한국측량학회지, 제 30권 제 3호, 2012. 6 : pp. 269~277

모의 항공 라이다 자료를 이용한 개별 가로수의 추정

Estimation of Individual Street Trees Using Simulated Airborne LIDAR Data

조두영[1] · 김의명[2]
Cho, Du Young · Kim, Eui Myoung

Abstract

Street trees are one of useful urban facilities that reduce carbon dioxide and provide green space in urban areas. They are usually managed by local government, and it is effective to use aerial LIDAR data in order to acquire information such as the location, height and crown width of street tree systematically. In this research, algorithm was proposed that improves the accuracy of extracting top points of street trees and separates the region of individual street trees from aerial LIDAR data. In order to verify the proposed algorithm, a simulated aerial LIDAR data that exactly knows the number, height and crown width of street trees was created. As for the procedure of data processing, filtering that separates ground and non-ground points from LIDAR data was first conducted in order to separate the region of individual street trees. An estimated non-street tree points were then removed from non-ground points, and the top points of street trees were estimated. Region of individual street trees was determined by using the intersecting point of straight line that connects top point and ground point of street tree. Through the experiment by using simulated data, it was possible to refine wrongly estimated points occurred by determining tree tops and to determine the positional information, height, crown width of street trees through the determination of region of street trees.

Keywords : LIDAR, Street Tree Extraction, Simulation Data, Filtering, Reduction of Carbon Dioxide

초 록

도시지역에서 가로수는 이산화탄소를 저감하고 녹지 공간을 제공하는 유용한 도시시설물 중의 하나이다. 가로수는 일반적으로 지자체에서 관리되고 있으며 가로수의 위치, 수고, 수관폭 등의 정보를 체계적으로 획득하기 위하여 항공 라이다를 사용하는 것이 효율적이다. 본 연구에서는 항공 라이다 자료에서 추정한 가로수 꼭대기점을 정제하고, 가로수의 영역을 분리하는 방법을 제안하였다. 제안 방법의 검증을 위하여 가로수의 개수, 수고, 수관폭 등을 수치적으로 정확하게 알 수 있는 모의 항공 라이다 자료를 생성하였다. 자료처리 과정은 먼저 개별 가로수의 영역을 구분하기 위하여 지면과 비지면을 구분하는 필터링을 수행하였다. 그리고 나서 비지면점에서 건물 등의 비가로수 정보를 제거하고, 가로수의 꼭대기점을 추정하였다. 가로수의 영역은 추정된 가로수의 꼭대기점과 지면점을 서로 잇는 직선의 교차점을 이용하여 설정하였다. 모의자료를 이용한 실험을 통해 수목의 꼭대기점 추정에서 발생되는 오추정점을 정제하고, 가로수의 영역설정을 통해 수고, 수관폭, 가로수의 위치정보를 획득할 수 있었다.

핵심어 : 항공 라이다, 가로수 추출, 모의자료, 필터링, 이산화탄소 저감

1. 서 론

라이다(LIDAR : LIght Detection And Ranging) 자료는 지상에 존재하는 모든 객체에 대한 3차원 위치 정보를 점 기반으로 가지고 있어 건물, 수목 등의 객체추출분야에 주로 활용되고 있다. 도시의 주요지상객체들 중에서 가로수는 탄소저감과 공해오염방지 등의 기능과 도시내 녹색네트워크를 형성하는 중요한 선형녹지로서 효율적인 정보

1) 남서울대학교 GIS공학과 석사과정 (E-mail:cho202da@gmail.com)
2) 교신저자 · 정회원 · 남서울대학교 GIS공학과 조교수 (E-mail:kemyoung@nsu.ac.kr)

의 획득과 체계적인 관리가 필요하다(산림청, 2008). 이러한 가로수에 대한 수고, 수관폭, 위치 등의 수치정보의 추출을 위해 라이다 자료는 효율적으로 활용될 수 있다. 도시지역의 가로수 정보를 라이다 단일 자료에서 추출하는 것은 공존하는 건물, 인공구조물 등에 대한 추가적인 추출 및 제거로 인해 산림지역에 대한 수목정보의 추출보다 복잡한 자료처리과정이 요구된다.

도시지역 가로수 정보의 추정과 관련한 수목정보의 추출에 관한 기존 연구들에서는 산림지역을 대상으로 수목추출을 용이하게 해주는 CHM(Cannopy Height Model)을 이용한 방법(우충식, 2006; Persson et al., 2002; Pitkänen et al., 2004; Yu et al., 2004; Solberg et al.,2006)과 지상객체의 지면 높이값을 정규화하여 객체추출을 용이하게 해주는 NDSM(Normalized Digital Surface Model)을 이용한 방법(Lim, 2007, Demir et al., 2008)이 주로 사용되었다. 이와 함께, 개별수목의 영역분리를 위해 수목의 꼭대기점 추출 후 K-Means Clustering 알고리즘을 사용한 연구(한국전자통신연구원, 2007)와 점자료를 기반으로 지면 높이값의 정규화 수행 후 꼭대기점에서부터 수평거리를 기준으로 설정한 임계값 이내의 점을 개별수목으로 선택하는 방법을 제안한 연구(Li et al., 2012)가 수행되었다.

