

산림조사에서의 항공라이다 취득인자에 따른 영향분석을 위한 시뮬레이션 모델 개발

송철철¹, 이우균², 곽두안², 곽한빈²

A Simulation Model Development to Analyze Effects on LiDAR Acquisition Parameters in Forest Inventory

Chul-Chul Song¹, Woo-Kyun Lee², Doo-An Kwak², Han-Bin Kwak²

¹ 고려대학교 생명과학대학 환경GIS/RS센터(ccsong@hanmail.net)

² 고려대학교 생명과학대학 환경생태공학부(leewk@korea.ac.kr)

요 약

상용화된 항공라이다 기술을 이용한 자료취득의 비용소요는 여전히 큰 부담이어서 다양한 자료취득조건에 따른 자료취득 및 그에 따른 영향에 관한 연구는 미진한 편이다.

이에 본 연구는 3차원상에서 산림모델 및 항공라이다의 자료취득모델을 구현하여 이들을 토대로 다양한 자료취득조건에 따른 가상의 자료취득과 그에 따른 산림생장특성의 추정을 통해 적절한 자료취득조건을 구명하고자 수행하였다.

우선, 3차원의 입목모델을 규정하고 이 입목들의 식재간격 및 산림내 식생층위를 가변적으로 조절하여 가상의 산림모델들을 작성하였다. 아울러, 항공라이다 자료취득활동을 반영한 모델을 구현하고 주요 자료취득인자인 비행고도를 조절하여 다양한 취득밀도를 지닌 가상의 자료를 획득하였다. 이 자료들로부터 3차원 임관의 체적, 표준지 내 최대수고를 추정하여 자료취득밀도에 따른 추정결과와 차이를 비교분석하였다.

그 결과, 자료취득밀도가 높을수록 산림생장특성의 추정결과가 기대치에 근접하는 것으로 나타났다.

이러한 연구의 성과는 향후, 산림조사에서의 정확성 대비 항공라이다 취득비용에 관한 연구 등을 수행하면 다양한 산림생장특성의 정확성 수준에 따른 적정 예산수립 등에 도움을 줄 것으로 판단된다.

ABSTRACT

Although aerial LiDAR had been launched commercially several years ago, it is still difficult to study data acquisition conditions and effects with various datasets because of its acquisition cost.

Thus, this research was performed to study data acquisition conditions and effects

with virtually various datasets.

For this research, 3D tree models and forest stand models were built to represent graded tree sizes and tree plantation densities. Also, a variable aerial LiDAR acquisition model was developed. Then, through controlling flight height parameter, one of the data acquisition parameters, virtual datasets were collected for various data acquisition densities. From those datasets, forest canopy volumes and maximum tree heights were estimated and the estimated results were compared.

As the results, the estimated is getting closer to the expected during the data acquisition density increase.

This research would be helpful to perform further studies on relations between forest inventory accuracy and LiDAR cost.

서 론

현재, 국내에서 상용화된 small-footprint방식의 항공라이다 기술을 산림자원조사에 도입하기 위해 산림생장특성의 추정을 위한 방법들을 중심으로 한 연구들이 진행되고 있다. 다만, 이 기술을 이용한 자료취득의 비용소요는 여전히 큰 부담이어서 다양한 자료취득조건에 따른 자료취득 및 그에 따른 영향에 관한 연구는 미진한 편이다.

따라서, 비용부담을 해소하기 위해 다음과 같은 몇 편의 모의실험 연구들이 수행된 바 있다. Popescu 등(2000)은 레이저 광선의 footprint크기 변화에 따른 산림의 생체량(biomass) 추정결과의 정확성을 평가하였다. Evans 등(2001)은 규칙적으로 배치된 개체목들로 구성된 가상 산림모델에서의 체계적 표본추출에 따른 효과를 분석하였다. Holmgren 등(2003)은 개체목을 임의로 배치한 산림모델의 개체목 수고 및 임관율에 추출 결과에 대한 스캔각의 효과를 모의실험하였다.

항공라이다에 의해 취득되는 대상 중 하나인 산림은 다른 대상과는 달리 인위적 간섭이 비교적 적고 형태 및 층위구조에 있어 복잡하고 다양하다. 이러한 특성은 건물이나 초지 등 인위적 대상이 단순한 형태 및 구조를 지닌 것과 크게 구별되는 것으로서 이들 인위적 대상보다 복잡한 산림의 형태와 구조를 항공라이다로 3차원화하여 분석하기 위해서는 무엇보다도 그 자료취득밀도를 높여주어야 할 것으로 판단된다.

