

지면 · 비지면점 분류를 위한 라이다 필터링 알고리즘의 종합적인 비교

Comprehensive Comparisons among LIDAR Filtering Algorithms for the Classification of Ground and Non-ground Points

김의명¹⁾ · 조두영²⁾

Kim, Eui Myoung · Cho, Du Young

Abstract

Filtering process that separates ground and non-ground points from LIDAR data is important in order to create the digital elevation model (DEM) or extract objects on the ground. The purpose of this research is to select the most effective filtering algorithm through qualitative and quantitative analysis for the existing filtering method used to extract ground points from LIDAR data. For this, four filtering methods including Adaptive TIN(ATIN), Perspective Center-based filtering method(PC), Elevation Threshold with Expand Window(ETEW) and Progressive Morphology(PM) were applied to mountain area, urban area and the area where building and mountains exist together. Then the characteristics for each method were analyzed. For the qualitative comparison of four filtering methods used for the research, visual method was applied after creating shaded relief image. For the quantitative comparison, an absolute comparison was conducted by using control points observed by GPS and a relative comparison was conducted by the digital elevation model of the National Geographic Information Institute. Through the filtering experiment of the LIDAR data, the Adaptive TIN algorithm extracted the ground points in mountain area and urban area most effectively. In the area where buildings and mountains coexist, progressive morphology algorithm generated the best result. In addition, as a result of qualitative and quantitative comparisons, the applicable filtering algorithm regardless of topographic characteristics appeared to be ATIN algorithm.

Keywords : LIDAR, Filtering Algorithm, Classification, Digital Elevation Model, Adaptive TIN, Shaded Relief Image

초 록

수치표고모델(DEM : Digital Elevation Model)을 생성하거나 지상의 객체를 추출하기 위해서 라이다 자료에서 지면점과 비지면점을 분리하는 필터링(filtering) 과정은 중요하다. 본 연구에서는 라이다 자료에서 지면점을 추출하는 데 사용되는 기존의 필터링 방법을 대상으로 정성적 분석과 정량적 분석을 통해 가장 효과적인 필터링 알고리즘을 선정하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 Adaptive TIN, Perspective Center Based Filtering Algorithm, Elevation Threshold with Expand Window, Progressive Morphology의 4가지 필터링 방법을 산악지역, 도시지역, 건물과 산이 공존하는 3가지 지역에 적용하여 각각의 방법에 대한 특징을 분석하였다. 실험에 사용된 4가지 필터링 방법의 정성적인 비교는 음영기복도를 생성한 후 시각적인 방법을 적용하였고 정량적인 비교는 GPS로 관측한 검사점을 이용한 절대적인 비교와 국토지리정보원의 수치표고모델을 이용하여 상대적인 비교를 수행하였다. 라이다 필터링 실험을 통하여 Adaptive TIN 알고리즘은 산악지역과 도시지역에서 지면점을 가장 효율적으로 추출하였고 건물과 산이 공존하는 지역에서는 Progressive Morphology 알고리즘이 가장 양호한 결과를 나타내었다. 또한 정성적, 정량적 비교 결과 전반적으로 지역적 특성에 관계없이 적용가능한 필터링 알고리즘은 ATIN 알고리즘으로 나타났다.

핵심어 : 라이다, 필터링 알고리즘, 분류, 수치표고모델, Adaptive TIN, 음영기복도

1) 교신저자 · 정회원 · 남서울대학교 GIS공학과 조교수 (E-mail:kemyoung@nsu.ac.kr)

2) 남서울대학교 GIS공학과 석사과정 (E-mail:cho202da@gmail.com)

1. 서론

항공기에 레이저스캐너와 항공기의 자세, 위치를 알 수 있는 GPS(Global Positioning System), IMU(Inertial Measurement Unit) 등을 탑재하고 상공에서 지상을 향해 레이저 펄스를 발사하는 라이다(LIDAR : Light Detection And Ranging)는 지형과 지물에 대한 모든 3차원 정보의 획득이 가능한 기술이다. 라이다는 주로 3차원 좌표정보를 효율적으로 획득할 수 있는 장비로서 도시의 3차원 모델 구축과 산림지역의 수목 모델링 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 라이다 자료는 지면과 비지면의 모든 정보를 포함하고 있으며, 필터링 과정을 거쳐 라이다 자료에서 지면 정보를 제거하면 비지면 정보만 남게 되어 건물, 구조물, 수목 등 지상주요객체 추출의 효율적인 처리가 가능해진다. 따라서 라이다 자료에서 지면점과 비지면점을 분리하는 필터링 작업은 중요한 작업과정중의 하나이다.

라이다 자료의 필터링에 대한 연구는 크게 새로운 알고리즘을 개발하는 연구와 기존 알고리즘들을 이용하여 분석하는 두 가지로 구분할 수 있다.