라이다 자료를 이용하여 수목정보를 추출하는 기존 연구들에서는 수목만이 존재하는 산림지역과 도시지역의 밀집된 수목을 주대상으로 하였으며, 도시지역의 개별 가로수에 대한 수고, 수관폭, 위치 등의 수치정보 추정과 관련한 직접적인 연구사례는 다소 미흡한 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 김의명 등(2011)에 의해 수행된 라이다 자료를 이용한 도시지역의 가로수 정보 추출에 관한 선행연구에서의 건물 및 비가로수정보의 제거와 수목꼭대기점의 추정 방법을 바탕으로 추정된 가로수 꼭대기점의 정제와 개별 가로수의 영역을 분리를 통한 가로수의 위치, 수고, 수관폭의 정보를 추정하는 방법을 제안하고 모의자료를 이용한 실험을 실시하였다.

2. 제안 방법

2.1 가로수 꼭대기점의 정제

꼭대기점의 추정과정에서 가로수의 최대 높이와 비슷한값을 가지는 가로등, 전신주 등의 도로시설물 정보는 꼭대기점으로 오추정될 수 있다. 오추정된 꼭대기 점의 정제를 위하여 본 연구에서는 실제 수목을 구성하는 라이다 점의 꼭대기점과 다음 점은 높이 차이가 상대적으로 작다는 특성을 이용하였다. 정제방법은 다음과 같으며, 정제과정에서 입력자료는 추정된 꼭대기 후보점들과 지면, 건물, 등의 비가수정보가 제거된 점자료이다.

① 선택된 꼭대기 후보점들의 각각에 대하여 그림 1과 같이 수평거리를 기준으로 최근린에 존재하는 3점을 선택하고, 높이차이를 측정하여 평균을 계산
② 계산된 개별 후보점들의 평균값(높이차)들을 사용하여 전체적인 평균과 표준편차를 계산하고, 2σ 임계치를 벗어나는 후보점을 제거

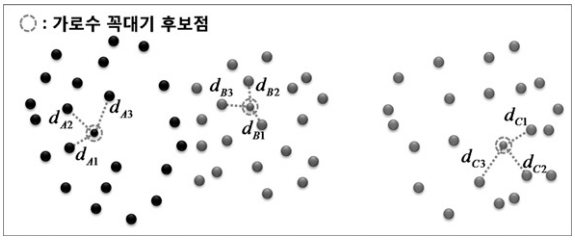

그림 1. 꼭대기 후보점에서 최근린점 선택

그림 1은 꼭대기 후보점(원형점선)에서 수평거리로 선택한 최근린의 3점과 위치를 나타낸다.

2.2 개별 가로수 영역의 분리

꼭대기점 추출 후 개별 가로수의 수치적인 정보 계산을 위해 영역을 분리하는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 가로수의 영역분리를 위하여 인접 가로수간의 꼭대점과 지면점을 생성할 수 있는 교차점을 사용한 방법을 제안하였다. 입력자료는 정제된 꼭대기점들과 비지면점 자료이며, 제안한 영역 분리 방법은 추출된 꼭대기점과 도로 등의 선형정보를 활용하여 가로수가 존재하는 영역선정과정이 선행되어야 한다. 제안한 영역분리방법은 다음과 같다. 그림 2는 영역 분리 흐름과 영역분리부분을 확대한 것을 나타낸다.

① 입력자료인 정제된 비지면점들을 포함하는 직사각형의 영역을 생성
② 추정된 각각의 꼭대기점에서 수직으로 내린 지면점의 좌표를 계산
③ 수목꼭대기점과 지면점을 이용하여 교차점을 계산
- 좌우 수목꼭대기점과 좌우 지면점의 좌표(4점)를 입력자료로 사용하며, 영역분리의 기준이 되는 교차점 생성을 위해 4점을 이용한 임의의 평면을 생성

