항공라이다 자료를 이용한 가로수 정보의 추출

Extraction of Street Tree Information Using Airborne LIDAR Data

조 두 영* 김 의 명**
Du Young Cho Eui Myoung Kim

요 약 도시지역의 가로수는 보행자와 운전자에게 쾌적한 환경을 제공하며 탄소를 흡수하는 중요한 역할을 수행한다. 따라서 가로수의 위치, 수고, 수관폭 등에 대한 효율적인 획득과 관리가 필요하다. 본 연구는 항공라이다 자료를 이용하여 도시지역 가로수에 대한 개수, 위치, 수고, 수관폭의 수치적인 정보를 추출하는 방법론을 제안하였다. 가로수는 그 형태와 크기가 다를 수 있기 때문에 본 연구에서는 수관폭의 크기를 변화시키면서 가로수를 추출하는 방법을 제안하였다. 또한 가로수는 일반적으로 도로변을 중심으로 식재되기 때문에 이러한 식재위치의 직선적 특성을 이용하여 가로수점들을 선택하였다. 오산시 일부를 대상으로 가로수 추출에 대한 실험을 수행하였으며 결과는 1/1,000 수치지도와 비교하여 제안한 방법론의 적합성을 평가하였다. 실험 결과를 통해서, 가로수의 위치오차는 최소 0.5m, 최대 1.9m, 그리고 평균제곱근오차는 약 $\pm 0.4m$ 를 나타냈다.

키워드 : 항공라이다, 가로수, 항공사진측량, 수관폭, 수치지도

Abstract The street trees in the urban areas provide an comfortable environment to the pedestrians and drivers and play important roles to absorb the carbons. Therefore, it is necessary to acquire and manage efficiently the location, height, and crown width of street trees. This study suggests a methodology to provide quantitative information of the street trees in urban areas including the quantity, location, height, and crown width of the trees. Therefore, it is more appropriate to add functionality of changing size of the crown width of the trees in the method. In addition, the positions of the street trees were selected using the fact that street trees are generally planted along the road in a straight line. An experiment on extracting street trees was conducted in parts of Osan-si, Gyeonggi-do and the suitability of the suggested methodology was evaluated by comparing the results to a 1/1,000 digital map. Through the experimental results, the minimum, maximum, and the root mean square errors of the position of street trees were 0.5m, 1.9m, and approximately $\pm 0.4m$, respectively.

Keywords : Airborne LIDAR, Street Trees, Aerial Photogrammetry, Crown Width, Digital Map

1. 서 론

항공라이다(LIDAR : Light Detection And Ranging) 자료는 지면을 포함한 지상 모든 객체의 3차원 정보를 가진다. 기존 3차원 공간정보 획득에는 일반적으로 항공 사진측량기술이 사용되었으나 자료처리의 복잡성과 수작업 등으로 인한 많은 시간과 비용

이 소요되어 항공라이다 자료의 활용이 증가하고 있다. 수목은 탄소를 흡수하여 지구온난화를 완화하는 중요한 기능을 가진다. 특히 도시지역의 가로수는 경관개선, 대기오염과 소음공해 감소, 열섬현상 완화, 도시 내 미기후 조절 등 도시환경 개선과 고립된 도시 내 숲들을 서로 연결하여 동물의 이동통로 및 생물서식공간으로서의 다양한 역할을 한다

[†] This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology(No. 2012-0001518)

* Du Young Cho, Master of Science, Namseoul University, Department of GIS Engineering, cho202da@gmail.com
** Eui Myoung Kim, Assistant Professor, Namseoul University, Department of GIS Engineering, kemyoung@nsu.ac.kr(Corresponding Author)

[18]. 따라서 가로수에 대한 효율적인 정보의 획득과 체계적인 관리가 필요하다. 3차원 점 기반의 항공라이다 자료를 이용하여 획득된 가로수의 수고와 수관폭 정보는 비교적 정확한 탄소량 계산에도 도움을 줄 것이다.

항공라이다 자료에서 가로수 정보의 추출과 직접적인 관련을 가지는 기존연구는 부족한 실정이며 관련 연구들은 주로 산림지역을 대상으로 수목정보를 추출하는 연구가 수행되어 왔다. 항공라이다 자료에서 수목정보의 추출에 관한 연구는 수목의 개체수 계산을 위한 수목점 추출과 개별 수목의 영역분리를 통한 수관폭, 수고 등의 정보 추출로 구분할 수 있다.

수목 개체 수 추출에 관한 대부분의 연구에서는 지상객체의 바닥 높이를 정규화하여 효율적인 객체 추출을 가능하게 해주는 정규화된 수치표면모델(NDSM : Normalized Digital Surface Model)을 이용하는 방법[2, 5, 15, 17, 20]과 산림지역을 대상으로 수목추출을 용이하게 해주는 CHM(Canopy Height Model)을 이용한 방법[6, 17, 18, 21, 22]을 사용하였다. 영상기반의 모델 생성 후 Median 필터, Gaussian 필터, 국지적최대값(local maxima) 필터와 같은 영상기반의 필터링 기법을 사용하여 수목의 개체수를 추출하였다[11, 13, 19].