라이다 자료의 처리를 위해 개발된 필터링 알고리즘들을 살펴보면, 라이다 자료를 정사각형 격자로 나누는 후 격자 내에 최소 높이 값을 갖는 라이다 점을 이용하여 불규칙삼각망(TIN: Triangulated Irregular Network)을 구성한 후 삼각망을 구성하고 있는 라이다 점간의 각과 거리를 비교하는 Adaptive TIN(ATIN) 알고리즘(Axelsson, 2000)과 라이다 자료를 정사각형 격자로 구분하여 격자 내의 최소 높이값과 그외 라이다 점들의 높이값을 비교하는 Elevation Threshold with Expand Window(ETEW) 알고리즘(Whitman et al., 2003; Zhang et al., 2005)이 있다. 그리고 수리형태학적 특성을 기반으로 열림(opening) 연산을 수행하며 윈도우의 크기를 점차 증가시키며 임계값과 비교하여 지면과 비지면을 분리하는 Progressive Morphology(PM) 알고리즘(Zhang et al., 2003)과 라이다 점을 일종의 격자로 구성한 후 가상의 투영중심을 설정하고 투영중심과 라이다 점들간의 거리와 정사각을 비교하는 폐색영역 기반의 필터링 알고리즘(PC : Perspective Center based filtering algorithm) 등이 개발되었다(Chang et al., 2008).

이에 반해 기존에 개발된 라이다 필터링 알고리즘을 이용하여 자료처리 및 분석을 수행한 연구로는 도시지역의 주거지역을 대상으로 분류 정확도를 평가한 연구(유환희 등, 2005)와 홍수 모델에 활용한 사례(Abdullah et al., 2009) 그리고 산악지역을 대상으로 라이다 필터링 알고리즘의

특징을 분석한 연구(황세란 등, 2011; Sulaiman et al., 2010)가 있다.

연구동향의 분석결과 기존 필터링 알고리즘들이 일정 구역 내에서 선정한 기준값과 다른 점 자료와의 각도와 거리를 비교하여 임계값 이상 또는 이하일 때 비지면점 또는 지면점으로 추정하는 방식을 사용하였으며, 추출 결과의 정확도 향상을 위해서 입력 자료의 특성을 사전에 파악해야 한다는 것을 알 수 있었다.

기존의 연구사례에서 알 수 있듯이 도시지역 또는 산악지역과 같이 한정된 지역에서 라이다 필터링 알고리즘을 비교분석한 사례는 있으나 다양한 지역의 라이다 자료를 적용한 연구는 다소 미흡한 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구에서는 산림지역, 건물과 산림이 공존하는 지역, 도시지역의 세 지역에 대해 라이다 자료의 지면·비지면 분류 알고리즘중 기존 연구사례의 분석을 통해서 대표적으로 가장 많이 비교분석된 ATIN, ETEW, PM 과 가장 최근에 연구된 PC의 4가지 라이다 필터링 알고리즘을 적용하여 지면점을 추출한 후 정성적, 정량적인 분석을 수행하였다.

이를 통해 대상지역의 특성에 맞는 필터링 알고리즘과 대상지역에 무관한 가장 효율적인 필터링 알고리즘을 선정하고자 하였다.

2절에서는 본 연구에서 비교·분석한 4개의 라이다 필터링 알고리즘에 대해서 소개하고 3절에서는 본 연구의 실험대상지역들에 대한 소개와 실험방법에 대해서 기술하였다. 4절에서는 본 연구에서 수행한 라이다 필터링 결과에 대한 정성적 분석과 정량적인 분석 결과를 기술하고 결론부분은 5절에 기술하였다.

2. 필터링 알고리즘

2.1 Adaptive TIN

Adaptive TIN(ATIN)은 상업용 소프트웨어인 Terrasolid사의 TerraScan에 적용되어 있는 알고리즘이다. 라이다 자료에서 지면점을 추출하기 위해서 먼저 입력 라이다 자료에서 가장 큰 건물을 포함하는 크기로 격자를 생성한다. 생성된 각 격자 내에서 최소 높이값을 갖는 점을 초기점(seed point)으로 하고 이를 이용하여 델라니 삼각망(delaunay triangulation)을 구성한다. 그림 1은 ATIN 알고리즘의 개념도를 나타내고 있으며 초기점(seed point)을 이용하여 생성된 삼각형의 면과 삼각형을 구성하는 절점(vertex)에 가장 가까운 거리에 위치하는 라이다 점에 대하여 각과 거리를 비교하여 사용자가 설정한 높이와 각도의 임계값

보다 작으면 지면점으로 추정한다. ATIN을 이용하여 라이다 자료를 필터링 할 때의 주요 입력 매개변수는 초기 격자의 크기, 삼각망을 구성하는 한 개의 삼각형과 라이다 점을 비교하여 지면점 선택을 위한 각도, 거리 임계값 등이 있다.

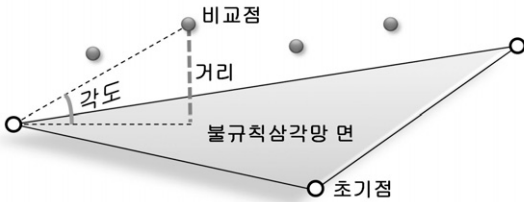


그림 1. ATIN 알고리즘 개념도

2.2 Perspective Center Based Filtering Algorithm

PC 알고리즘은 라이다 자료를 점간 평균거리 기반으로 일정 크기의 격자로 분할한 후 8개의 가상 투영 중심점을 설정한다. 영상에서 한 점을 중심으로 이웃하는 격자가 8개 존재하기 때문에 모든 영역에서 투영중심을 이용하여 폐색영역을 탐지하기 위해서 8개의 투영중심을 이용한다.

