

LiDAR 자료에 의한 지형해석

Analysis of Terrain by LIDAR Data

강준목¹⁾ · 윤희천²⁾ · 민관식³⁾ · 위광재⁴⁾

Kang, Joon Mook · Yoon, Hee Cheon · Min, Kwan Sik · We, Gwang Jae

Abstract

The purpose of the present paper is to offer an analysis of LiDAR data processing and three dimensional terrain for Geographic Information System (GIS) applications. Generally, LiDAR survey is the method which obtains quantitative and qualitative information of the terrain using airborne laser scanning (ALS). We will get a most topographic data at a Triangular Irregular Network (TIN), Digital Surface Model (DSM) and Digital Elevation Model (DEM) using LiDAR data. We examined many factors such as visibility, hillshade, aspect and slope using DEM and DSM. The analyzing results obtained from each item are thought to be regarded as leading factors in the terrain analysis. It is to be hoped that LiDAR survey will contribute a new approach to the terrain analysis.

Keywords : LiDAR, GIS, airborne laser scanning, TIN, DSM, DEM

초 록

본 논문은 라이다 데이터를 활용하여 지형에 대한 3차원 해석을 보여 주는 것이다. 일반적으로, 라이다 측량은 항공레이저스캐너를 이용하여 지표의 정량 및 정성적 정보를 얻을 수 있는 방법이다. 획득된 라이다 데이터를 사용해 불규칙 삼각망, 수치표면모형 및 수치표고모형 등의 지형 데이터를 만들어 지형의 가시성, 음영기록, 경사방향 및 경사도와 같은 요소들을 조사했다. 각 항목으로부터 얻은 해석 결과들은 지형해석에 있어서 주요한 요소로 사용되어지며, 라이다 측량이 지형해석을 위한 새로운 방법으로 이용되기를 기대한다.

핵심어 : 라이다, 지리정보체계, 항공레이저스캐너, 불규칙 삼각망, 수치표면모형, 수치표고모형

1. 서 론

오늘날 지리정보체계 기술은 현대 사회의 고도화 및 산업화에 따라 지리정보의 다양한 분야에서 활용 및 이용 증가로 이어졌으며, 특히 GIS를 활용한 지형해석의 기술은 1980년대 후반 GIS가 국내에 보급된 이후 매우 급속한 발전을 이루어 왔다. 지리정보체계는 방대한 지리정보를 컴퓨터를 이용하여 정보시스템을 구축함으로써 공간 문제를 해결하기 위해 고안된 기술이라고 할 수 있으며 (윤재준 등, 2001), 이는 지리정보를 과학적이고 체계적

으로 수집, 분석 및 관리하는 정보시스템을 의미한다. 지형해석에 사용되는 자료로는 지표면의 현상이나 지형지물의 위상을 기호나 문자를 사용하여 나타낸 각종 종이지도(paper map), 수치데이터 구축에 기반이 되는 항공사진 및 위성영상의 활용을 들 수 있겠으나 최근에는 많은 분야에서 응용되고 있는 LiDAR(Light Detection And Ranging) 측량 기술을 활용하여 획득된 데이터를 이용하여 지형지물의 해석 자료로 사용되어 지고 있다. LiDAR 측량 기술은 고품질의 3차원 지형정보가 필요한 분야에서 신속하고 정확하게 지표면에 대한 표고 및 경사도를 취득할 수

1) 정회원 · 충남대 토목공학과 교수(E-mail:jmkang@cnu.ac.kr)

2) 정회원 · 충남대 토목공학과 조교수(E-mail:hcyoon@cnu.ac.kr)

3) 연결저자 · 정회원 · 충남대 토목공학과 박사과정(E-mail:geodesy@naver.com)

4) 정회원 · 성균관대 건설환경시스템공학부 박사수료(E-mail:gjwe@hist.co.kr)