비정형화된 수목의 형태와 위치로 인해 개별 수목 영역의 분리는 개체 수 추출과 비교해 다소 어려움을 가진다. 관련 연구를 살펴보면, 수목의 종류와 높이값을 기준으로 수관폭을 자동으로 계산한 연구[7], 수목의 꼭대기점 추출 후 K-Means Clustering 알고리즘을 적용한 연구[10], 점 자료를 기반으로 지면 높이값의 정규화 수행 후 꼭대기 점에서부터 수평거리를 기준으로 설정한 임계값 이내의 점을 개별수목으로 선택하는 방법을 제안한 연구가 수행되었다[14].

본 연구에서는 도시지역 가로수에 대한 위치, 개수, 수고, 수관폭 정보의 추출을 목적으로 하였다. 위치와 개수 추출방법은 다양한 수관폭으로 존재하는 수목 추출을 위해 크기가 다른 필터를 반복 사용하는 방법을 제안하였다. 비가로수 정보의 정제와 개별가로수의 영역을 분리하는 방법도 추가적으로 제안하였다. 제안방법은 실제 도시지역의 항공라이다 자료에 적용하여 실험을 실시하고 결과를 수치지도와 비교하였다.

본 연구는 Kim et al[8]과 Cho et al[4]에 의해 수행된 가로수 정보 추출에 대한 선행 연구에서의 비가로수 정보 제거, 꼭대기점의 추정과 정제, 가로수의 영역분리 방법 등을 이용하였다. 기존의 연구에서는 가로수의 수관폭이 다양한 특성을 반영하지 못한 단점이 있었으나 본 연구에서는 이를 개선하여 다양한 수관폭을 갖는 가로수 추출 방법과 점밀도와 중복도 기반의 정제방법을 추가적으로 제안하였다.

2. 가로수정보의 추출방법

항공라이다 자료에서 가로수의 개수, 위치, 수고, 수관폭 정보 추출을 위해 제안한 방법은 Figure 1과 같다. 제안한 방법에서는 항공라이다 자료에서 비지면 정보를 우선 추출하고 건물, 가로등, 자동차 등의 비가로수 정보를 제거하였다. 가로수 꼭대기점은 국지적최대값 필터링을 기반으로 수관폭의 크기를 변화시키면서 추정하였다. 꼭대기점은 점밀도와 중복도를 기반으로 정제과정을 거쳐 결정하였다. 결정된 꼭대기점에서 가로수가 직선형으로 식재되는 특성을 이용하여 가로수점을 선택하고, 수목 형태를 기반으로 정제를 수행하였다. 선택된 가로수 꼭대기점들을 이용하여 국내 가로수 수형유지 수관폭값을

Figure 1. Flowchart of extraction of street tree information

기준으로 가로수 점들을 선택하였다. 개별 가로수의 영역은 근접하는 가로수 간의 꼭대기점과 해당 지면점을 이용하여 생성한 3차원 교차점을 기반으로 분리하였다. 최종 추출되는 가로수정보는 개별가로수에 대한 점자료이며 이를 기반으로 위치, 수고, 수관폭을 계산하였다.

2.1 영역을 확장한 건물과 높이값 기준의 비가로수 정보의 제거

비가로수 정보의 제거단계에서는 가로수와 함께 존재하는 건물과 가로등, 자동차 등의 정보를 제거하였다. 비지면 정보에 해당하는 가로수정보 추출을 위해 항공라이다 자료를 지면과 비지면으로 분리하였다. 분리기법은 불규칙삼각망을 기반으로 각도와 거리 임계치 이하의 점들을 지면으로 결정하는 ATIN(Adaptive TIN) 알고리즘을 사용하였다[1]. 건물의 대부분은 평면의 지붕형태를 가진다는 가정으로 분리된 비지면 자료에 평면의 방정식을 적용하여 건물정보를 추출하였다. 건물 정보 제거에서는 가로수들이 건물과 일정한 거리를 유지하여 식재되는 특성을 이용하여 보도폭 설치기준으로 확장하였다. 일반적으로 가로등과 같은 도로 시설물들은 가로수에 비해 높게 설치되며, 자동차 등은 낮은 특성을 갖는다. 건물정보의 제거 후 가로수와 공존하는 가로등, 자동차 등에 대해 높이값을 기준으로 제거하였다[9].

2.2 정규화된 수치표면모델

가로수의 꼭대기점 추출을 위해 NDSM을 생성하였다. 수치표면모델의 생성은 최근린보간법을 사용하였으며 해상도는 입력 항공라이다 자료의 평균점간거리를 기준으로 하였다. 생성한 NDSM의 표면을 부드럽게하고 수목의 최대높이값이 좀 더 개별적인

(a) Before filtering (b) After filtering

Figure 2. Low-pass filtering

특성을 가지도록 저역통과필터링(lowpass filtering) 처리를 수행하였다[17]. 제안방법에서는 입력자료의 점밀도와 최소수관폭의 크기를 기준으로 필터 크기를 설정하고 영상값의 변화를 고려하여 평균값 필터를 사용하였다. Figure 2는 저역통과필터링을 처리한 예시를 나타낸다.

2.3 가로수 꼭대기점의 추정과 선택

항공라이다 자료에서 수목의 꼭대기점을 추정하는 방법 중에서 NDSM을 입력 자료로 탐색원도우의 크기를 사용자가 지정하는 국지적최대값 필터링 기법은 다른 방법들을 이용한 결과와 비교해 높은 정확도의 결과를 제공한다[7]. 꼭대기점 추정에 사용되는 필터의 모양은 수목과 유사한 원형(circle) 필터를 사용하였다[3].