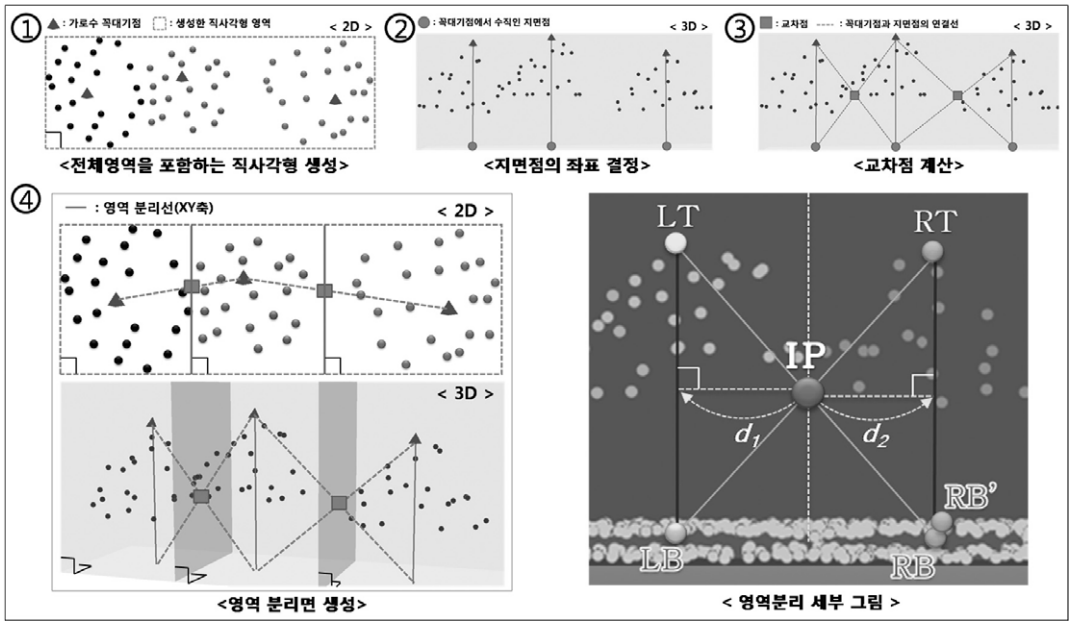

그림 2. 가로수 영역 분리 흐름 및 영역분리방법 세부표현

- 3차원 공간상의 임의의 4점은 평면을 구성할 수 없기 때문에 좌우 꼭대기점과 한 점의 지면점자료를 이용하여 평면을 구성하고 나머지 지면점을 생성한 평면에 투영하는 방법을 사용(영역분리 세부 그림에서 LT, RT, LB 3점을 이용하여 평면을 구성한다고 가정하면 RB점을 평면에 투영한 RB′ 점을 생성)
- 좌측 수목꼭대기점(LT)과 우측 투영된 지면점(RB′)으로 생성한 직선과 우측 수목꼭대기점(RT)과 좌측 지면점(LB)으로 생성한 직선이 교차하는 교차점(IP)을 결정

④ 교차점(IP)을 좌측 수목꼭대기점(LT)과 좌측 지면점(LB)을 잇는 직선에 투영하여 거리(d_1)를 계산하고 동일한 방법으로 우측도 실행하여 거리 d_2를 계산

④ ①번 과정에서 생성한 외곽선과 교차점을 지나며 2차원(X, Y)상에서 직교하는 분리선(3차원 : 면)을 생성하고 개별 영역을 구분

2.3 가로수 수치정보의 추정

가로수 수치정보의 항목은 가로수의 위치, 수고, 수관폭으로 설정하였다. 위치정보 추정은 영역이 분리된 개별 가로수 점들의 평면위치에 대한 평균값 ($\sum_{i=1}^{n}[X_i, Y_i]/n, n=$ 점의 개수)으로 계산하여 결정하였다. 수고는 개별 가로수가 포함하는 라이다 점들 중 최대 높이값으로, 수관폭은 개별 가로수 점들을 사용해 생성되는 최대 원의 지름으로 추정하였다(Kim et al., 2012).

그림 3은 개별 가로수 점들을 이용하여 계산되는 수치정보의 개념을 나타낸다.

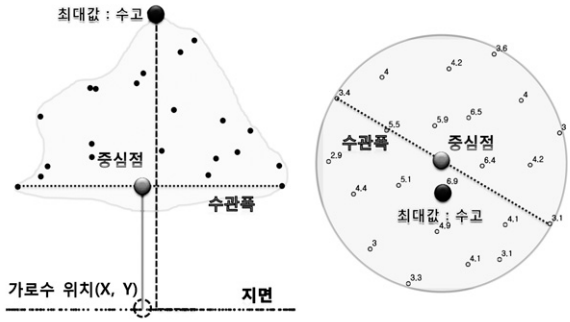

그림 3. 가로수 수치정보 추정의 개념도

3. 모의(simulation)자료를 이용한 검증

3.1 모의자료의 생성

가로수 정보의 추정 실험과 결과의 검증을 위해 모의 라이다 자료를 생성하였다. 모의자료의 생성시 항공기 및 레이저 스캐너에 대한 환경의 설정과 준비가 우선적으로 실시되어야 하지만, 본 연구에서는 연구자의 라이다 자료 처리와 관련한 다수의 연구를 바탕으로 직접 상용소프트