있는 기술로 최근 국내에 도입되어 측량에 활용되고 있다. 지형해석에 대한 국내 연구로, 유환희 등(1999)은 자료처리 및 3차원 지형분석 소프트웨어 개발에서 위성영상과 DEM(Digital Elevation Model)을 이용하여 지표면에 대한 정보 추출과 3차원 지형해석 소프트웨어를 개발하였으며, LiDAR 시스템을 이용한 지형에 대한 연구로는 서정현 등(2000)은 항공레이저측량에 대한 전반적인 기술을 검토하고 기존 수치표고자료 제작기술을 비교분석하여 LiDAR의 활용가능성을 입증하였고, 이영진 등(2003)은 LiDAR 데이터와 항공사진을 이용하여 지표면에 존재하는 다양한 지형지물을 자동으로 추출하는 기술을 개발하였다. 또한 강준목 등(2004)은 LiDAR를 통해 구축된 도심 및 도로의 정밀한 DEM과 고해상도영상을 이용하여 생성된 DEM을 융합하여 전 지역에 대한 하나의 통합된 DEM을 생성함으로써 도심지역에 대한 정밀 모니터링 연구를 수행하였다. 최근에는 LiDAR 데이터를 이용한 DEM 및 DSM(Digital Surface Model) 생성 알고리즘이 개발 되었으며(Sithole 등, 2003), 단일 또는 다중 에코 LiDAR 데이터로부터 DTM(Digital Terrain Model)을 생성하기 위한 계층적 지형복원(hierarchical recovery)에 관한 연구를 수행한 바 있다(Yong 등, 2005). 또한 LiDAR로부터 획득된 데이터를 이용하여 표고와 지표 경사도를 평가한 연구가 이루어진 바 있다(Michael 등, 2005). 이처럼 LiDAR 데이터를 이용한 수치지형모형은 지형 또는 표면과 관련된 형상을 해석하고 보여줄 수 있도록 모형화 하는 기능을 가지고 있어 구릉지 및 산지의 지형 및 경사도 해석에 그 활용 가능성을 보여주고 있다.

본 연구에서는 3차원적인 지형해석을 수행하기위해 이러한 LiDAR 데이터를 활용해 구릉지 및 산악의 지형해석에 있어서 좀 더 정밀한 DEM 및 대상지역을 포함한 주변의 DSM을 만들어 연구대상 지역의 지형을 표고, 경사(slope), 경사방향(aspect), 음영기복(shaded relief) 및 가시성(visibility)분석과 더불어 식생분포를 해석하고 기존의 축척 1:5000인 수치지형도에서의 지형해석과 비교하여 신기술인 LiDAR 측량을 이용한 지형해석 방법을 제시 하고자 한다.

2. LiDAR에 의한 지형정보 획득

2.1 LiDAR 원리

항공레이저측량은 IFOV(Instantaneous Field of View)

을 가진 레이저를 주사하여 지상에서 반사되는 레이저가 스캐너에 도달할 때까지의 시간을(t_L) 관측하여 빛의 속도를 곱하여 거리(R)를 계산하는 표고 관측을 말하는 것으로 항공레이저측량의 순간시야는 보통 0.3~2milli radians 범위를 가지며 레이저 빔의 회절에 의해 결정되는 IFOV는 아래의 식 (1)과 같다(Wehr and Lohr, 1999).

$$IFOV_{diff} = 2.44 \frac{\lambda}{D} \quad (1)$$

여기서, D 는 렌즈의 구경이며, λ 는 레이저 빛의 파장이다. 레이저를 이용한 거리의 관측에는 펄스(pulse)를 이용한 방법과 위상차(phase shift)를 이용하는 방법이 있으며, 대부분의 항공레이저측량에서는 도달시간을 관측하는 펄스 레이저를 사용하여 왕복시간을 관측하고 여기에 광속을 곱한 값을 이용하여 거리를 구하며 레이저 펄스의 왕복시간은 아래의 식 (2)와 같다.

$$t_L = 2 \frac{R}{c} \quad (2)$$

여기서, R 은 거리관측부와 지표면 위치 간의 거리를 나타내며, c 는 빛의 속도이다. 식 (2)에서 거리오차 ΔR 은 시간오차 Δt_L 에 정비례하며 식 (3)과 같이 유도된다.