현실에 존재하는 수목객체들은 다양한 크기로 존재하기 때문에 단일 수관폭 크기의 필터를 적용한 수목 꼭대기점의 추정은 한계를 가진다. 예를 들어 실제수목에 비해 작은 필터를 사용할 경우 1개의 수목에서 2개 이상의 꼭대기점이 추정되는 오류가 발생하며, 그 반대의 경우 수관폭이 다소 작고 서로 근접하게 존재하는 수목이 추출되지 않는 오류가 발생된다[4]. 이렇게 동일한 크기의 필터를 사용하여 발생하는 문제해결을 위해 본 연구에서는 크기가 다른 필터들을 반복적으로 사용하여 수목의 꼭대기점을 추출하는 방법을 제안하였다. Figure 3은 제안한 꼭대기점의 추출방법을 나타낸 것이다.

Figure 3. Extraction method of top point of street tree

- ① 추출 대상 수목의 최소 높이와 최대/최소 수관폭값을 설정한다.
- ② 설정한 수관폭의 최대값을 기준으로 국지적최대값 필터링 방법을 사용하여 꼭대기점을 추정한다.
- ③ 추정한 수목의 꼭대기점을 사용하여 수관폭에 해당하는 원형 기반의 영역을 생성한다.
- ④ 생성한 원형 기반의 개별 수목정보와 이전 단계에서 생성한 건물과 비수목정보가 제거된 점자료를 중첩하여 점밀도(1차 정제)와 수관폭 영역의 중복도(2차 정제)를 기준으로 정제한다.
- ⑤ 정제과정 수행 후 나머지 수목점을 해당 수관폭의 꼭대기점으로 결정하여 저장한다.
- ⑥ 최대 수관폭에서 점차 감소시켜가며 ②, ③, ④, ⑤의 과정을 반복한다.
- ⑦ 최소 수관폭까지 추정과 정제를 수행하여 각 수관폭 단계에서 결정된 꼭대기점을 병합하여 추출한다.

정제과정 이전에 추정된 수목 꼭대기점은 항공라이다 자료를 보간한 NDSM을 이용하여 추정한 가상의 점이다. 따라서 추정된 꼭대기점에서 최소 수관폭의 영역 내에 존재하는 최대값을 가지는 실제 꼭대기점 점 선택을 통해 수목의 위치를 결정하였다.

2.4 꼭대기점 추정과정에서의 정제방법

2.4.1 점밀도 기반의 정제

개별 수목점 추출과정에서 수목과 높이가 비슷한 가로등과 건물 상부의 돌출 구조물 등이 추출되는 오류가 발생한다. 따라서 이러한 비수목으로 추정되는 점들은 일정한 기준에 의해서 정제되어야 한다. 제안한 방법에서 비수목으로 추정되는 오류를 줄이기 위하여 항공라이다 자료의 점밀도를 기준으로 수관폭 면적내에 존재해야 하는 최소 수목점의 개수를 분석하여 기준 이하의 개수를 가지는 수목점을 정제하였다. 정제기준 개수는 건물정보가 제거된 비지면 정보의 점밀도와 국지적최대값 필터링의 필터모양인 원형을 기준으로 계산하였다. 예를 들어 비지면 자료의 평균점밀도가 $0.5\text{개}/\text{m}^2$ 이고 수관폭이 7m일 경우 최소점의 개수는 수관폭 면적에 점 개수를 곱하여 총 19점이 된다.

Figure 4는 7m 수관폭으로 추정한 꼭대기점의 경우 해당 수관폭이 포함해야할 최소점의 기준 개수는 19점이지만 영역 내에 9점만 존재하여 정제되

는 예시를 나타낸다.

Figure 4. Point density-based refinement

2.4.2 중복도 기반의 정제

중복도 기반의 정제는 점밀도 기반 정제 후 수행되며 꼭대기점 추정 결과 해당 수관영역 내의 점들이 중복될 경우 최대 높이값을 비교하여 임계치 이내일 경우 추정된 수목점을 제거하는 과정이다. 최대 높이값 차이의 임계치 이상일 경우 개별 수목으로 결정하여 수목점을 추가하고, 이하일 경우 동일 수목으로 간주하여 새로 생성된 수목점을 제거한다. 비교대상이 되는 최대 높이값은 해당 수관폭 영역 내에 존재하는 점들의 높이값 평균과 표준편차(σ)를 계산하여 3σ 이내에서 선택함으로써 수목이 아닌 특이점 선택을 방지하였다. 중복되는 수목의 수관영역이 2개 이상일 경우 중심점의 거리가 최소인 것을 우선 선택하여 처리하였다. 중복도 기반의 정제과정에서 이미 정제된 위치와 동일한 위치에 발생하는 추가점은 높이값 비교를 수행하지 않고 제거하였다. 또한 반대로 정제되지 않은 점의 경우 중복도 비교없이 개별 수목으로 선택하였다. Figure 5는 수관폭의 중복도를 기반으로 정제한 예시를 나타낸다. Figure 5에서 A와 B의 수관영역과 수목점(3점)이 중복되어 최대 높이값의 차이를 비교하는 대상이 된다. 최대 높이값의 계산 결과(그림 우측 표) 차이가 0.03m로 임계치(0.5m) 이내에 해당하여 동일수목으로 병합되어 작은 수관폭 크기에서 생성된 A 수목점을 정제하게 된다.

