Watershed Segment

(c) 수고 추정 대상개체목 위치

그림 5. 연구지역

표 3. 항공라이다 처리를 통하여 추정된 수고 및 개체목 수

구 분		계절별 추정 수고(m)			융합 추정 수고(m)	
셀간격	수고추정결과	시기1	시기2	시기3	융합1	융합2
1m	Min	3.4181	3.1177	2.9799	3.3556	3.7631
	Max	23.4678	22.7356	23.2870	22.3299	23.2099
	Mean	13.1673	14.0387	12.5020	13.0002	15.0832
	Median	13.5129	14.3624	12.7802	13.3170	15.4336
	추정수목개체수	6,721	6,189	6,961	7,286	5,131
0.5m	Min	2.7122	3.2511	2.7172	2.7373	3.7811
	Max	23.1024	23.7856	23.1095	23.1432	23.0921
	Mean	13.3086	14.5083	13.1710	13.0438	15.1226
	Median	13.6326	14.8406	13.4994	13.3537	15.4560
	추정수목개체수	25,365	17,427	18,762	28,806	17,894
Point Count	FR	1,136,517	307,638	307,006	1,751,161	-
	LR	312,800	72,369	141,571	526,740	-
	Ratio(LR/FR)	27.52%	23.52%	46.11%	30.08%	-

Surface와 Watershed 알고리즘으로 분할된 영역을 개체목으로 판단한 추정 수고이다.

추정 수고중에서 45m를 넘는 수고는 원시 라이다 포인트 자료의 이상값으로 판단하여 계산에서 제외하였다. 이상값으로 판단한 이유는 원시자료에서 주위 포인트점에 비해 비정상적으로 값이 높았으며, 현지 측정 결과에서도 45m이상의 수고를 가지는 수고를 발견할 수 없었기 때문이다. 이상값을 제외한 나머지 추정된 수고들에 대하여 계절별로 그 결과를 서로 비교하였다.

## 2.4 현지 측정

추정된 수고 결과의 정확성을 검토하기 위해 연구지역 일정영역에 대하여 현지 수고 측정을 하였다. 연구지역의 대부분이 산림이 무성하여 정확한 위치를 파악하기 힘들고, 수고 측정 또한 수목의 상단이 무성한 가지와 나뭇잎으로 가려져 있으며, 경사가 가파른 관계로 정확한 측정을 하기에는 무리가 있어 항공사진을 이용하여 수고 측정을 위한 주변시야가 확보되고 수목의 위치 파악이 비교적 양호하고 지장물이 있는 지역을 선택하였다.

첫 번째 지역은 가로, 세로 35m의 정방향으로 하였으며, 두 번째 지역은 가로 15m, 세로 30m의 영역에 속하는 현지 수목을 대상으로 수고를 측정하였다. 수고를 측정하기 위해 사용한 장비로서는 하그로프 수고측정기

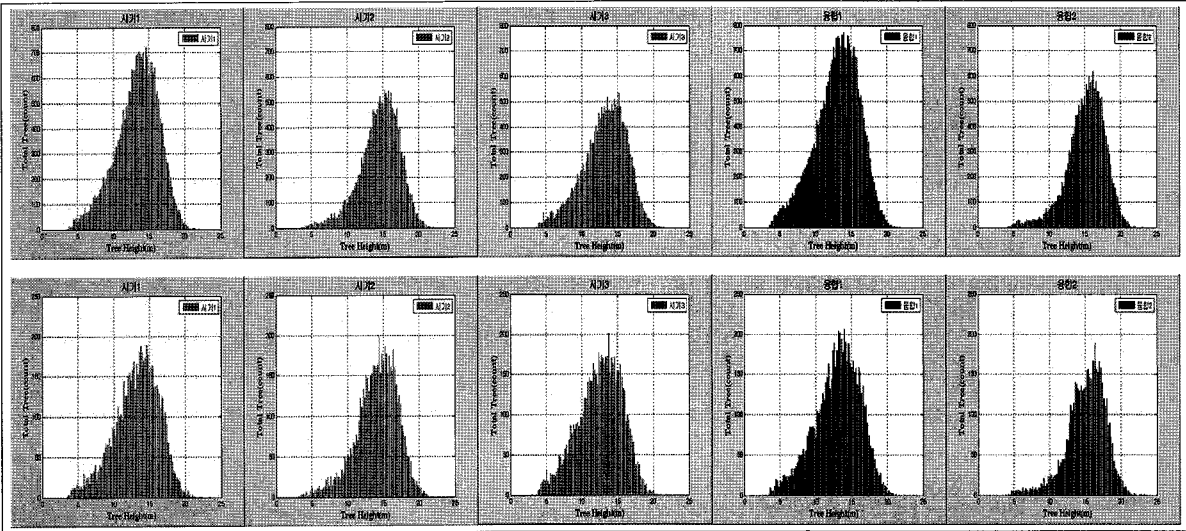
(Haglof Hypsomter) Vertex IV-BT-360, 줄자, 5m 접이식 폴대를 사용하였다.