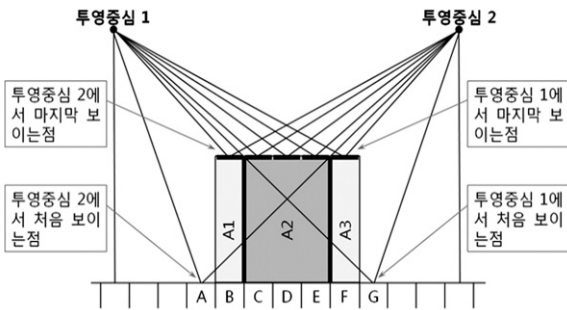


그림 2. PC 알고리즘 개념도

그림 2는 PC 알고리즘의 개념을 나타내며, 투영중심을 지상에 내린 연직점(nadir point)과 격자 상에 존재하는 라이다 점과의 각도를 비교하여 각도가 증가하다가 감소하면 이 부분에서 건물 또는 나무 등에 의해서 가려지는 폐색영역이 발생하고 이것이 지면점으로 분류된다(Anna, 2008; Chang et.al, 2008; Kim, 2008). 지면점 추출 정확도 향상을 위해 일종의 마스크를 이용하여 지면점으로 분류된 라이다 점을 대상으로 높이값에 대한 통계분석을 수행한다.

PC 필터링 알고리즘에서 지면점을 추출하기 위한 주요 매개변수는 투영중심을 설정하기 위한 높이기준과 통계

적 방법으로 지면점을 정제하기 위한 탐색 윈도우 크기와 최소 높이의 표준편차 등이 있다. PC 필터링 알고리즘에서 투영중심의 수직위치는 건물 등의 객체의 높이와 가깝게 설정하고 건물의 수평위치에서는 되도록 멀리 떨어지도록 설정해야 추출 정확도를 향상 시킬 수 있다(Kim, 2008).

2.3 Elevation Threshold with Expand Window

ETEW 알고리즘은 라이다 자료에 대하여 구역 내의 이웃하는 자료간의 높이차를 기준으로 지면점과 비지면점을 분류한 후 비지면점을 제거하는 방식으로 지면점을 추출한다(Whitman et al., 2003). 그림 3은 ETEW 알고리즘의 개념도를 나타내며, 입력 라이다 자료에 대하여 격자형으로 구역을 나누고 설정한 구역 내에서 최소 높이에 해당하는 점을 지면점으로 1차 선택하고 나머지 점들을 비지면으로 추정하여 제거한다.

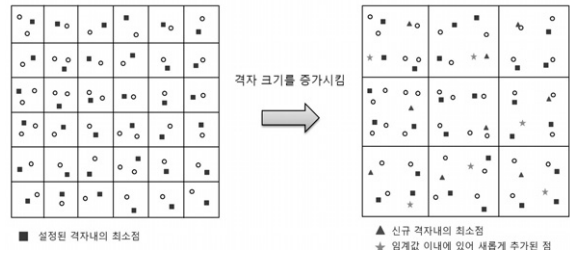


그림 3. ETEW 알고리즘 개념도

두 번째 반복부터 격자의 크기와 경사 임계값을 2배씩 증가시키며 격자 내의 최소값을 찾고 그 최소값과 주변의 높이값이 설정한 임계값보다 작으면 지면점으로 분류하고 그 이상인 경우는 비지면으로 분류하여 제거한다. 이러한 과정은 격자의 크기를 증가시켜가며 반복되며 비지면점으로 제거되는 점이 없을 때 까지 수행한다.

ETEW필터의 주요 입력 매개변수는 최초 격자의 크기, 높이 임계값 계산을 위한 경사도, 입력자료의 최대, 최소 높이값 등이 있다.

2.4 Progressive Morphology

PM 알고리즘은 라이다 자료를 평균 점간거리보다 작게 격자형으로 나누고 각 라이다 점에 행과 열의 인덱스를 생성한다. 이때, 정의된 격자 내에 라이다 자료값이 존재하지 않을 경우 최근린보간법을 이용하여 격자의 높이

값을 설정한다. 생성된 영상에서 일정한 크기의 윈도우를 이용하여 열림(opening) 연산을 수행한다. 높이 임계값을 기준으로 열림연산 수행 전과 후의 영상을 비교하여 임계값 이상의 값을 가지는 자료를 비지면점으로 선택한다. 이러한 과정은 사용자가 정의한 윈도우의 크기와 반복횟수를 기준으로 반복 수행한다. PM 알고리즘의 주요 매개변수는 윈도우 크기, 임계값, 반복횟수 등이 있다(Zhang et al., 2003; Zhang et al., 2007). 그림 4는 PM 알고리즘의 개념도를 나타낸다.

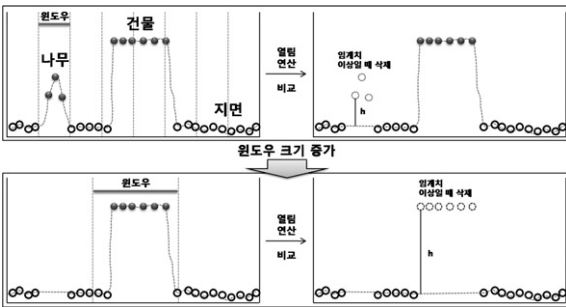


그림 4. PM 알고리즘 개념도

3. 실험

3.1 실험 대상지역 및 입력 자료

라이다 자료의 필터링 알고리즘의 비교분석을 위한 본 연구에서는 대한민국의 경기도 오산시 일대의 세 곳을 실험 대상지역으로 선정하였다.