이에 본 연구는 3차원상에서 산림모델 및 항공라이다의 자료취득모델을 구현하여 이들을 토대로 4단계의 자료취득밀도를 조절한 가상의 항공라이다 자료를 얻고 그로부터 산림생장특성 중 임관체적 및 최대수고의 추정을 통해 적절한 자료취득밀도를 구명하고자 수행하였다.

1. 3차원 산림모델

1.1 개체목의 수관형상 및 모델링

산림을 구성하는 수관의 형상은 우선, 기하학적으로 수관부의 3차원상 윤곽에 따라 원추체, 원주체, 타원체 및 포물면체로 유형화할 수 있는데(Pelt와 North, 1996), 이 경우 수관의 형상은 간단한 방정식으로 손쉽게 정의할 수 있다.

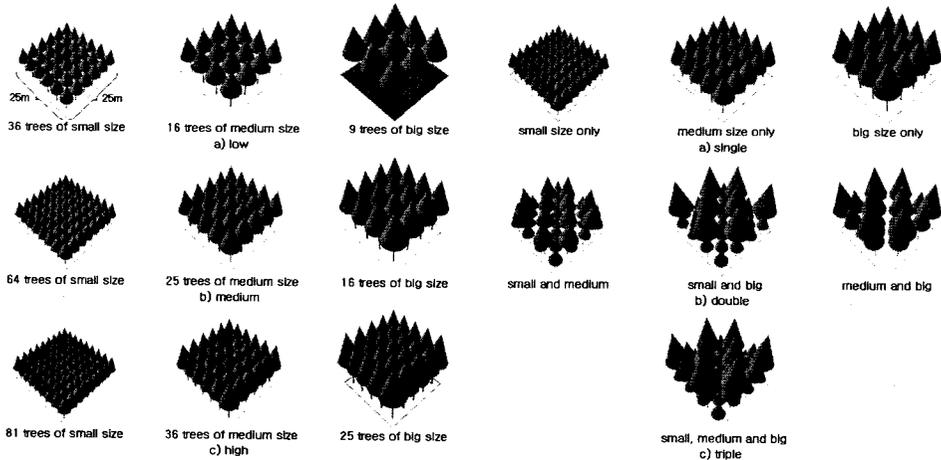
3차원상의 수관형상을 좀 더 섬세하게 표현하는 방식으로는 라이브러리를 이용한 방식(Teck et al., 1996), 분지(分枝) 또는 엽서(葉序) 프로세스모델에 근거한 방식(Takenaka, 1994) 및 정입방체(voxel)를 이용한 방식(Sinoquet 등, 2001) 등이 있다.

원격탐사분야에서는 수관형상을 원형이나 타원형(Perrin 등, 2005) 또는 부정형(Pouliot 등, 2002)으로 구분하고 있다.

본 연구에서는 수관의 형상을 가장 간단한 표현방식인 원추체로 정의하였으며 가변적인 수관형상을 개체목 크기에 따라 3가지로 유형화하여 모델링하였다.

1.2 임분모델링

앞서의 방식으로 모델링한 개체목 수관들은 가로, 세로 25m×25m(0.0625ha)의 방형표준지를 상징하여 배치하였다. 개체목의 배치는 다음의 Figure 1과 같이 동령림과 이령림을 구분하여 층위구조의 변화 및 개체목의 식재밀도를 조절하는 방식을 적용하였다.



A. Plantation Densities of Even-aged B. Vertical Layers of Uneven-aged
Figure 1. Forest Stand Models

2. 항공LiDAR 자료취득모델

2.1 자료취득모델의 구성

small-footprint방식의 항공라이다에 의한 자료취득모델을 설정하기 위해 항공기의 속도, 비행고도, 스캐닝 밀도, 스캐닝 각도 및 대상지의 위치를 가변적으로 조절하는 기하학적 모델을 개발하였다.

2.2 자료취득밀도

이렇게 개발한 자료취득모델에 항공기 속도, 스캐닝 밀도 및 스캐닝 각도는 현재 상용화된 장비의 일반적인 상황을 반영한 값을 설정하였고 비행경로상에 대상지의 중심이 오도록 설정하였다. 다만, 비행고도를 4개 단계로 나누어 설정하여 각각 상이한 자료취득밀도를 지닌 가상점들을 생성하였다. 이를 앞서 구축한 3차원 산림모델에 투영하여 3차원 항공라이다의 자료점 취득과정을 완료하였다.