$$\Delta R = \frac{1}{2} c \Delta t_L \quad (3)$$

여기서, ΔR 은 거리의 해상도를 Δt_L 은 시간 관측의 해상도로 정의 하면 거리관측부와 지표면 위치 간의 최대 거리는 식 (4)와 같이 정의 된다(Wehr and Lohr, 1999).

$$R_{max} = \frac{1}{2} c t_{L_{max}} \quad (4)$$

2.2 LiDAR 시스템구성 및 좌표해석

항공 LiDAR 시스템은 GPS, IMU(Inertial Measurement Unit), 레이저 측정 장비 및 비행기 항법장치 등으로 구성 되어 있다. 일반적으로 GPS 및 IMU에 의하여 위치와 자세를 결정하는데 GPS 장비는 지상에 설치된 기준군 데이터를 이용하여 DGPS 기법에 의하여 후처리함으로써 소량의 정확도를 얻을 수 있고 IMU는 항공기 회전각(roll, pitch, yaw)의 불규칙적인 변화로 인한 레이저의 연직방향 스캔을 보정할 수 있다. 이처럼 GPS 및 IMU에 의하여 센서의 위치와 자세를 결정하고 레이저 스캐너에 의해

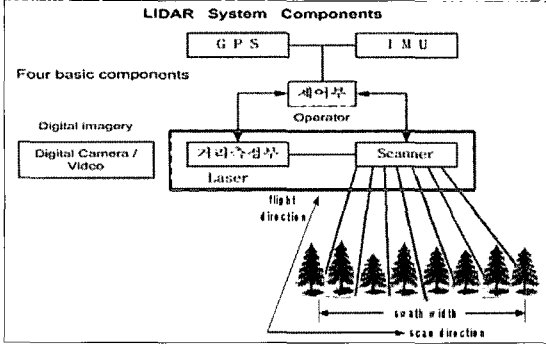


그림 1. 항공라이다 시스템 구성



그림 2. 연구대상지역의 항공정사사진

지표면과의 거리를 관측하여 지상에 대한 3차원 위치를 결정하는 것이 LiDAR 측량의 기본원리이다. 또한 시스템에는 지표의 디지털 이미지를 얻기 위한 디지털 카메라를 가지고 있다.

레이저 스캐너의 경우 GPS와의 위치관계 및 IMU와의 회전각 관계를 알고 있을 때, 정밀 관측된 거리를 이용하여 기준좌표계에 대한 지표면의 좌표는 식 (5)에 의하여 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_d \\ Y_d \\ Z_d \end{bmatrix} + (R_{TM}^{IMU} \cdot R_{IMU}^{LS}) \cdot \begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, $(X, Y, Z)^T$ 는 레이저 반사지점의 지상 좌표를 $(X_0, Y_0, Z_0)^T$ 는 GPS 수신기에 대한 레이저 스캐너의 위치를 $(X_d, Y_d, Z_d)^T$ 는 좌표계 변환에 따른 GPS 위치의 오차를 나타내며, R_{TM}^{IMU} 는 기준좌표계와 INS간의 회전행렬을 R_{IMU}^{LS} 는 레이저 스캐너와 INS 간의 회전행렬을 $(l_x, l_y, l_z)^T$ 는 레이저 스캐너에서의 레이저 광선 벡터를 나타낸다. 또한, 레이저 스캐너의 위치 (X_{LS}, Y_{LS}, Z_{LS}) , 레이저 광선의 순간 스캔각을 포함한 자세 (ω_L, ϕ_L, k_L) 및 목표물까지의 거리 (D) 등의 관측값을 이용하여 지상에서의 레이저 반사지점의 좌표 (X_T, Y_T, Z_T) 를 식 (6)에 의해 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{LS} \\ Y_{LS} \\ Z_{LS} \end{bmatrix} + D \begin{bmatrix} \cos x_L - \sin x_L & 0 \\ \sin x_L & \cos x_L & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\sin \phi_L \\ \sin \omega_L \\ (1 - \cos \omega_L)(1 - \cos \phi_L) \end{bmatrix} \quad (6)$$