그림 5은 연구 대상지역 A, B, C와 대상지역의 항공사진을 나타낸다.

실험 대상으로 선정된 지역은 산악지역(A), 산림과 건물이 공존하는 지역(B), 건물만 존재하는 도시지역(C)이며 표 1은 대상지역에 대한 특징 및 면적을 나타낸다.

표 2는 실험에 사용된 입력 라이다 자료의 통계정보를 나타낸다. 실험지역에서 A지역은 산악지역으로 높이값에 대한 편차가 가장 높으며, 점의 밀도가 다른 지역에 비해 높은 것을 알 수 있다. B지역은 산림과 건물이 공존하

는 지역으로 하단부분에 대형의 건물과 아파트단지가 존재하며, 높이값의 편차는 도시지역인 C지역보다는 높고, 산악지역인 A지역에 비해 낮다.

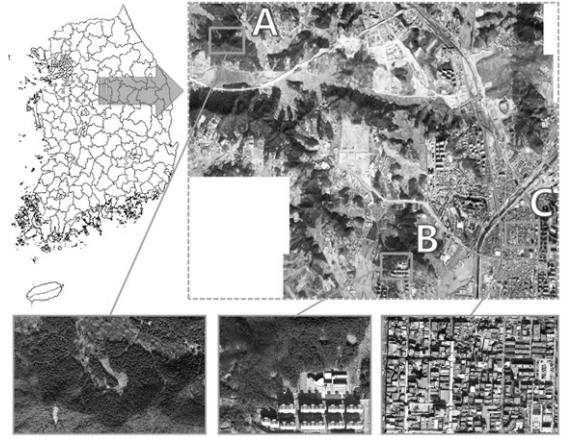


그림 5. 실험 대상지역

표 1. 실험지역의 특징 및 면적

지역	특징	면적(m ²)
A	· 산림지역 · 아래 방향으로 갈수록 산 능선으로 향하며, 경사가 높아지고 나무의 수가 많아짐	약 228,726
B	· 산림, 건물이 공존하는 지역 · 경사가 큰 산림지역과 비교적 표고가 일정한 건물이 존재하는 지역으로 구성	약 190,619
C	· 도시지역 · 도로와 건물이 존재하며, 비교적 표고가 일정한 도심지로 도로를 기준으로 건물들이 밀집하여 존재함	약 120,300

3.2 실험방법

실험방법은 2장에서 언급한 4개의 라이다 필터링 알고리즘에 3개 실험지역의 라이다 자료를 적용하여 필터링을

표 2. 실험지역의 라이다 자료 통계정보

구분 (지역)	점의 개수 (개)	점간 평균거리 (m)	점의 밀도 (개/m ²)	높이 값(Z)			
				최대(m)	최소(m)	평균(m)	표준편차
A	878,939	1.960	3.843	117.530	24.640	62.393	21.332
B	694,621	1.909	3.644	99.990	34.270	65.182	14.378
C	247,685	1.435	2.059	49.230	17.420	22.668	4.147

실시하였다. 실험방법의 전반적인 흐름은 그림 6과 같다.



그림 6. 실험방법 흐름도

실험은 A, B, C 지역에 대해서 4개의 필터링 알고리즘을 모두 적용하였으며, 실험에서 ATIN 필터는 TerraScan을 ETEW와 PM 필터는 ALDPAT(Airborne LIDAR Data Processing and Analysis Tools) S/W를 각각 사용하였으며, PC 필터는 직접 구현하였다. 알고리즘에 대한 평가는 정성적인 방법과 정량적인 방법을 각각 적용하였다. 정성적인 평가는 필터링을 통해 추출된 지면 점자료를 최근린 보간법으로 영상화한 후 음영치복도를 생성하고 대상 지역의 항공사진과 시각적으로 비교하였다. 정량적인 평가는 지면점 추출 결과에 대하여 표고기준점과의 높이값을 절대 비교하는 방법과 국토지리정보원의 지면점 자료와 통계적으로 비교하는 방법을 사용하였다.

정성적·정량적 평가를 통해 각 지역별로 적합한 필터링 알고리즘을 선정하고 지역별 특성에 무관한 가장 효율적인 필터링 알고리즘을 선정하였다.

3.3 필터링의 주요 인자값

본 연구에서 사용한 필터링 알고리즘들은 입력 라이더 자료에 대해 격자를 구성하고 각도와 거리를 비교하여 지면점과 비지면점을 추정하는 방식은 부분적으로 유사하지만 격자의 구성방식과 자료처리를 위해 사용되는 매개변수는 서로 다르다. 표 3은 본 연구의 A, B, C 지역에 4개의 필터링 알고리즘을 적용하기 위해서 사용한 주요 매개

변수를 나타낸다.