NDSM을 이용한 국지적최대값 필터링 적용 시 Figure 4와 Figure 5에서와 같이 외곽지역에 꼭대기점이 추정되는 현상이 발생하는 경우가 있다. 이것은 영상처리과정에서 발생하는 자체적인 오류로 생성된 점들은 점밀도와 중복도 기반의 정제과정에서 1차적으로 정제하였다.

Figure 5. Refinement based on the overlap of crown width

2.5 가로수 점의 선택과 정제

일반적으로 가로수는 도로를 기준으로 직선의 형태로 식재되어 있다. 이러한 위치적인 특성을 기반으로 선형적으로 존재하는 점들의 선택을 위해 RANSAC(Random Sample Consensus) 알고리즘을 사용하였다. RANSAC 알고리즘은 일종의 예측 기법으로 추정된 꼭대기점 자료에서 가로수가 식재된 위치의 선형정보를 획득함으로써 예측한 직선의 임계치 이내에 존재하는 꼭대기점만을 선택하였다. Figure 6은 이전과정에서 추정된 꼭대기점을 입력하여 RANSAC 기법을 적용하여 가로수점을 선택한 결과의 예시를 나타낸다.

Figure 6. Selection of the points of street trees

RANSAC 알고리즘을 적용한 결과는 1개의 주직선만을 탐지하고 선택하기 때문에 2개 이상의 가로수 직선 정보의 추출을 위해 순차적으로 별도의 직선을 탐지하여 선택하였다.

가로등, 전신주와 같은 도로시설물이 가로수의 영역과 중복되어 설치된 경우 꼭대기점으로 오추정되는 현상이 발생된다. 선택된 꼭대기점에서 이러한 정보의 정제를 위해 실제 수목을 구성하는 항공라이다 점의 꼭대기점과 다음 점은 높이 차이가 상대

적으로 작다는 수목의 형태적 특성을 이용하였다. 선택된 꼭대기점의 정제 방법은 각 꼭대기점에서 최근린에 존재하는 3점의 높이차 평균을 이용하여 전체 표준편차를 계산하고 2σ 를 벗어나는 점을 제거하였다[4].

2.6 개별 가로수의 영역분리

가로수 꼭대기점 추출 후 개별 가로수의 수관폭, 위치, 수고 등의 속성정보 획득을 위해 영역을 분리하는 작업이 필요하다. 영역분리에 앞서 이전 과정의 최종 결과인 꼭대기점을 가로수의 수형유지 수관폭 기준인 7m 영역 내의 점들을 가로수점으로 최종 선택하였다. 이 과정을 통해 인접 가로수 사이에 존재하는 시설물 정보의 정제가 가능하다. 개별 가로수에 대한 영역분리를 위해 제안한 방법은 인접 가로수간의 꼭대기점과 지면점으로 생성할 수 있는 교차점을 이용한 방법을 사용하였다[4].

가로수 수치정보의 항목은 가로수의 위치, 수고, 수관폭으로 설정하였다. 위치정보 추정은 영역이 분리된 개별 가로수 점들의 평면위치에 대한 평균값($\sum_{i=1}^n [X_i, Y_i] / n, n = \text{점의 개수}$)으로 계산하여 결정하였다. 수고는 개별 가로수가 포함하는 항공라이다 점들 중 최대 높이값으로, 수관폭은 개별 가로수 점들을 사용해 생성되는 최대 원의 지름으로 추정하였다[9].

3. 실험

3.1 대상지역

항공라이다 자료를 이용한 가로수정보의 추출 실험은 경기도 오산시의 일부 도시지역을 대상으로 하였다. Figure 7은 실험지역의 항공사진과 항공라이다 자료를 나타낸다.

Figure 7. Study area

실험지역은 도시지역으로 도로를 중심으로 양쪽에 가로수가 존재하고 건물들이 대부분 밀집되어 있으며 건물들 사이에 일부 수목들이 존재하는 특성을 가진다. Table 1은 실험지역의 항공라이다 자료에 대한 통계를 나타낸다.

Table 1. Statistics of LIDAR data

Number of points	Mean distance between points(m)	Point density (no./m ²)	Height value(Z)		
			Max (m)	Min (m)	Mean (m)
24,897	0.6	2.9	46.15	17.47	22.22

3.2 비가로수 정보 제거와 NDSM 생성

가로수를 포함하는 비지면정보의 분리를 위해 항공라이다 자료의 필터링을 수행하였다. Figure 8은 ATIN기법으로 분리한 지면과 비지면 결과를 나타낸다.

Figure 8. Filtering result

분리된 비지면에서 평면의 방정식을 적용하여 건물점을 추출하고 건물영역을 일반적인 보도폭 기준인 2.5m 만큼 확장하여 비지면에서 제거하였다. Figure 9는 추출된 건물점과 영역을 확장한 건물정보를 나타낸다.

Figure 9. Extraction and expansion of building regions

건물정보의 제거 후 가로수와 공존하는 가로등 등의 높은 객체와 자동차 등의 낮은 객체에 해당하는 비가로수 정보를 제거하였다. 높이값 기준의 제거는 3m이하, 10m이상을 기준으로 하였다.