## 3. 결과 및 분석

표 3은 계절별 자료와 2가지의 실험방법으로 자료를 융합하고 영상으로 변환하여 추정한 수목의 수고 결과로 산출된 추정수고의 Min, Max, Mean, Median 값과, 추정수목의 개체수, FR, LR, LR/FR의 비율을 나타내었다. 그림 6은 표 3의 결과자료를 바탕으로 추정 수목의 개체수에 따른 추정 수고의 분포를 히스토그램으로 나타낸 결과이다. 분포를 보면 추정된 수고의 높이가 10m~15m 사이가 가장 많은 것을 알 수 있다. 항공라이다 자료의 시기 1, 2, 3은 계절적으로 봤을 때, 각각 봄, 가을, 겨울에 해당되며, 이들 수관의 상태를 보면 시기 1은 잎이 어느 정도 있는 시기이다. 시기 2는 낙엽 전으로 실험시기 중 상대적으로 가장 많은 잎이 있는 시기이며, 시기 3은 상대적으로 가장 잎이 적은 시기이다. 표 4와 표 5에서는 그림 1에 표시된 폴리곤 영역의 두 지역을 대상으로 계절별 추정 수고 결과와 융합한 추정 수고의 결과, 그리고 현지 측정 수고 결과를 서로 비교하였다.

### 3.1 FR/LR 수 비교

표 3에서 Point Count에 대한 결과를 보면 표 1의 계절별



(a) 시기1                      (b) 시기2                      (c) 시기3                      (d) 융합1                      (e) 융합2

그림 6. 실험대상별 라이다 자료의 수고 추정 히스토그램 (상단:셀간격 0.5m, 하단 1m)

획득한 라이다 자료의 점밀도와 관련하여 시기 1의 FR과 LR이 가장 많은 점군을 보이며, 시기 2의 경우 FR은 시기 3보다 많으나, LR은 시기 3보다 작은 점군을 보인다. 시기 1, 2, 3에 대한 LR/FR의 비율을 살펴보면, 시기 3(겨울)의 값이 가장 높으며 시기 2(가을)의 값이 가장 낮다. 이러한 결과는 계절별 수목의 특성을 반영한 것으로 수목의 나뭇잎 분포에 따라 그 결과가 나타난 것임을 추정해 볼 수 있다. 즉 수관의 울폐도에 따라 LR/FR 비율이 비례하는 경향을 나타내고 있으며 시기 3의 경우 상대적으로 높은 수관 울폐도에 따라 라이다의 레이저 신호가 지표면에서 반사하지 못한 이유로 볼 수 있다.

### 3.2 Watershed에 의한 개체목 추출 결과 분석

표 3과 그림 6의 추정 수고 결과에서 계절별 결과와 융합한 결과를 보면 해상도 1m와 0.5m 결과에서 수고의 평균값이 가장 높은 경우 가장 낮은 추정 개체목 수가 산출되었다. 즉 수고와 개체목 수가 반비례하는 경향을 보이고 있다. 이를 계절 별 수관의 특성과 연관지어 보면, 계절상 가을로 볼 수 있는 시기 2의 자료가 상대적으로 가장 많은 나뭇잎으로 인해 개체목 수가 가장 낮게 산출된 것으로 추정된다. 산림의 계절적 생육에 따라 수관이 울폐될수록 수관과 수관사이 거리가 줄거나 수관과 수관이 겹쳐지므로 Watershed 알고리즘이 분별한 수목

개체 수가 낮게 나온 것으로 추정할 수 있다.