표 3. 필터링 알고리즘별 매개변수의 설정값

필터	인 자	설정값(지역)		
		A	B	C
A T I N	최대 건물 크기(m)	5	250	200
	지역 최대경사(도)	88	88	88
	각도 임계값(도)	1	3.5	6
	거리 임계값(m)	1	1	1
P C	비지면 임계값	2		
	지면 임계값	1.5		
	투영중심Offset(X, Y)	150		
	투영중심높이Offset(Z)	100		
	통계처리 윈도우 크기	20		
	표준편차 임계값	0.5		
E T E W	최초 격자 크기(m)	0.1	0.7	0.2
	경사 임계값(도)	0.4	0.6	0.06
	반복 횟수	5	5	7
P M	격자크기(m)	1	1	1
	경사	0.4	0.3	0.035
	최초 임계값	0.2	0.2	0.2
	시작 윈도우 사이즈	2	2	2
	반복 횟수	6	8	8

ATIN 필터의 주요 매개변수값 설정에서 건물의 최대크기는 초기 TIN생성의 기준이 된다. A지역에는 건물이 존재하지 않기 때문에 수목을 포함할 수 있는 크기로 5m를 설정하였고, B와 C지역은 각각 최대건물을 포함하는 크기인 250m와 200m로 설정하였다. 최대 경사는 일반적인 건물과 지면의 각도인 90°에 가깝게 88°로 설정하였다. 지면점 선택을 위한 각도 임계값은 1°, 3.5°, 6°로 설정하였다.

PC 필터에서 투영중심의 수평위치와 수직위치의 옵션은 150m와 100m로 설정하였다. 지면점과 비지면점을 분류하기 위한 임계값은 각각 1.5m와 2m로 설정하였다. 또한 지면점을 정제하기 위한 통계처리의 초기 윈도우 크기는 20으로 설정하였다.

ETEWE 필터의 주요 매개변수는 입력자료에 대해 최초의 격자크기와 높이값 차이의 계산을 위한 경사도, 반복횟수가 있다. 최초 격자의 크기는 실험지역의 평균 점간거리보다 작게 설정하였다. 또한 지면점 선택을 위한 경사의 임계값은 지역별로 0.4°, 0.6°, 0.06°로 각각 설정하였다.

PM 필터는 최초 격자의 크기를 대상지역의 라이더 자료의 평균점간거리보다 작은 1m로 설정하였다. 또한 경사 임계값은 지역별로 0.4°, 0.3°, 0.035°로 설정하였으며

필터링을 위한 초기 윈도우 크기는 2m로 설정하였다.

4. 필터링 결과 분석

실험결과의 분석은 정성적 분석과 정량적 분석으로 구분하여 평가하였다. 실험방법에서 언급했듯이 정성적 분석은 지면점으로 분류된 라이다 점자료를 보간하여 음영기복도를 생성한 후 시각적인 비교를 수행하였다. 또한, 정량적 분석은 절대 비교를 위해 GPS 측량을 통해 관측한 표고기준점의 높이값과 라이다 지면점의 높이값을 비교하여 평균제곱근오차(RMSE)를 계산하였다. 뿐만 아니라 국토지리정보원에서 본 연구지역과 동일한 라이다 자료를 이용하여 반자동으로 추출한 지면점과 상대적인 비교를 수행하였다.

4.1 정성적 분석

음영기복도 기반의 정성적 분석을 위해 필터링 결과인 점기반의 지면자료를 최근린보간법으로 보간하였다. 보간격자의 크기는 입력자료에 대한 평균점간거리를 기준으로 지역별로 1.96m, 1.91m, 1.44m로 각각 설정하였다. 격자보간 후 태양 위치에 대한 방위각은 315°, 고도를 45°로 하여 음영기복도를 생성하였다. 표 4는 실험지역 별 항공사진과 필터링 결과인 지면점을 이용하여 생성한 음영기복도를 나타낸다.

산림만이 존재하는 A지역의 비교 결과 ATIN, ETEW, PM 결과는 큰 차이가 없었으며 항공사진과 비교하여도 양호한 결과를 확인하였다. 이에 반해 PC필터는 A, B 지

역의 산악지역 부분에서 비지면점이 과대추정되어 지면점이 소실된 것을 알 수 있다.

건물과 산림이 공존하는 B지역에서 그림 7과 같이 산악지역 부분에서 PC필터를 제외한 나머지 결과들이 모두 비슷하였다. PC필터의 경우 A지역과 마찬가지로 산악지역 부분에서 지면점이 비지면점으로 추정되었으며 이로 인해 많은 수의 지면점이 다른 필터링 알고리즘에 비해 소실되었다.

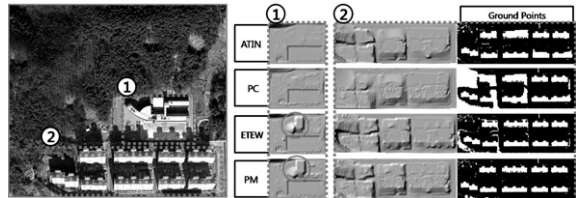


그림 7. B지역의 필터링 결과 확대그림

ETEW와 PM필터링 결과는 그림 7의 하단의 건물이 존재하는 영역에서 원 모양으로 표시된 것과 같이 중앙 건물의 일부 낮은 건물이 지면점으로 잘못 추정된 것을 확인할 수 있었다. B지역 하단의 아파트 단지지역 부분에서는 PM의 결과가 가장 양호하였으며(그림 7 참조), 전체적으로는 ATIN 필터링의 결과가 가장 양호하였다.

건물만 존재하는 C지역은 그림 8에 나타난 것과 같이 ATIN과 PM 필터링 결과가 유사하였다. ETEW 필터의 경우 다른 결과들과 달리 좌측 하단 부분이 비지면점으로 과다추정되어 지면점이 소실되었다. 좌측하단 부분은 항공사진과 비교한 결과 아주 낮은 건물이 존재하는 것으로

표 4. 필터링 결과의 음영기복도 비교

지역	항공사진	ATIN	PC	ETEW	PM
A					
B					
C					

확인되었다.