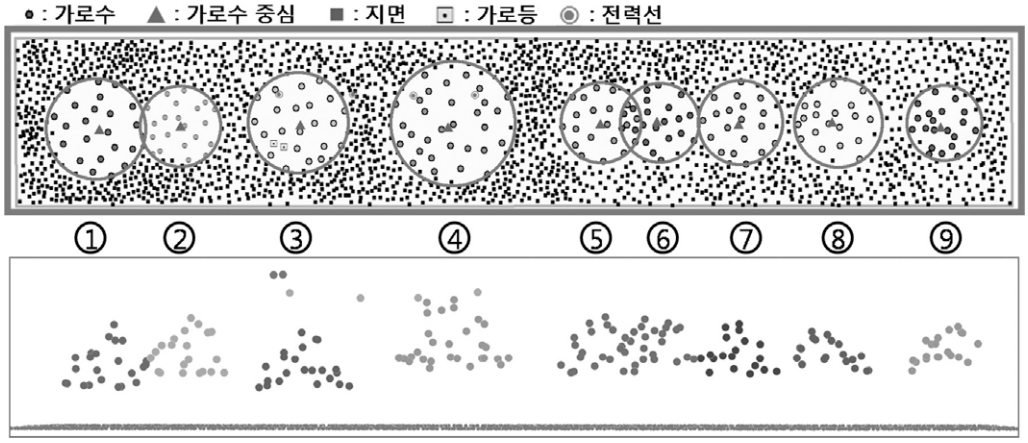

그림 4. 생성한 라이다 모의자료

웨어로 수동으로 제작하였다. 모의자료에서 생성한 가로수는 경기도 수원 도심의 라이다 자료의 가로수 점자료를 참고하였다. 생성방법은 수관폭을 가정한 개별 가로수의 영역 설정 후 영역 내부에 가로수 점을 생성하고 수관형에 따른 높이값을 부여하여 개별 가로수를 생성하였다. 모의자료 사용의 목적은 결과 검증을 위한 기준값 확보와 실험과정에서 선행연구(김의명 등, 2011)방법의 개선을 위해 제안한 꼭대기점의 정제와 영역분리 방법의 적용성 검토에 있다. 따라서 모의자료는 가로수의 영역선정, 지면높이의 정규화, 낮은 높이의 비가로수 정보의 제거과정은 실험에서 수행하지 않았다. 지면점의 높이는 정규화가 완료되었다는 가정하에 0m로 설정하였으며, 실제 도시지역의 가로수는 도로시설물, 자동차 등의 다양한 정보가 존재하지만 가로수의 추정에 있어 비슷한 높이의 가로등과 전력선은 가장 큰 오류를 발생시킬 수 있는 객체로 선정하여 모의자료에는 가로등과 전력선의 정보를 포함하였으며, 지상에서 낮은 높이를 가지는 객체는 포함시키지 않았다.

그림 4는 생성한 모의 라이다 자료를 2차원과 3차원으로 각각 표현한 것을 나타낸다. 가로수와 공존하는 전력선 가로등 정보가 가로수 추출에 미치는 영향을 분석하기 위해 생성한 모의자료의 3번과 4번 가로수 객체에는 가로등과 전력선정보가 비슷한 위치와 높이에 존재하도록 설정하였다. 1~4번 가로수는 불규칙적인 식재간격을 가지도록 배치하였으며, 1번과 2번은 비슷한 수고를 가지며 가로수의 영역이 중복되도록 설정하였다. 5~9번 가로수는 가로수의 인접성에 따른 추출 영향분석을 위해 식재간격을 점진적으로 커지도록 하였다. 모의자료에서 가로수의 수관폭은 그림 4에서 큰 원의 지름값이며, 최소 5.1m(9번)에서 최대 8.8m(4번)의 값으로 생성하였다. 1~4번 가로수의 경우 불규칙적인 수관폭값을 적용하였고, 5~9번 가로수의 경우 5.1m~6.0m의 비슷한 값을 가지도록 하였다. 표 1은 생성한 모의 라이다 자료에 대한 통계를 나타낸다.

표 1. 모의 라이다 자료의 통계

면적 (m^2)	점의 개수 (개)	점밀도 (개/m^2)	평균점간 거리(m)
863.94	2174	2.5	0.6
객체별 점의 개수(개)			
가로수	지면	가로등	전력선
195	1972	2	4

표 2. 라이다 모의자료의 수치적 기준값

번호	점의 개수 (개)	중심점 위치(m)		수고 (m)	수관폭 (m)
		X	Y		
1	23	206253.92	405531.57	7.5	7.1
2	21	206259.70	405531.75	8.0	5.6
3	22	206268.27	405531.89	6.9	7.0
4	30	206278.95	405531.68	9.4	8.8
5	20	206289.77	405531.92	8.0	5.7
6	21	206293.83	405532.10	7.9	5.6
7	19	206377.69	405531.86	7.5	6.0
8	19	206306.43	405532.00	7.0	6.0
9	20	206314.21	405531.65	7.2	5.1

모의 라이다 자료에서 개별 가로수에 대한 수치적인 기준값의 항목은 가로수의 개수, 개별 가로수가 포함하는 라이다 점의 개수, 중심점 위치, 수고, 수관폭의 정보로 실험결과의 검증을 위한 기준값은 표 2와 같다.

3.2 모의자료를 이용한 실험

실험에서 사용한 개별 가로수 수치정보의 추정의 전반적인 과정은 다음과 같다.