### 3.3 수고 및 빈도수 결과 분석

표 3에서의 추정 수고 분석결과, 시기 2의 평균수고가 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 시기 2의 촬영시기로 보았을 때 계절상 가을로 수목이 다른 시기에 비해 상대적으로 울폐한 시기이다. 시기 1, 2, 3을 비교하여 보면, 시간적으로는 각각 6개월, 3개월의 차이가 있으며, 그 간의 수목의 성장량과는 관계없이 시기 2의 평균 수고가 시기 3보다 약 1.54m(1m Cell Size), 1.34m(0.5m Cell Size)높게 나왔다. 이를 통하여 항공라이다를 이용하여 산출한 수고는 수관이 울폐할수록 산출수고가 높게 나오는 것으로 추정할 수 있으며, 그 영향이 수목의 성장량을 감안한다면 상당히 큰 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

계절별 융합의 경우 두가지 방법으로 수고 추정을 하였다. 그 결과 융합 1의 수고 추정보다 계절별 융합 2의 수고 추정 결과가 더 높은 것을 알 수 있었다. 즉 계절별 융합을 이용한 수고 추정인 경우 계절별 항공라이다 자료에서 각 계절별 자료를 클래스별로 분류하고 그 분류 결과에 따라 Vegetation Class로 분류된 가장 높은 FR과 Ground Class로 분류된 가장 낮은 LR과의 차이를 이용하여 추정된 수고의 결과가 가장 높은 추정수고임을 알 수 있다. 그림 6을 보면 1m와 0.5m의 해상도 영상에서 추출한 수고의 분포를 확인할 수 있다.

표 4. 첫 번째 지역 현지측정 결과 비교

수고추정 결과	1m(Cell Size)					0.5m(Cell Size)					현지측정 결과1
	시기1	시기2	시기3	융합1	융합2	시기1	시기2	시기3	융합1	융합2	
Min	5.8081	5.1519	4.9139	5.8271	8.6922	3.0266	5.3111	5.1524	4.8407	4.8407	11.8000
Max	17.4810	17.1377	14.1664	17.2087	17.7344	17.6640	17.5136	17.7403	18.1242	18.9449	23.6000
Mean	12.1717	12.4512	11.9079	12.3208	14.0311	12.2111	13.1418	12.9882	12.2651	14.0086	17.8640
Median	12.4366	12.9086	11.9980	12.5994	14.2353	12.3429	13.5728	13.3020	12.6411	14.4150	17.7000
추정개체수	94	90	82	89	67	325	256	209	339	222	25

표 5. 두 번째 지역 현지측정 결과 비교

수고추정 결과	1m(Cell Size)					0.5m(Cell Size)					현지측정 결과2
	시기1	시기2	시기3	융합1	융합2	시기1	시기2	시기3	융합1	융합2	
Min	3.7029	3.7029	4.5520	4.6347	4.9591	3.3812	4.7326	3.5536	4.1172	4.1620	6.7000
Max	14.0338	14.5610	13.5852	14.6095	14.7039	14.5147	15.7972	14.4104	15.0745	15.3020	23.1000
Mean	9.1953	10.6136	8.0887	9.8190	11.1070	9.4721	10.3351	9.2883	9.1596	10.5357	15.3067
Median	9.3796	10.9409	7.3506	9.4207	11.5768	9.3499	10.5818	9.2592	8.9085	10.8488	16.6500
추정개체수	37	27	37	32	23	144	84	120	146	87	30

위와 같은 결과를 통하여 항공라이다에 의한 추정수고는 계절적 요인, 즉 수관울폐도에 큰 영향을 받는 것으로 추정할 수 있었으며, 이와 관련된 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 라이다 자료로부터 FR의 최대값과 LR의 최소값의 차이를 이용한 방법이 추정수고를 가장 근접하게 유추할 수 있는 것으로 볼 수 있으며, 정량적이며 통계적인 검증을 위하여 다양한 지역에서의 추가 실험이 필요할 것으로 생각된다.

### 3.4 현지 측정 수고 결과 분석

표 4와 표 5에서의 계절별 추정 수고 결과와 융합한 추정 수고 결과 그리고, 현지 측정 수고 결과를 비교하여 보면 현지 측정 수고의 통계값이 항공라이다를 이용한 수고 추정 통계값보다 높게 나왔으며, 그 이유로 다음과 같이 추정해 볼 수 있다. 첫째, 현지 수고 측정이 가능한 수목은 수고가 높고 직경이 큰 개체목을 샘플링한 관계로 과대 통계량이 산출되었을 가능성과 둘째, 항공라이다를 촬영한 이후 수목의 성장량에 기인한 이유를 들 수 있다. 셋째, 수고측정기의 정밀도는 정확할 수 있으나, 현지에서의 측정시 지형에 따른 경사와 수목의 울폐등의 현지 측정 요인에 따른 오차가 발생할 가능성도 있을 것으로 생각된다.