PC 필터의 경우 작은 굴곡들이 다수 발생하였으며, 항공사진과 비교에서 자동차와 같은 높이가 낮은 객체들이 지면점으로 추정된 것을 확인하였다(그림 8 참조).

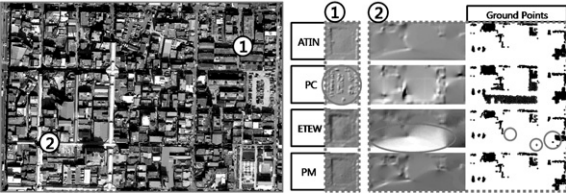


그림 8. C지역의 필터링 결과 확대그림

음영기복도기반의 정성적인 비교에서는 실험지역 전체적으로 ATIN과 PM 필터가 양호한 결과를 나타내었다.

4.2 정량적 분석

정량적분석은 측량을 통해 관측한 표고기준점 높이와 절대 비교를 수행하고 국토지리정보원(이하 NGII)의 라이다 지면점자료와 상대비교를 수행하였다.

4.2.1 지면점의 절대 비교

GPS 관측을 통해 수집된 검사점은 A, B, C 지역에 각각 5개, 10개, 16개이며 검사점의 분포는 그림 9와 같다. 지면점의 절대적인 비교는 검사점의 높이값과 각각의 필터링 결과에 의해 도출된 지면점의 높이값을 절대비교하여 평균제곱근오차(RMSE : Root Mean Square Error)를 계산하였다. 검사점의 수평위치에 라이다 지면점이 완전히 일치하지 않기 때문에 검사점의 수평위치를 기준으로 최근린보간을 수행하여 지면점의 높이값을 설정하였으며 계산된 결과는 표 5와 같다.

표 5에 나타난 것과 같이 높이값의 절대비교 결과 A지역에서의 ATIN 필터링결과가 0.131m로 가장 우수한 결과를 얻었다. PC필터의 경우 지면점에 해당되는 정보가 비지면점으로 과대추정되어 다른 필터링 결과에 비해 RMSE값이 가장 크게 나타났다. 이에 반해 ATIN과 ETEW는 약 0.15m의 근소한 차이를 나타내었다. A지역에서 라이다 자료의 필터링 결과 ATIN, ETEW, PM, PC순으로 결과가 나타났다.

B지역의 경우 PM필터의 결과가 0.103m로 가장 우수한 결과를 보였으며 PC 필터는 A지역에서의 결과와 같이 매우 나쁜 결과를 나타내었다. 이는 음영기복도기반의 정성적 비교에서 확인하였듯이 A, B 실험지역 상단의 산악부분의 지면점이 상당수 비지면점으로 오분류되는 것이 주요 원인으로 분석된다. B지역에서 필터링결과와 우수성은 PM, ATIN, ETEW, PC순으로 나타났으며, PM과 ATIN 필터는 약 0.002m의 매우 작은 차이를 보였다. C지역은 PC필터의 결과가 0.235m로 가장 우수한 의외의 결과를 나타내었다. 그러나, C지역의 필터링 결과는 RMSE값에서 0.235m ~ 0.237m로 서로 비슷한 결과를 나타내어 어떤 필터링 알고리즘이 우수한 결과인지 판별하기가 쉽지 않았다.

전반적으로 4가지 필터링 알고리즘을 3개의 지역에 적용한 결과와 검사점을 이용하여 절대비교한 결과 산악지역과 산악지역이 포함된 지역 A와 B지역에서 PC알고리즘을 제외한 나머지 알고리즘들이 유사한 결과를 나타내었다. 특이할 만한 부분은 B 지역에서 ETEW알고리즘이 다소 높은 RMSE값을 나타내었는데 이는 정성적인 분석 결과에서도 알 수 있듯이 일부 낮은 건물이 지면점으로 오분류되어 분류정확도에 나쁜 영향을 미쳤기 때문이다. 도시지역인 C지역에서는 모든 알고리즘이 거의 차이가 없음을 알 수 있었다.



(a) 지역 A

(b) 지역 B

(c) 지역 C

그림 9. 표고 기준점의 위치와 높이

표 5. 표고기준점과의 높이값 차이 비교 결과 (단위 : m)