① 라이다 점자료의 정제 : 지면과 비지면을 분리하고 건물, 가로등, 자동차 등의 비가로수 정보를 제거하는 과정
② 영상기반의 꼭대기점 추정 : 비가로수 정보를 제거한 비지면점에 대하여 지면 높이값을 정규화한 NDSM을 생성하고, 국지적최대값 필터링(local maxima filtering)을 이용하여 가로수 꼭대기점을 추정하고 정제하는 과정
③ 개별 가로수 영역 분리 : 가로수 꼭대기 추정점과 지면을 잇는 직선을 이용하여 인접가로수의 영역을 구분하는 과정
④ 개별 가로수 중심점 추정 : 구분된 개별 가로수 점들의 위치적 평균값을 이용하여 중심점을 추정하는 과정
⑤ 개별 가로수의 수치정보 계산 : 개별 가로수에 대한 수치정보인 수고, 수관폭, 위치정보를 획득하는 과정

(1) 라이다 점 자료의 정제

모의 라이다 자료에서 가로수가 포함된 비지면 정보의 분리를 위하여 필터링을 수행하였다. 필터링은 Progressive Morpology 알고리즘을 사용하였다(김의명 등, 2012). 그림 5는 필터링의 결과인 지면(a)과 비지면(b) 정보를 각각 나타낸다.

(a)지면 정보

(b)비지면 정보

그림 5. 필터링 결과

필터링 수행 결과 지면점의 추출 개수는 1,942개로 약 98.4%의 추출률을 보였다. 생성한 모의자료에는 건물이 존재하지 않기 때문에 건물정보의 제거과정은 생략하였다.

비지면 정보에서 가로등, 전력선 등의 높은 객체와 자동차 등의 낮은 객체를 설정한 높이(10m이상, 2m이하)를 기준으로 제거하여 정제를 실시하였다. 정제과정에서 정제된 점의 개수는 총 34점으로, 높은 객체가 4점, 낮은 객체가 30점이 제거되었다. 낮은 객체는 주로 필터링과정에서 오분류된 지면점이다. 그림 6은 높이기준으로 정제된 결과를 나타낸다.

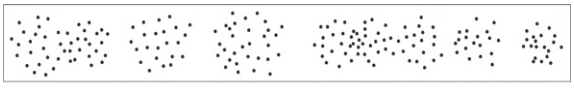

그림 6. 비지면자료의 정제 결과

(2) 가로수 꼭대기점의 추정

꼭대기점 후보점의 추정은 수목의 형태와 유사한 원형 필터를 적용한 국지적 최대값 필터링방법을 사용하였다. 실제 자료처리에서는 건물 등의 비가로수 객체가 제거된 비지면 점자료를 보간하여 생성한 NDSM이 사용된다. 모의자료를 이용한 실험에서는 정제된 비지면 점자료를 점간평균거리(0.6m)의 해상도로 최근린보간법을 사용하여 보간하였다. 그림 7은 보간한 결과를 나타낸다.

그림 7. 정제된 비지면 자료의 보간 결과

영상기반의 꼭대기점 추정을 위한 필터링 과정에서 필터의 크기는 실제 가로수의 식재간격을 고려하여 6m로 설정하였으며, 최소 높이값은 5m를 기준으로 수행하였다. 그림 8은 필터링을 수행하여 추정된 꼭대기 후보점을 나타낸다.

그림 8. 필터링 수행 결과

가로수 꼭대기의 후보점은 총 10개가 추정되었으며, 그림 9는 꼭대기 후보점의 추정 결과를 나타낸다.

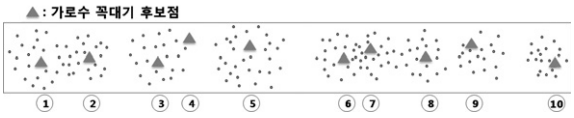

그림 9. 가로수 꼭대기 후보점의 추정 결과

본 연구에서는 추정된 꼭대기점의 정제를 위해 수목의 꼭대기점은 근접한 주변 점들과 높이 차이가 크지 않다는 가정을 하고, 2.1절에서의 제안방법과 같이 추정된 꼭대기 후보점에서 최근린점을 선택하고 높이차이의 평균값과 표준편차를 계산하였다. 표 3은 10개의 꼭대기 후보점에서 최근린 3점간의 높이차와 평균을 나타낸다.

표 3. 후보점의 최근린 3점간 높이차와 평균

구 분		최근린 3점과의 높이차(m)			
		1	2	3	평균
꼭대기 후보점	1	1.68	1.74	2.07	1.83
	2	1.24	1.74	1.80	1.59
	3	1.30	1.98	2.05	1.78
	4	4.32	4.50	4.74	4.52
	5	1.73	2.25	2.26	2.08
	6	1.26	1.55	1.61	1.48
	7	1.14	1.57	1.69	1.47
	8	1.02	1.13	1.53	1.23
	9	0.90	1.48	1.60	1.33
	10	0.69	1.26	1.92	1.29

꼭대기 후보점에서 최근린에 위치하는 3점의 평균 높이차이를 계산하고, 표준편차를 기준으로 하여 2σ이내에 포함되지 않는 값을 오류점으로 선택하여 정제하였다. 모의자료를 이용한 실험에서 최근린 3점의 평균 높이차이는 약 1.9m, 표준편차는 약 0.97로 계산되었다. 꼭대기 후보점의 정제의 기준인 2σ(약 3.8)의 범위에 포함되지 않는 점은 4번 후보점으로 약 4.5m의 평균값을 가진다. 따라서, 4번 후보점을 제거하여, 총 9개의 꼭대기 점을 최종 선택하였다. 그림 10은 정제된 후보점(1개)과 추정된 결과점(9개)를 나타낸다.