3. 시뮬레이션 방법

동령 및 이령임분에 대한 산림모델 16종에 대해 각각 4단계의 밀도로 취득된 항공라이다 자료를 이용하여 3차원 임관의 체적 및 임관 내 최대수고를 추출하였다. 이 결과를 정리하여 자료취득밀도의 차이에 따른 개체목의 크기별, 식재밀도별 산림생장인자의 추정결과상의 변화를 파악하도록 하였다.

4. 결과 및 고찰

동령림의 산림모델에 대하여 4단계의 자료취득밀도에 따라 얻은 항공라이다 자료점들로부터 추정 및 추출한 임관체적과 임관내 최대 수고는 다음의 Table 1에서 보는 바와 같다.

Table 1. Maximum Height and Canopy Volume in each Even-aged Stands

Tree Size	Stand Type		Expected		Acquisited		Reconstructed (%)	
	crown overlay ratio	data density (points/m ²)	h _c (m)	V _c (m ³)	h _a (m)	V _a (m ³)	h _c /h _a ×100	V _c /V _a ×100
small	0.00	0.52	10.00	753.99	9.62	531.70	96.20	70.52
		0.69	10.00	753.99	9.76	552.39	97.60	73.26
		1.03	10.00	753.99	9.87	613.47	98.70	81.36
		2.07	10.00	753.99	9.82	663.54	98.20	88.00
	0.47	0.52	10.00	1,261.64	9.90	1,169.12	99.00	92.67
		0.69	10.00	1,261.64	9.87	1,177.73	98.70	93.35
		1.03	10.00	1,261.64	9.87	1,193.86	98.70	94.63
		2.07	10.00	1,261.64	9.90	1,200.28	99.00	95.14
	0.77	0.52	10.00	1,469.47	9.47	1,358.49	94.70	92.45
		0.69	10.00	1,469.47	9.47	1,366.29	94.70	92.98
		1.03	10.00	1,469.47	9.61	1,377.73	96.10	93.76
		2.07	10.00	1,469.47	9.47	1,385.45	94.70	94.28
medium	0.00	0.52	15.00	1,130.98	14.29	895.20	95.27	79.15
		0.69	15.00	1,130.98	14.52	952.97	96.80	84.26
		1.03	15.00	1,130.98	14.52	1,011.24	96.80	89.41
		2.07	15.00	1,130.98	14.56	1,049.09	97.07	92.76
	0.32	0.52	15.00	1,713.96	14.21	1,551.01	94.73	90.49
		0.69	15.00	1,713.96	14.50	1,614.52	96.67	94.20
		1.03	15.00	1,713.96	14.75	1,621.13	98.33	94.58
		2.07	15.00	1,713.96	15.00	1,646.63	100.00	96.07
	0.77	0.52	15.00	2,204.12	14.62	2,086.70	97.47	94.67
		0.69	15.00	2,204.12	14.76	2,095.98	98.40	95.09
		1.03	15.00	2,204.12	14.87	2,110.48	99.13	95.75
		2.07	15.00	2,204.12	14.82	2,122.53	98.80	96.30
big	0.00	0.52	20.00	1,507.96	19.28	1,318.68	96.40	87.45
		0.69	20.00	1,507.96	19.07	1,371.84	95.35	90.97
		1.03	20.00	1,507.96	19.41	1,407.18	97.05	93.32
		2.07	20.00	1,507.96	19.41	1,435.93	97.05	95.22
	0.47	0.52	20.00	2,523.26	19.29	2,365.45	96.45	93.75
		0.69	20.00	2,523.26	19.52	2,401.47	97.60	95.17
		1.03	20.00	2,523.26	19.52	2,410.95	97.60	95.55
		2.07	20.00	2,523.26	19.56	2,436.44	97.80	96.56
	0.91	0.52	20.00	3,274.19	19.21	3,104.69	96.05	94.82
		0.69	20.00	3,274.19	19.50	3,126.75	97.50	95.50
		1.03	20.00	3,274.19	19.75	3,140.25	98.75	95.91
		2.07	20.00	3,274.19	20.00	3,151.76	100.00	96.26

이 결과를 비교해 보면, 전체적으로 개체목의 크기, 식재밀도 및 자료취득 밀도가 높을수록 추정결과가 기대치에 가까워지는 경향을 보인다. 특히, 임관체적과 최대수고의 추정치에 의한 복원정도를 비교한 결과, 수고에 비해 체적의 추정결과가 상대적으로 크게 변화하는 결과를 얻었다.