Figure 10. Removal of non-street trees and result of NDSM

비가로수 정보를 제거한 점자료를 이용하여 최근 린보간법으로 보간하였으며 해상도는 입력 항공라이다 자료의 평균점간거리인 0.6m를 사용하였다. NDSM 생성 후 3×3 평균값 지역통과필터링 처리를 수행하였다. Figure 10은 비가로수 정보를 제거한 결과와 지역통과 필터링 처리를 수행한 NDSM을 각각 나타낸다.

3.3 가로수 꼭대기점 추출

가로수 꼭대기점의 추출은 2.4에서 제안한 것과 같이 크기가 다른 수관폭을 적용하여 국지적최대값 필터링으로 꼭대기점을 추정하고 점밀도와 중복도 기반의 정제를 반복하였다. 수목 꼭대기점 추정의 기준은 조정법을 기준으로 최소 높이를 3m로 설정하였고 수관폭의 크기는 최대 7m, 최소 3m로 각각 설정하였다. 꼭대기점 추정에 앞서 점밀도 기반의 정제 기준인 수관폭의 영역 별 최소점의 개수 계산을 위해 건물을 제거한 비지면점의 점밀도를 사용하였다. Table 2는 입력 항공라이다 자료의 점밀도와 수관폭의 크기 별로 포함해야 할 최소 점의 개수를 나타낸다.

최대 수관폭 7m를 기준으로 꼭대기점을 추정한 결과 총 27점이 추정되었고 정제를 통해 9개(외곽선 : 7개, 점밀도 : 1개, 중복도 : 1개)가 제거되어 18개의 가로수점을 결정하였다. 중복도 기반의 정제

Table 2. Minimum number of points of each crown width for density-based refinement

Type	Number of points	Point density (no./m ²)
All	24,897	2.9
Non-ground	13,421	1.6
Non-ground without building	2,951	0.4
Crown width (m)	Minimum number of points of each crown width(no.)	
7	15	
6	13	
5	8	
4	5	
3	3	

과정에서는 총 3개의 비교대상 중 1개가 임계치 이내의 차이(0.00m)를 보여 해당점을 정제하였다. Figure 11은 수관폭 7m를 기준으로 추정된 가로수 점과 정제결과를 나타낸다.

수관폭 6m를 기준으로 꼭대기점을 추정한 결과 추가점이 발생되지 않아 중복도 정제는 발생하지 않았으며 점밀도를 기반으로 1개가 정제되었다.

Figure 11. Estimation results of street trees based on 7m crown width

따라서 7m 결과와 동일하게 27점이 추정, 9점 정제로 18개를 최종 개수로 결정하였다.

5m 수관폭을 기준으로 가로수를 포함하는 수목 꼭대기점을 추정한 결과 총 28점이 추정되었고 정제를 통해 9개(외곽선 : 7개, 점밀도 : 1개, 중복도 : 1개)가 제거되어 19개의 가로수 꼭대기점을 결정하였다. 중복도 기반의 정제과정에서는 1개의 추가점이 비교대상이었으며 최대 높이값차이가 임계치 이상의 차이(0.56m)를 보여 해당점은 개별수목으로 추가되었다. Figure 12는 수관폭 5m를 기준으로 추정된 가로수점과 정제결과를 나타낸다.

Figure 12. Estimation results of street trees based on 5m crown width

4m 수관폭을 기준으로 가로수를 포함하는 수목 꼭대기점을 추정한 결과 총 30점이 추정되었고 정제를 통해 9개(외곽선 : 7개, 점밀도 : 2개, 중복도 : 0개)가 제거되어 21개의 가로수 꼭대기점을 결정하였다. 중복도 기반의 정제과정에서 1개의 추가점을 비교하여 최대 높이값 차이가 임계치 이내의 차이(0.03m)를 보여 해당점을 제거하였다. Figure 13는 수관폭 4m를 기준으로 추정된 가로수점과 정제결과를 나타낸다.

3m 수관폭을 기준으로 꼭대기점을 추정한 결과 총 34점이 추정되었고 정제를 통해 10개(외곽선 : 8개, 점밀도 : 2개, 중복도 : 0개)가 제거되어 24개의 꼭대기점을 결정하였다.

Figure 13. Estimation results of street trees based on 4m crown width

중복도 기반의 정제과정에서는 2개의 추가점을 비교하였으나 최대 높이값 차이가 임계치 이상의 차이(0.62m, 1.11m)를 보여 개별 수목으로 결정되었다. 최종 결정된 꼭대기점은 총 24그룹이며, Figure 14는 추출 결과를 나타낸다.

Figure 14. Extraction results of the top points of street trees

3.4 가로수점의 선택과 정제

추출된 꼭대기점에 대하여 통계분석 방법인 RANSAC 알고리즘을 적용하여 순차적으로 가로수 식재의 직선정보를 추출하였다. 가로수는 도로를 중심으로 도로변에 위치하고 있기 때문에 먼저 도로 중심선에 대한 정보를 먼저 찾은 후 도로폭 만큼의 영역을 확장하여 직선정보를 추출할 수 있다. 실험 지역의 경우 2차선에 걸친 직선추출을 통해 가로수 점을 선택하였으며 Figure 15는 선택 결과를 나타낸다. 가로수에 해당하는 점은 10점과 7점을 각각 선택하였다.