그림 10. 가로수 꼭대기 추정 결과

(3) 개별 가로수의 영역 분리

가로수에 대한 수치정보의 계산을 위해 추정된 꼭대기점을 이용하여 개별 가로수의 영역을 구분하였다. 먼저 이전에 생성한 정제된 가로수 점자료를 포함하는 직사각형 영역(envelop)을 그림 11(상단)과 같이 생성한다. 가로수의 영역은 가로수 추정점들의 X, Y의 최소와 최대값을 이용하여 생성한다. 그림 11은 정제된 가로수 점자료를 포함한 2차원 형태의 직사각형 영역(상단)과 3차원의 표현을 각각 나타낸다. 가로수 꼭대기점 선택 후 2.2절에서 제안한 내용과 같이 인접하는 가로수의 꼭대기점과 해당 지면점의 위치를 기반으로 개별 가로수 영역을 분리하는 교차점을 생성하고 영역을 분리하였다. 개별 가로수의 영역은 꼭대기점의 개수와 같은 9개로 분리되었다. 그림 12는 영역 분리결과를 2차원(상단)과 일부 영역을 확대하여 3차원(하단)으로 표현한 것을 나타낸다.

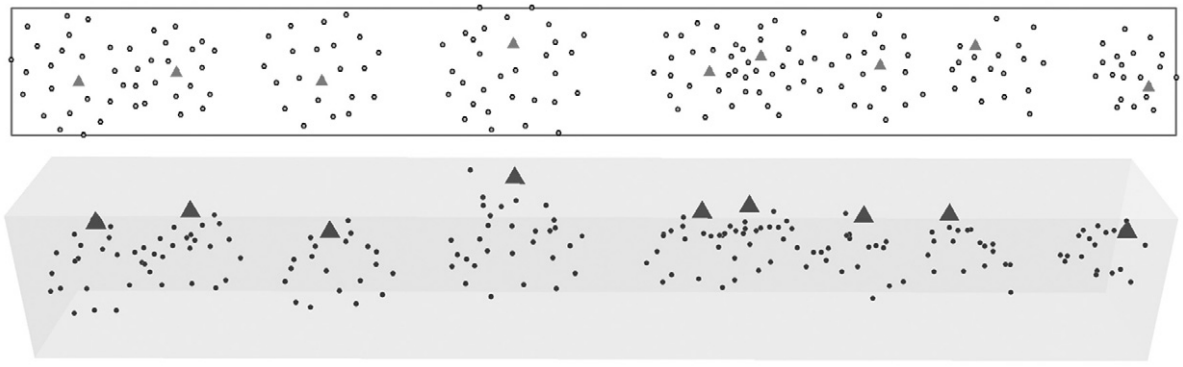

그림 11. 전체 영역의 생성 결과

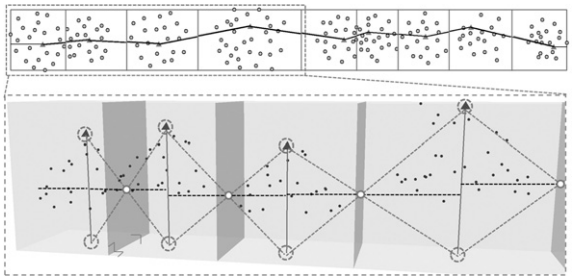

그림 12. 개별 가로수 영역의 구분 결과

(4) 가로수 중심점과 수관폭의 추정

개별 가로수에 대항 영역 분리 후 2.3절에서 제안한 것과 같이 가로수의 평균위치값(중심점)을 위치정보로, 해당점들로 생성 가능한 가장 큰 원의 지름값을 수관폭으로 설정하였다. 가로수 중심점은 개별 가로수점들의 평면위치 평균값(X, Y)으로 계산하였다. 그림 13은 계산된 개별 가로수의 중심점 결과를 2차원 형태로 나타낸 것이다.

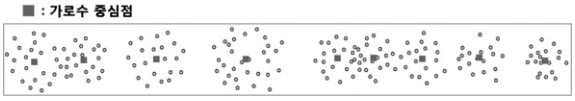

그림 13. 개별 가로수의 중심점 추정 결과

개별 가로수의 수관폭 계산을 위하여 개별 가로수를 포함하는 최대원을 생성하고 원의 지름을 수관폭으로 계산하였다. 그림 14는 개별 가로수의 수관폭 계산을 위해 생성한 원을 나타낸다.

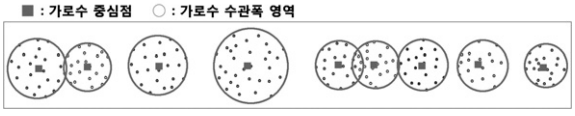

그림 14. 개별 가로수의 수관폭 영역

4. 모의자료 실험의 결과 분석

생성한 모의자료를 제안한 방법론에 적용하여 개별 가로수의 정보를 추출하는 실험을 실시하고 추정된 결과에 대하여 분석을 실시하였다. 결과 분석은 이전 모의자료 생성과정에서 계산한 기준값과 실험결과에 대한 정량적 비교를 수행하였다. 모의자료 기준값과의 비교항목은 가로수의 개수, 개별 가로수 점의 개수, 위치, 수고, 수관폭 정보이다. 표 4는 모의자료를 제안한 방법에 적용하여 추정한 가로수 수치정보의 추정 결과를 나타낸다.