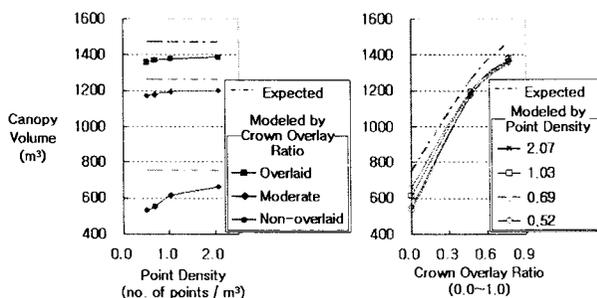
이령림의 산림모델에 대하여 4단계의 자료취득밀도에 따라 얻은 항공라이다 자료점들로부터 추정 및 추출한 임관체적과 임관내 최대 수고는 다음의 Table 2에서 보는 바와 같다.

Table 2. Maximum Height and Canopy Volume in each Uneven-aged Stands

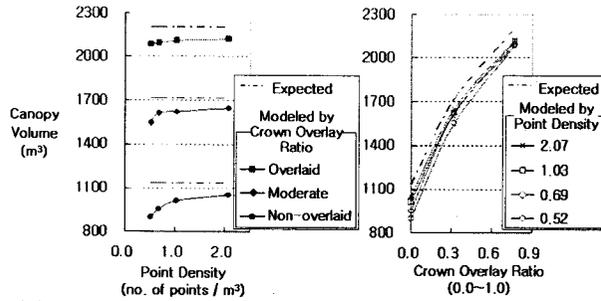
Stand Type		Expected		Acquired		Reconstructed (%)		
Vegetation Layer	Tree Size	data density (points/m ³)	h_c (m)	V_c (m ³)	h_a (m)	V_a (m ³)	$h_c/h_a \times 100$	$V_c/V_a \times 100$
single	small	0.52	10.00	1,261.64	9.90	1,169.12	99.00	92.67
		0.69	10.00	1,261.64	9.87	1,177.73	98.70	93.35
		1.03	10.00	1,261.64	9.87	1,193.86	98.70	94.63
		2.07	10.00	1,261.64	9.90	1,200.28	99.00	95.14
	medium	0.52	15.00	1,713.96	14.21	1,551.01	94.73	90.49
		0.69	15.00	1,713.96	14.50	1,614.52	96.67	94.20
		1.03	15.00	1,713.96	14.75	1,621.13	98.33	94.58
		2.07	15.00	1,713.96	15.00	1,646.63	100.00	96.07
	big	0.52	20.00	2,523.26	19.29	2,365.45	96.45	93.75
		0.69	20.00	2,523.26	19.52	2,401.47	97.60	95.17
		1.03	20.00	2,523.26	19.52	2,410.95	97.60	95.55
		2.07	20.00	2,523.26	19.56	2,436.44	97.80	96.56
double	small & medium	0.52	15.00	1,696.68	13.88	1,488.33	92.53	87.72
		0.69	15.00	1,696.68	14.50	1,523.70	96.67	89.80
		1.03	15.00	1,696.68	14.75	1,552.58	98.33	91.51
		2.07	15.00	1,696.68	14.75	1,583.15	98.33	93.31
	small & big	0.52	20.00	2,837.34	19.29	2,565.63	96.45	90.42
		0.69	20.00	2,837.34	19.38	2,601.14	96.90	91.68
		1.03	20.00	2,837.34	19.52	2,658.94	97.60	93.71
		2.07	20.00	2,837.34	19.56	2,695.88	97.80	95.01
	medium & big	0.52	20.00	2,177.79	19.29	1,952.32	96.45	89.65
		0.69	20.00	2,177.79	19.38	2,021.63	96.90	92.83
		1.03	20.00	2,177.79	19.52	2,051.13	97.60	94.18
		2.07	20.00	2,177.79	19.56	2,076.62	97.80	95.35
triple	small medium & big	0.52	20.00	3,352.00	19.29	3,268.32	96.45	97.50
		0.69	20.00	3,352.00	19.38	3,315.68	96.90	98.92
		1.03	20.00	3,352.00	19.52	3,292.65	97.60	98.23
		2.07	20.00	3,352.00	19.56	3,303.11	97.80	98.54

이 결과를 비교해 보면, 동령림과 마찬가지로 개체목의 크기 및 자료취득 밀도가 높을수록 추정결과가 기대치에 가까워지는 경향을 보인다. 다만, 식생층위가 복잡할수록 임관체적의 복원정도가 변화하는 경향은 일정하지 않은 결과를 얻었다.