## 4. 결론

실험 결과, 항공라이다 자료에 의한 수고 추정은 식생의 차폐 등 계절적 요인에 더 영향을 받는다고 분석되며, 시기별 수고 추정값은 계절별로 수고의 평균이 계절별 특성을 보이고 있고, 수목개체 추정 영역의 형상에도 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있었다.

또한, 항공라이다 자료의 밀도 한계로 인해 정확한 수목개체의 수관, 임관 최고점과 관목이나 교목으로 인해 정확한 지표점을 획득하는 것이 어렵고, 자료 처리시 일정한 격자 단위로 처리하는 경우 내삽효과가 더해지는 관계로 수목의 수고 추정이 축소되는 경향이 있다. 본 연구에서는 라이다 점군에 대하여 필터링 기법을 통한 수고 추정이 아닌 계절별 자료의 융합 결과를 활용한 수고 추정을 하였으며, 계절별 융합 자료를 통한 수고 추정이 계절별 각각에 대한 수고 추정보다 현지 측정 결과에 더 접근하고 있음을 알 수 있었다. 단순히 물리적으로 라이다 점군을 융합한 경우 수관형상이나 수목고 추정에 향상된 결과를 도출한다고 보기는 어려우며, 각 수관 추정, 수목 밀도 및 지표면 추출을 위한 다양한 필터링 기법을 추가적으로 적용하여 수고 추정을 하는 방법으로 이루어 진다면 보다 향상된 수고 추정 결과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 국토해양부의 U-City 석·박사과정 지원사업으로 지원되었습니다.

## 참고문헌

- 장안진, 유기윤, 김용일, 이병길 (2006), 켈러항공사진과 LiDAR 데이터를 이용한 수목 개체 및 수고 측정, 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 제 22권, 제 6호, pp. 543-551.
- Ali, S.S., Dare, P. and Jones, S. D. (2008), Fusion of Remotely Sensed Multispectral Imagery and LiDAR Data for Forest Structure Assessment at the Tree Level, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part. B7, Beijing.
- Baltsavias, E. P. (1999), A comparison between photogrammetry and laser scanning, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 83-94.
- Beucher, S. and Lantuejoul, C. (1979), Use of watersheds in contour detection, in Proceedings, *International Workshop on Image Processing*, CCETT/IRISA, Rennes, France.
- Clark Matthew L., Clark David B. and Roberts Dar A. (2004), Small-footprint lidar estimation of sub-canopy elevation and tree height in a tropical rain forest landscape, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 91, pp. 68-89.
- Holmgren Johan and Persson Åsa (2003), Identifying species of individual trees using airborne laser scanner, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 90, pp. 415-423.
- Holmgren Johan, Nilsson Mats and Olsson Håkan (2004), Estimation of Tree Height and Stem Volume on Plots Using Airborne Laser Scanning, *Forest Science*, Vol. 49, No. 3, pp. 419-428.
- Huising, E. J., Gomes Pereira, L. M. (1998), Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning for topographic applications, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 53, pp. 245-261.
- Kwak, Doo-Ahn, Lee, Woo-Kyun and Lee, Jun-Hak (2007), Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data, *Journal of Forest Research*, Vol. 12, No. 6, pp. 425-434.
- McCombs, John W., Roberts Scott D. and Evans David L. (2003), Influence of Fusing Lidar and Multispectral Imagery on Remotely Sensed Estimates of Stand Density and Mean Tree Height in a Managed Loblolly Pine Plantation, *Forest Science*, Vol. 49, No. 3, pp. 457-466.
- Næsset, E. (1997), Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 52, pp. 49-56.
- Næsset, E. (2002), Determination of Mean Tree Height of Forest Stands by Digital Photogrammetry, *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol. 17, pp. 446-459.
- Nilsson, M. (1996), Estimation of Tree Heights and Stand Volume Using an Airborne Lidar System, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 56, No. 1, pp. 1-7.
- Popescu, Sorin C. and Wynne, Rondolph H. (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*, Vol. 70, No. 5, pp. 589-604.
- Sithole, G. and Vosselman, G. (2004), Experimental comparison of filter algorithms for bare-earth extraction from airborne laser scanning point clouds, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 59, pp. 85-101.
- St-Onge, Benoît A and Achaichia, Nora (2001), Measuring Forest Canopy Height using a Combination of LiDAR and Aerial Photography Data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume XXXIV-3/W4 Annapolis, MD, pp. 22-24.

(접수일 2010. 07. 06, 심사일 2010. 07. 20, 심사완료일 2010. 08. 22)