실험 결과에서 추출된 가로수는 총 9그루이며, 기준값과 차이가 없었다. 추정된 가로수 점은 총 196개로 1개가 증가하였다. 증가된 1점은 4번 가로수에 해당하는 모의자료 생성시 가로수와 함께 배치한 전력선으로 확인되었다. 실험결과인 9그루의 가로수에서 6개의 가로수(1, 2, 3, 7, 8, 9번)는 점의 개수, 중심점의 위치, 수고, 수관폭의 모든 항목이 기준값과 일치하는 결과를 얻었다.

표 4. 모의자료 실험의 가로수 정보 추정 결과

번호	점의 개수 (개)	중심점 위치(m)		수고 (m)	수관폭 (m)
		X	Y		
1	23	206253.92	405531.57	7.5	7.1
2	21	206259.70	405531.75	8.0	5.6
3	23	206268.27	405531.89	6.9	7.0
4	**31**	**206278.89**	**405531.84**	**9.6**	8.8
5	**20**	**206289.69**	**405531.97**	8.0	**5.5**
6	**21**	**206293.95**	**405531.98**	7.9	**5.4**
7	19	206377.69	405531.86	7.5	6.0
8	19	206306.43	405532.00	7.0	6.0
9	20	206314.21	405531.65	7.2	5.1

가로수가 서로 인접하지만 라이다 점이 중복되지 않고, 가로수 영역 내에 높이값이 비슷한 비가로수 객체점이 없을 경우 정확히 추출된 것을 확인할 수 있었다.

실험결과 모의자료의 기준값과 차이가 발생한 가로수는 4, 5, 6번 3그루에 해당한다. 4번 가로수의 경우 수관폭을 제외한 나머지 3개의 비교항목(점의 개수, 위치, 수고)에서 차이를 보였다. 점의 개수가 1개 증가하였는데, 전력선에 해당하는 라이다 점이 오추정된 것으로 확인하였다. 수고는 정제과정에서 삭제되지 않은 전력선에 해당하는 점이 최대 높이값을 가지는 이유로 기준값과 0.2m 차이를 보였다. 실제 모의자료에서는 4번 가로수 내에 2개의 전력선점이 포함되어 있다. 높이값 기준의 정제과정에서 1점(높이값 : 10.0m)은 삭제되었지만, 가로수와 비슷한 높이를 가진점(높이값 : 9.6m)은 제거되지 않았다.

중심점의 위치는 전력선점의 오추정으로 인해 약 0.2m의 차이가 발생하였다. 수관폭의 경우에는 가로수 정보로 오추정된 전력선 점이 가로수 영역의 내부에 포함되어 기준값과 이상이 없었다. 그림 15는 4번 가로수에 대한 기준값과 추출결과를 나타낸다.

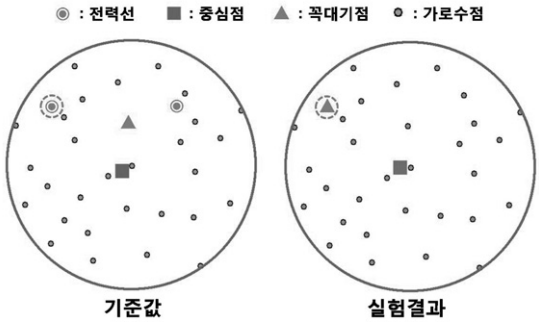

그림 15. 4번 가로수의 기준값과 실험결과

5번과 6번 가로수의 경우 모의자료 생성시 가로수에 해당하는 라이다 점들을 약 1.5m 중복 되도록 설정한 가로수에 해당한다. 점의 개수와 수고는 기준값과 비교하여 이상이 없으나, 중복되는 영역에서 서로의 점들이 각각 2점씩 오분류된 것을 확인하였다. 그림 16은 5번과 6번 가로수에 대한 기준값과 추출 결과를 나타낸다.

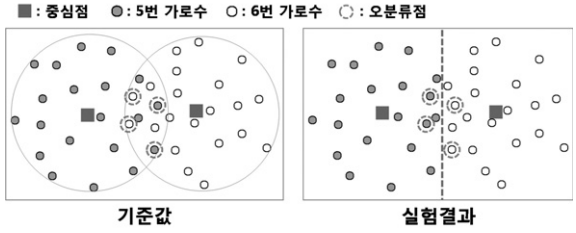

그림 16. 5, 6번 가로수의 기준값과 실험결과

두 가로수 객체(5, 6번)의 추출결과 해당점의 위치변화로 인하여 기준값과 중심점의 위치는 0.1m, 수관폭은 0.2m의 동일한 차이를 각각 보였다.