Figure 15. Selection result of the points of street trees

선택된 2개의 가로수 점 그룹을 대상으로 수목의 형태적 특성을 이용한 꼭대기점의 정제를 수행하였다. 정제방법은 2.4절에서 설명한 것과 같이 최근린

의 3점에 대한 높이값의 차이를 통계적으로 비교하였다. 비교결과 높이값 차이의 평균은 1.30m, 표준편차는 1.04, 정제기준인 2σ 값은 3.38로 계산되었다.

Table 3은 1차적으로 선택된 10점에 대해 최근린 3점의 높이값 차이 결과를 나타낸다. 3번 꼭대기점의 높이값 차이의 평균이 전체의 2σ 이상의 값으로 정제되었다. Figure 16은 정제대상이 되는 꼭대기점을 나타낸다.

Table 3. Analysis results based on the morphological characteristics of trees(I)

Selection points(I)	Height difference between tree top and nearest 3 points(m)			
	1st	2nd	3rd	Mean
1	0.78	1.07	2.49	1.45
2	0.81	0.08	0.32	0.40
3	3.24	5.74	3.05	4.01
4	0.70	0.65	0.80	0.72
5	0.51	1.18	1.48	1.06
6	0.89	1.47	1.84	1.40
7	1.02	0.93	0.91	0.95
8	0.07	0.10	0.75	0.31
9	1.19	2.74	0.22	1.38
10	0.71	1.78	1.33	1.27
Statistics				
Mean = 1.30m		RMSE = ± 1.04		$2\sigma = 3.38$

Figure 16. Refinement results based on the morphological characteristics of trees(I)

두 번째 형태적 특성기반의 정제는 총 7점을 대상으로 실시하였다. 비교결과 높이값 차이의 평균이 1.39m, 표준편차가 0.99, 2σ 값이 3.37로 계산되었다. 7번 점의 경우 3.48m 높이차 평균으로 해당점을 정제하였다. Table 4는 2차로 선택된 대상 점들에 대해 최근린 3점의 높이값 차이를 계산한 결과를 나타낸다. Figure 17은 정제대상이 되는 꼭대기점을 나타낸다.

Table 4. Analysis results based on the morphological characteristics of trees(Ⅱ)

Selection points(Ⅱ)	Height difference between tree top and nearest 3 points(m)			
	1st	2nd	3rd	Mean
11	0.18	1.54	0.22	0.65
12	1.68	1.08	2.33	1.70
13	1.29	0.94	1.33	1.19
14	0.14	0.68	1.04	0.62
15	0.28	0.87	1.59	0.91
16	0.51	1.65	1.40	1.19
17	3.11	4.26	3.07	3.48
Statistics				
Mean = 1.39m	RMSE = ±0.99		2σ = 3.37

Figure 17. Refinement results based on the morphological characteristics of trees(Ⅱ)

3.5 가로수 영역분리

가로수의 꼭대기점과 지면점을 이용한 개별 가로수에 대한 영역분리를 통해 최종 가로수의 수치정보를 계산하였다. 영역분리의 경우 이전 과정인 가로수 꼭대기점 선택결과를 기준으로 2회 수행하였다. Table 5와 Table 6은 영역분리를 위해 계산한 3차원 교차점의 좌표를 각각 나타내며, Figure 18은 개별 가로수에 대한 영역분리 결과를 나타낸다.

Table 5. Calculation results of intersection points for the region separation of individual street trees(I)

Street trees No.		Position of intersection point(m)		
		X	Y	Z
1	2	206192.41	405535.10	4.29
2	3	206200.77	405533.93	4.49
3	4	206213.90	405533.39	4.46
4	5	206230.99	405532.87	4.32
5	6	206244.63	405531.61	4.41
6	7	206248.62	405532.03	4.16
7	8	206250.34	405532.09	3.96
8	9	206255.72	405532.25	4.13

Table 6. Calculation results of intersection points for the region separation of individual street trees(Ⅱ)

Street trees No.		Position of intersection point(m)		
		X	Y	Z
10	11	206192.50	405552.32	3.31
11	12	206200.31	405552.17	3.27
12	13	206207.44	405551.79	3.28
13	14	206216.08	405551.13	3.60
14	15	206234.85	405550.88	3.64

Figure 18. Results of the region separation of individual street trees

개별 가로수의 영역분리를 통해 추출된 개수는 총 15그룹이다. 가로수에 대한 위치, 수고, 수관폭에 해당하는 수치정보는 2.5에 작성한 방법으로 계산하였다. Figure 19는 최종 추출된 가로수의 위치를 나타낸다.

Figure 19. Extraction results of street tree information

Table 7은 추출된 개별 가로수의 위치, 수고, 수관폭에 해당하는 수치정보를 나타낸다.