지역	표고기준점			ATIN		PC		ETEW		PM		
	No.	X	Y	Z	Input Z	Z Error	Input Z	Z Error	Input Z	Z Error	Input Z	Z Error
A	1	201162.669	408673.846	97.801	97.793	0.008	78.954	18.847	97.949	-0.148	97.909	-0.108
	2	200818.750	408680.985	90.140	90.460	-0.320	55.925	34.215	90.678	-0.538	90.655	-0.515
	3	200870.802	408685.437	88.930	88.570	0.360	61.124	27.806	88.859	0.071	88.858	0.072
	4	200743.198	408779.377	64.832	65.029	-0.197	54.833	9.999	65.108	-0.276	64.995	-0.163
	5	201108.800	408902.622	40.730	40.320	0.410	40.417	0.313	40.419	0.311	40.292	0.438
	RMSE Z				0.131		11.078		0.146		0.166	
B	1	204243.143	405277.157	37.307	37.091	0.216	37.091	0.216	37.091	0.216	37.089	0.218
	2	204050.071	405280.327	64.237	63.921	0.316	50.510	13.727	63.276	0.961	63.852	0.385
	3	204009.635	405314.668	67.462	67.108	0.354	50.556	16.906	67.207	0.255	67.110	0.352
	4	204156.757	405330.720	44.866	44.661	0.205	44.661	0.205	44.661	0.205	44.660	0.206
	5	204266.086	405335.857	40.288	40.105	0.183	40.106	0.182	40.105	0.183	40.100	0.188
	6	204303.361	405381.720	40.189	39.977	0.212	39.986	0.203	39.983	0.206	39.982	0.207
	7	204256.859	405412.454	40.872	40.759	0.113	40.759	0.113	40.760	0.112	40.759	0.113
	8	204037.564	405544.852	84.389	84.248	0.141	51.999	32.390	84.231	0.158	84.223	0.166
	9	204295.681	405648.553	84.900	85.346	-0.446	58.445	26.455	85.340	-0.440	85.311	-0.411
	10	203999.146	405651.009	52.776	52.354	0.422	48.791	3.985	52.353	0.423	52.354	0.422
RMSE Z				0.105		11.072		0.227		0.103		
C	1	206361.135	405784.063	18.330	18.228	0.102	18.228	0.102	18.226	0.104	18.227	0.103
	2	206260.934	405786.272	18.163	18.109	0.054	18.191	-0.028	18.111	0.052	18.110	0.053
	3	206093.105	405790.101	18.235	18.143	0.092	18.143	0.092	18.142	0.093	18.139	0.096
	4	206437.249	405815.344	18.498	18.438	0.060	18.438	0.060	18.437	0.061	18.435	0.063
	5	206475.705	405851.550	18.519	18.369	0.150	18.369	0.150	18.369	0.150	18.369	0.150
	6	206324.459	405854.750	18.365	18.185	0.180	18.185	0.180	18.185	0.180	18.185	0.180
	7	206095.601	405934.640	19.006	18.750	0.256	18.750	0.256	18.747	0.259	18.747	0.259
	8	206364.478	405937.755	18.804	18.280	0.524	18.280	0.524	18.279	0.525	18.278	0.526
	9	206169.967	405943.038	18.201	18.088	0.113	18.088	0.113	18.087	0.114	18.087	0.114
	10	206458.326	405963.385	18.567	18.325	0.242	18.331	0.236	18.318	0.249	18.324	0.243
	11	206293.970	405966.532	18.496	18.304	0.192	18.307	0.189	18.293	0.203	18.294	0.202
	12	206197.183	405967.338	18.531	18.072	0.459	18.073	0.458	18.077	0.454	18.079	0.452
	13	206394.578	406024.070	18.344	18.467	-0.123	18.472	-0.128	18.462	-0.118	18.464	-0.120
	14	206279.946	406030.299	18.925	18.842	0.083	18.842	0.083	18.829	0.096	18.824	0.101
	15	206366.890	406060.832	18.840	18.573	0.267	18.574	0.266	18.575	0.265	18.567	0.273
	16	206199.805	406062.581	18.555	18.610	-0.055	18.610	-0.055	18.608	-0.053	18.604	-0.049
RMSE Z				0.236		0.235		0.237		0.237		

표 6. 국토지리정보원 지면 점자료와 통계값 비교 결과

지역	필터링 알고리즘	지면점의 개수		높이값 (Z)				
				최대 (m)	최소 (m)	평균 (m)	표준편차	
A	NGII	107,216	100%	107.730	24.650	52.581	18.385	
	Result	ATIN	145,423	136%	107.490	24.640	62.357	19.683
		PC	68,649	64%	81.130	24.640	38.311	9.816
		ETEW	243,260	227%	107.830	24.640	56.680	20.311
		PM	144,075	134%	107.820	24.640	61.311	20.020
B	NGII	129,979	100%	85.600	34.270	52.659	11.424	
	Result	ATIN	226,670	174%	85.940	34.270	57.628	12.304
		PC	71,084	55%	60.150	34.270	42.805	3.598
		ETEW	185,755	143%	85.940	34.270	46.394	12.441
		PM	133,186	102%	85.940	34.270	55.865	12.518
C	NGII	63,752	100%	20.540	17.420	18.515	0.287	
	Result	ATIN	72,912	114%	19.850	17.420	18.513	0.284
		PC	84,656	133%	22.720	17.420	18.536	0.369
		ETEW	52,226	82%	21.480	17.420	18.490	0.274
		PM	38,581	61%	19.860	17.420	18.479	0.277

4.2.2 지면점의 상대비교

라이다 자료의 필터링 결과와 검사점의 절대비교와 함께 국토지리정보원의 라이다 자료 필터링 결과인 지면 점자료를 이용하여 상대적인 비교를 수행하였다. 상대적인 비교는 지면점의 개수, 지면점 개수의 비율, 최대 높이값, 최소 높이값, 평균 높이값 등의 통계를 이용하여 수행하였다.

표 6은 NGII 지면점 자료와 본 연구에서 적용한 4개의 필터링 알고리즘을 적용하여 분류된 지면점간의 통계값을 나타낸 것이다.

통계값 비교결과 표 6에서 알 수 있듯이 점의 개수에서는 A지역의 ETEW결과가 227%로 증가율이 가장 높았고, B지역의 PC결과가 55%로 감소율이 가장 높았다. 전체적으로 점의 개수가 NGII에 비해 증가하였는데 그 이유는 NGII의 필터링 과정이 ATIN알고리즘을 기반으로 자동 필터링을 수행한 후 수작업에 의해 비지면점을 삭제하기 때문이다.