실험을 통하여 가로수의 꼭대기점 추정과 오추정점 정제의 과정을 거쳐 개수정보를 얻을 수 있었고, 가로수의 영역을 구분하는 알고리즘을 통해서 수치정보를 생성할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 항공 라이다 모의자료를 이용하여 가로수 꼭대기점을 정제하고 개별 가로수 영역을 분리하는 알고리즘을 제안하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 도시지역에서 가로수 꼭대기점은 전선, 전신주 등의 인공시설물에 의해 영향을 받을 수 있으나 가로수는 식재간격이 일정하고 인접한 주변 점들과 높이 차이가 크지 않다는 가정을 통하여 추정된 가로수 꼭대기점을 정제할 수 있었다. 이를 위해 추정된 가로수 꼭대기 후보점에서 최근린에 존재하는 점들과의 높이차에 대한 평균과 표준편차를 사용하였다.

둘째, 개별 가로수 영역의 구분을 위하여 각 가로수의 꼭대기점과 지면점을 이용하여 평면의 방정식을 구성하고 서로 대각방향에 있는 가로수 꼭대기점과 지면점 자료를 잇는 직선을 생성한 후 교차점을 결정하였다. 결정된 교차점은 수직 방향에 있는 가로수의 꼭대기점과 지면점에 각각 투영하여 개별 가로수 영역을 설정할 수 있었다.

셋째, 모의 항공 라이다 자료를 이용한 실험을 통하여 제안한 방법론을 적용한 결과 가로수의 개수, 수고는 정확한 결과를 얻었다. 총 9그루의 가로수에서 3개의 가로수는 라이다 점의 개수, 위치, 수관폭 정보가 기준값과 차이를 보였다. 이러한 차이는 가로등, 전선 등의 비가로수 객체정보가 가로수의 높이값과 수관폭에 근접한 범위내에 존재하기 때문이다. 또한 가로수의 식재 간격이 좁아 인접 가로수간 라이다 점들이 중복하여 존재하는 경우에 발생하였다.

넷째, 제안한 가로수의 영역분리 방법의 실제 라이다 데이터에 적용을 위해 가로수가 존재하는 영역 선정과정이 선행되어야 하는 한계를 가진다.

향후 도로변에만 존재하는 가로수의 선형적인 특성을 활용한 가로수 영역 선정방법 개발과 실제 데이터를 사용한 실험과 결과에 대한 검증이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2011-0010403)이며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

김의명, 조두영 (2011). 라이다 자료를 이용한 가로수 정보 추출, **한국지적학회 · 한국지적정보학회 춘계학술대회 논문집**, pp. 155-167.

김의명, 조두영 (2012), 지면 · 비지면점 분류를 위한 라이다 필터링 알고리즘의 종합적인 비교, **한국측량학회지**, 한국측량학회, 제30권 제1호, pp. 39-48.

산림청 (2008), 가로수 조성 · 관리.

우충식 (2006), LiDAR 데이터를 이용한 산림지역의 지형고도자료(DEM) 제작 및 수고추정, 인하대학교 대학원 지리정보공학과 석사학위논문.

한국전자통신연구원 (2007), 멀티센서 공간영상정보 통합처리 기술 개발.

Barilotti, A., Crosilla, F., Sepic, F. (2009), Curvature Analysis of LIDAR Data for Single Tree Species Classification in Alpine Latitude Forests, *ISPRS Workshop Laserscanning' 09*, Vol. XXXVIII, Part 3/W8, pp. 129-134.

Demir, N., Poli, D., Baltsavias, E. (2008), Extraction of Buildings and Trees Using Image and LiDAR Data, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, *IAPRS*, Vol. XXXVII, Part B4, pp. 313-318.

Kim, E., Cho, D. (2012), Estimation of Street Trees Information Using Aerial LIDAR Data in Urban Area, *The 14th International Symposium of Geospatial Information Science and Urban Planning*, 16-18 Feb, pp. 17-24.

Li, W., Q. Guo, M. Jakubowski and M. Kelly (2012), A New Method for Segmenting Individual Trees from the Lidar Point Cloud, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 78, No. 1, pp. 75-84.

Lim, C. (2007), Estimation of Urban Tree Crown Volume based on Object-oriented Approach and LIDAR Data, *ITC*, Netherlands, February.

Persson, Å., Holmgren, J. & Söderman, U. (2002), Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68, pp. 925-932.

Pitkänen, J., Maltamo, M., Hyyppä, J. & Yu, X. (2004), Adaptive methods for individual tree detection on airborne laser based canopy height model, International Archives of Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36, pp. 187-191.

Solberg, S., Naesset, E. & Bollandsas, O. M. (2006), Single Tree Segmentation Using Airborne Laser Scanner Data in a Structurally Heterogeneous Spruce Forest, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 72, No. 12, pp. 1369-1378.

Yu, X., Hyyppä, J., Kaartinen, H. & Maltamo, M. (2004), Automatic detection of harvested trees and determination of forest growth using airborne laser scanning, *Remote Sensing of Environment,* 90, pp. 451-462.

(접수일 2012. 03. 07, 심사일 2012. 04. 24, 심사완료일 2012. 06. 28)