Table 7. Extraction results of the numerical information of street trees

No.	Position(m)		Tree height (m)	Crown width (m)
	X	Y		
1	206189.19	405535.08	8.5	3.7
2	206197.17	405534.81	9.4	4.5
3	206205.52	405533.72	9.3	4.8
4	206221.33	405533.67	8.6	5.0
5	206242.10	405532.81	9.4	4.4
6	206246.76	405532.65	9.3	4.2
7	206249.38	405532.96	8.5	2.7
8	206252.52	405532.59	9.7	4.4
9	206260.69	405532.18	8.5	4.8
10	206188.90	405552.81	6.4	4.0
11	206197.02	405551.98	7.1	4.2
12	206203.88	405552.04	6.0	2.6
13	206212.16	405551.41	7.1	3.2
14	206220.49	405550.80	8.2	4.2
15	206249.81	405550.18	7.3	3.8

3.6 결과 분석

추출된 가로수정보는 대상지역의 1/1,000 수치지도를 기준으로 비교하였다. 수치지도의 가로수정보는 점 기반의 자료로 개수와 위치정보의 비교는 가능하지만 추출한 수고와 수관폭의 결과는 비교가 불가능하였다. Figure 20은 기준자료인 수치지도의 가로수 위치를 나타낸다.

Figure 20. Locations of street trees in the digital map

추출된 가로수 개수는 총 15그루로 수치지도의 개수와 비교해 100%의 추출률을 보였다. 하지만 실제 존재함에도 추출되지 않는 오류(기준 자료 7번 가로수)와 함께 1개의 가로수에 2개의 점이 추출되

는 오류(기준 자료 13번 가로수)가 발생하였다. 오류의 유형 중 7번 가로수의 경우 꼭대기점은 추출되었으나 수목의 형태적 특성 기반의 정제과정에서 제거되어 추출되지 않았다.

Figure 21은 기준자료 7번 가로수 부근 영역의 실제 항공라이다 비지면점을 나타내며 점선 영역은 가로수의 예상 수관영역을 나타낸다. Figure 21에서 원형으로 표시된 점들은 가로수에 비해 높게 존재하는 비가로수점에 해당한다. 이러한 비가로수 점들은 제안방법의 높이기반(3m이하, 10m이상)의 정제과정에서 제거되어야 하지만 Figure 21의 중앙에 위치하는 9.35m의 높이를 가지는 점은 기준 범위 내에 존재하여 정제되지 않는 현상이 발생하였다.

Figure 21. Error that occurred in the height values based refining process (reference No. 7)

기준자료 13번 가로수의 경우 1개의 수목에서 2개의 점이 추출되는 오류가 발생하였다. 추출된 오류점은 꼭대기점 추출과정 중 3m 기준의 수관폭 단계에서 선택된 점으로 중복도 기반의 최대높이값 비교가 수행되었음에도 불구하고 정제되지 않았다. 이러한 오류는 수목의 형태가 일반적이지 않고 Figure 22와 같이 한쪽으로 기울어져 최대 높이값의 차이(1.6m)가 임계치 이상일 경우 제안한 중복도 기반의 정제를 통해 제거되지 않는다. Figure 22는 기준자료 13번 가로수의 실제 항공라이다 자료에 대한 측면형태와 최대 및 최소 높이값을 나타낸다.

Table 8은 기준자료와 추출 가로수의 위치를 비교한 결과를 나타내며, 추출되지 않은 가로수(기준 자료 7번)는 제외하였다.

Figure 22. Unrefined trees by the comparison of overlap based on the maximum value (reference No. 13, side view)

Table 8. Comparison between reference data and extraction results of the locations of street trees

No.	Position of street trees(m)				Error (m)	
	Reference		Extraction results			
	X	Y	X	Y		
1	206188.90	405552.81	206189.44	405553.74	1.1	
2	206197.02	405551.98	206197.07	405552.67	0.7	
3	206203.88	405552.04	206205.08	405552.11	1.2	
4	206212.16	405551.41	206212.82	405551.79	0.8	
5	206220.49	405550.80	206220.67	405551.83	1.0	
6	206249.81	405550.18	206250.51	405549.92	0.7	
7	206189.19	405535.08	206190.86	405534.19	1.9	
8	206197.17	405534.81	206198.36	405533.91	1.5	
9	206205.52	405533.72	206206.04	405533.58	0.5	
10	206221.33	405533.67	206221.07	405532.93	0.8	
11	206242.10	405532.81	206243.69	405531.77	1.9	
12	206246.76	405532.65	206247.18	405531.68	1.1	
13	206252.52	405532.59	206253.70	405531.68	1.5	
14	206260.69	405532.18	206261.26	405531.16	1.2	
Error	Min	0.5	Max	1.9	RMSE	±0.42

기준자료와 실험을 통해 추출된 가로수의 위치를 비교한 결과 평균 약 1.1m의 오차를 보였다. 오차의 범위는 최소 0.5m(9번)에서 최대 1.9m(7번과 11번)로 나타났다. 수치지도의 가로수점들은 추출 결과의 수관폭 영역에 모두 포함되는 결과를 얻었으나, 수치지도와 항공라이다 자료의 평균수평위치오차(약 ±0.7m, 약 ±0.3m)로 인해 정확한 계산에는 다소 어려움이 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 항공라이다 자료에서 개별 가로수에 대한 위치, 수고, 수관폭의 수치정보 추출을 위한 방법론을 제안하고 실험을 실시하여 다음과 같

은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 건물 제거단계에서 건물점의 영역 확장을 통해 건물 벽면 등의 정보를 제거할 수 있었다. 또한, 비가로수 정보를 점 기반의 높이값 정규화를 통해 비교적 정확하게 제거할 수 있었다.