A와 B지역에서 PC알고리즘을 적용한 결과는 지면점이 감소한 현상을 보인다. 이는 정성적 비교결과와 검사점을 이용한 절대비교 결과에서도 알 수 있듯이 산악지역의 지면점이 다소 오분류되어 제거되었기 때문이다. 또한 PC 알고리즘은 A, B지역에서 최대 높이값에서도 20m이상 차이를 보이는 결과를 나타내었다.

A, B, C지역에서 최소 높이값은 모든 필터링의 결과가 동

일한 값을 보였고 NGII자료와도 큰 차이를 보이지 않았다.

지역별로 살펴보면 A지역에서 ATIN과 PM필터의 결과가 NGII와 유사하였다. B지역에서는 전체적으로 PM알고리즘의 통계가 NGII와 가장 유사하였다. C지역의 경우 지면점의 개수에서 PM알고리즘 결과가 NGII에 비해 39% 감소한 결과를 나타내었다. C지역에서 지면점의 개수는 4개의 필터가 다소 차이가 있었지만 전반적으로 모든 필터가 NGII와 유사한 특성을 보였다.

5. 결론

본 연구에서는 라이다 자료에서 기존의 필터링 알고리즘을 서로 다른 특성의 지역에 적용하여 가장 효율적인 필터링 알고리즘을 선정하기 위한 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

필터링 실험결과에 대한 정성적, 정량적 비교 결과 전반적으로 지역적 특성에 관계없이 적용가능한 필터링 알고리즘은 ATIN 알고리즘으로 나타났다. 구체적으로 설명하면 산림만 존재하는 산악지역과 건물만 존재하는 도시 지역에서는 ATIN알고리즘이 양호한 결과를 나타내었고 건물과 산이 공존하는 지역에서는 PM알고리즘이 가장 양호한 지면점 추출결과를 보였으나 ATIN의 결과도 유사하였기 때문이다.

본 연구에 사용된 필터링 알고리즘은 지형의 표고 편차가 심한 산악지역에 비해 도심지역에서 비교적 양호한 결과를 나타내었다. 그러나 도심지역에서도 낮은 건물이 밀집한 영역에서는 비지면점이 지면점으로 오분류되었다.

본 연구를 통해서 기존 필터링 알고리즘을 다양한 지역에 적용해본 결과 지면점을 완전하게 자동으로 추출하는데에 한계는 있으나 지역적 특성을 고려하여 최적의 필터링 알고리즘을 선정할 수 있는 자료로 활용될 수 있으리라 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2011-0010403)이며 지원에 감사드립니다. 또한 본 연구를 위해서 자료를 제공해주신 국토지리정보원 관계자 분들께 감사를 드립니다.

참고문헌

유환희, 김의명, 정동기 (2005), LIDAR자료의 지면과 비지면요소의 분류 정확도 평가, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제25권 제6D호, pp. 929-935.

황세란, 이임평 (2011), 산림지형 모델링을 위한 항공 라이다 데이터의 지면점 필터링 비교분석과 정확도 개선, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제29권 제6호 pp. 641-650.

Abdullah, A. F., Rahman, A. A., Vojinovic, Z. (2009), Lidar Filtering Algorithms for Urban Flood Application: Review on Current Algorithms and Filters Test, *Laserscanning09*, Volume XXXVIII, pp. 30-36.

Anna M. Y. Jarvis (2008), *Integration of Photogrammetric and LiDAR Data for Accurate Reconstruction and Visualization of Urban Environments*, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, UCGE Reports Number 20282.

Axelsson, P. (2000), DEM Generation From Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Model, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 33, pp. 110-117.

Chang, Y., Habib, A., Lee, D., Yom, J. (2008), Automatic Classification of Lidar Data into Ground and Nonground Points, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B4, pp. 457-462.

Kim, C. (2008), *Object-based Integration of Photogrammetric and LiDAR for Accurate Reconstruction and Visualization of Building Models*, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, UCGE Reports Number 20281.

Sulaiman, N. S., Majid, Z., Setan, H. (2010), DTM Generation from LiDAR Data by Using Different Filters in Open-Source Software, *Geoinformation Science Journal*, Vol. 10, No. 2, pp. 89-109.

Whitman, D., Zhang, K., Leatherman, S. P., and Robertson, W. (2003), Airborne Laser Topographic Mapping : Application To Hurricane Storm Surge Hazards, *Earth Sciences in the Cities, American Geophysical Union*, pp. 363-376.

Zhang, K., Chen, S., Whitman, D., Shyu, M., Yan, J. and Zhang, C. (2003), A progressive morphological filter for removing non-ground measurements from airborne LIDAR data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, VOL. 41, NO. 4, pp. 872-882.

Zhang, K., Cui, Z. (2007), Airborne LiDAR Data Processing and Analysis Tools ALDPAT 1.0, Software Manual, *National Center for Airborne Laser Mapping*, Florida International University, pp. 75-76.

Zhang, K., Whitman, D. (2005), Comparison of Three Algorithms for Filtering Airborne Lidar Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 71, No. 3, pp. 313-324.

(접수일 2011. 12. 14, 심사일 2012. 01. 22, 심사완료일 2012. 02. 06)