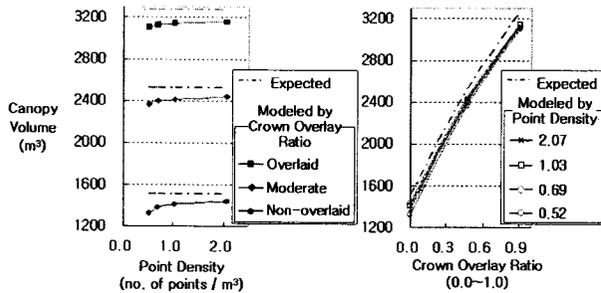
다음의 Figure 2는 동령림에서의 임관체적 복원결과를 그래프로 나타낸 것이다. 3차원 산림모델의 기하학적 기대치와 앞서 취득한 개체목의 크기에 따라서 자료취득밀도별 및 식재밀도별로 임관체적의 추정치가 변화하는 것을 한눈에 파악할 수 있다.



(a) with small-sized trees in even-aged stand



(b) with medium-sized trees in even-aged stand



(c) with big-sized trees in even-aged stand

Figure 2. Canopy Volume(Estimated) from Acquired Points and Canopy Geometry Models(Expected) in Even-aged Stand

이러한 변화추세는 log함수나 2차함수로 적합하면 상당히 높은 결정계수를 얻을 수 있었다.

결 론

비용소요가 큰 항공라이다의 자료취득과정을 모의실험으로 대체한 본 연구에서는 다음과 같은 성과를 도출하였다.

우선, 개체목의 크기, 개체목의 식재밀도 및 식생층위를 달리하는 3차원 산림모델을 구축하였다. 또한, 가변적인 항공라이다 자료취득모델을 개발하여 비행고도를 조절, 여러 단계의 자료취득밀도별 가상의 항공라이다 자료를 획득하였다.

이 자료들로부터 산림생장요인 중 임관체적 및 최대수고를 추정한 본 연구결과, 개체목의 크기, 식재밀도 및 자료취득밀도가 증가할수록 산림생장요인의 추정결과는 정확도가 향상되며 식생층위의 발달정도는 층위의 발달정도, 구성개체목의 크기, 크기별 배치간격 등 다양한 요소에 의해 단편적으로 규정하기 곤란하였다.

본 연구의 결과를 활용하면 산림관련 항공라이다 연구에서 목표로 하는 산림생장요인의 정확성에 근접하기 위한 적절한 자료취득밀도의 선정이 가능하며 이는 소요비용에 대한 보다 실질적 도출로 예산수립 등에 도움이 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- Evans, D.L., Roberts, S.D., McCoombs, J.W. and Harrington, R.L., 2001, Detection of regularly spaced targets in small-footprint lidar data: research issues for consideration. *Photogrammetric Eng. Remote Sensing* Vol.67(10): pp.1133~1136
- Holmgren, I., Nilsson, M. and Olsson, H., 2003, Simulating the effects of lidar scanning angle for estimation of mean tree height and canopy closure. *Can. J. Remote Sensing* Vol.29(5): pp.623~632
- Pelt, R.V. and North, M. P., 1996, Analyzing Canopy Structure in Pacific Northwest Old-Growth Forests with a Stand-Scale Crown Model, *Northwest Science* Vol. 70. Special Issue. 1996: pp.15~30
- Perrin, G., Descombes, X. and Zerubia, J., 2005, A Marked Point Process Model for Tree Crown Extraction in Plantations, *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Genova, Italy (2005)
- Popescu, S.C., Wynne, R.H. and Nelson, R.F., 2000, Estimating forest vegetation biomass using airborne lidar measurements. In: Presented at the Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Lake Buena Vista, FL, January: pp.10~12
- Pouliot, D.A., King, D.J., Bell, F.W. and Pitt, D.G., 2002, Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration, *Remote Sensing of Environment* Vol. 82: pp.322~334
- Sinoquet, H., Roux, X.L., Adam, B., Ameglio, T. and Daudet, F.A., 2001, RATP: a model for simulating the spatial distribution of radiation absorption, transpiration and photosynthesis within canopies: application to an isolated tree crown, *Plant, Cell and Environment* Vol. 24: pp.395~406
- Takenaka, A., 1994, A Simulation Model of Tree Architecture Development Based on Growth Response to Local Light Environment, *Journal of Plant Research* Vol. 107: pp.321~330
- Teck, R., Moeur, M. and Eav, B., 1996, Forecasting ecosystems with the forest vegetation simulator. *Journal of Forestry* Vol. 94: pp.7~10