둘째, 꼭대기 점의 추출과정에서 다양한 수관폭값으로 반복수행하는 방법을 제안하여 기존의 방법을 개선하였고, 점밀도와 중복도 기반의 정제방법을 추가적으로 제안하였다.

셋째, 통계적 기법으로 가로수 점의 선택과 정제를 거쳐 인접 가로수간의 꼭대기와 지면점을 기반으로 개별 가로수의 영역을 구분하여 가로수의 수치정보를 획득하였다. 수목 형태 기반의 꼭대기점 정제과정은 실제 크기가 큰 가로수에서 2개의 수목점이 추출되는 오류를 제거할 수 있었다.

향후 교차로, 곡선도로 등의 지역을 대상으로 추가적인 실험이 수행된다면 가로수 DB 구축에 직접적인 활용이 가능할 것으로 사료된다.

References

- [1] Axelsson, P., 2000, DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Model, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 33:110-117.
- [2] Chen, L., Teo, T., Chiang, T., 2006, The Generation of 3D Tree Models by the Integration of Multi-Sensor Data, PSIVT06, 34-43.
- [3] Cho, D., Kim, E., 2010, Extraction of Spatial Information of Tree Using LIDAR Data in Urban Area, Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information System, 18(4):11-20.
- [4] Cho, D., Kim, E., 2012, Estimation of Individual Street Trees Using Simulated Airborne LIDAR Data, Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 30(3):269-277.
- [5] 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, 313-318.
- [6] Hwang, S., Kim, S., Lee, I., 2010. Detection of Forest Areas using Airborne LIDAR Data, Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information System, 18(3):23-32
- [7] Kaartinen, H., Hyypä, J., Yu, X., Vastaranta, M., Hyypä, H., Kukko, A., Holopainen, M., Heipke, C., Hirschmugl, M., Morsdorf, F., Næsset, E., Pitkänen, J., Popescu, S., Solberg, S., Wolf, B. and Wu, J., 2012, An International Comparison of Individual Tree Detection and Extraction Using Airborne Laser Scanning, Remote Sensing, 4(4):950-974.
- [8] Kim, E., Cho, D., 2011, Extraction of the Street Trees Information Using LIDAR Data, Joint Conference on Korean Society Cadastral · Korean Cadastre Information Association, 155-167.
- [9] 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, 17-24.
- [10] Kim, K., Shin, S., Lim, Y., Kim, H., Oh, J., 2005, Trend of Multi-sensor Spatial Imagery Processing Technology, Electronics and Telecommunications Trends, 20(3):92-103.
- [11] Koch, B., Heyder, U., Weinacker, H., 2006, Detection of Individual Tree Crowns in Airborne Lidar Data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72(4):357-363.
- [12] Korea Forest Service, 2003, Guideline for the Construction and Management of Street Trees.
- [13] Lang, S., Tiede, D., Maier, B., Blaschke, T., 2006, 3D Forest Structure Analysis from Optical and LIDAR Data, Revista Ambiência, Guarapuava, vol. 2 Edição Especial 1:95-110.
- [14] 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, 78(1):75-84.
- [15] Lim, C., 2007, Estimation of Urban Tree Crown Volume based on Object-oriented Approach and LIDAR Data, Master's Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, University of Twente.
- [16] Persson, Å., 2001, Extraction of Individual Trees Using Laser Radar Data, Sensor Technology, Scientific Report FOI-R-0236-SE.
- [17] Persson, Å., Holmgren, J. & Söderman, U., 2002, Detecting and Measuring Individual Trees Using an Airborne Laser Scanner, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 68:925-932.
- [18] 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, 72(12): 1369-1378.
- [19] Tiede, D., Lang, S., Maier, B., 2007, Transferability of a Tree-Crown Delineation Approach Using Region-specific Segmentation, Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26, INPE, 1883-1890.
- [20] Wang, Y., Weinacker, D., Koch, B., 2008, A LIDAR Point Cloud Based Procedure for Vertical Canopy Structure Analysis And 3D Single Tree Modelling in Forest, Sensors 2008, ISSN 1424-8220, 3938-3951.
- [21] Woo, C., 2006, DEM Generation and Tree Height Estimation in Forest Area Using Airborne LiDAR Data, Inha University Master Thesis.
- [22] Yu, X., Hyypä, J., Kaartinen, H. & Maltamo, M., 2004, Automatic Detection of Harvested Trees and Determination of Forest Growth Using Airborne Laser Scanning, Remote Sensing of Environment, 90:451-462.

논문접수 : 2012.09.03

수정일 : 1차 2012.11.26 / 2차 2012.12.04

심사완료 : 2012.12.05

Du Young Cho

2010 Dept. of Geographic Information
System Engineering, Namseoul
University(BSc)

2012 Dept. of Geographic Information
System Engineering, Namseoul

University(MSc)

Research Expertise

- LIDAR Data Processing
- Extraction of Tree Information
- Fusion of LIDAR and Aerial Image

Eui Myoung Kim

2000 Dept. of Civil Engineering,
Yonsei University(Ph.D)

2000~2002 Senior Researcher, Korea
Institute of Construction Technology

2003~2005 Post-Doctoral Fellow,

Dept. of Geomatics Engineering, University of
Calgary

2007~Present Associate Professor, Dept. of GIS
Engineering, Namseoul University

Research Expertise

- Sensor Modeling of Satellite Imagery
- LIDAR Data Processing
- GIS Software Development