3. 지형자료 생성

3.1 연구대상지역

지형해석을 위한 연구대상지로는 대전광역시 유성구 가

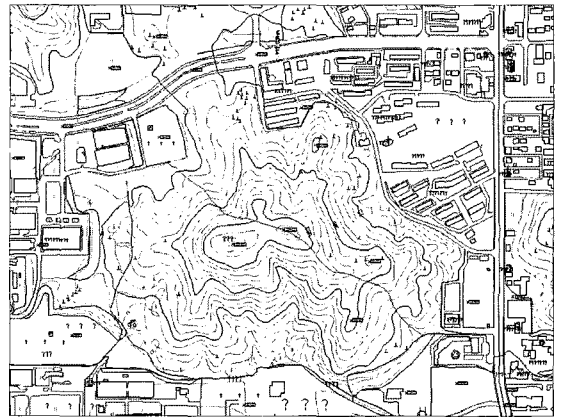


그림 3. 연구대상지역의 수치지형도(1:5000)

정동 일원의 매봉공원 주변을 선택하였으며 우선 LiDAR 측량을 실시하여 획득한 원시 데이터와 해당지역의 축척 1:5000 수치지형도 및 디지털 항공정사사진을 확보하였다. 항공정사사진에 의한 정성적 해석을 실시하여 지형해석에 필요한 표본추출을 실시하고 확보된 원시 LiDAR 데이터는 상용소프트웨어인 TerraModel을 이용하여 원시 LiDAR 데이터로부터 대상 지역이 포함된 주변의 데이터를 분류하여 DEM/DSM을 생성하였다. 연구대상지역은 독립된 야산으로 주변 도로로부터 정상까지의 경사는 비교적 완만한 편이며 주택지 및 연구단지로 둘러싸여 있으며 현재는 공원으로 활용되고 있다. 그림 2는 연구대상지역의 디지털 항공정사사진을 그림 3은 연구대상지역의 축척 1:5000 수치지형도를 나타내고 있다.

3.2 데이터 획득 및 처리

원시 LiDAR 데이터 취득을 위하여 사용된 항공레이저

측량 장비는 캐나다 Optech사의 ALTM 30/70 모델로 레이저 펄스 주사율이 최대 70kHz이며 정확도는 비행고도 약 1,000m에서 관측될 경우 수직 $\pm 15\text{cm}$, 수평 $\pm 50\text{cm}$ 의 정확도를 갖는 장비로 산림지대에서 투과성이 특히 우수한 것으로 나타났다. 또한 이 장비는 Leica사의 RC30 항공사진측량 카메라의 플랫폼 요소를 공유하며, 항공용 GPS수신기와 INS 및 파일럿 디스플레이 장치를 갖추고 있다. 그림 4는 비행기에 장착된 항공레이저 측량기 및 센서하단을 보여주고 있다.

ALTM 30/70 장비는 산림지역에서 반사광이 시간차를

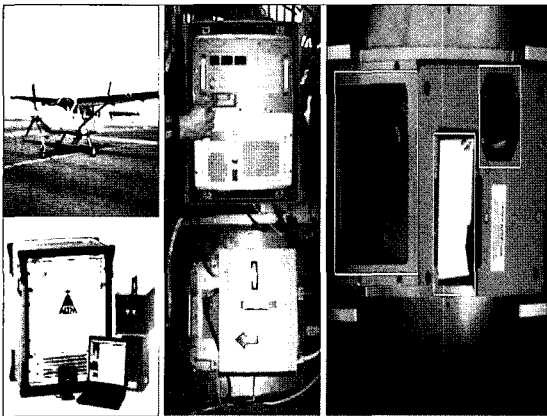


그림 4. 항공레이저 측량기 및 센서하단

두고 관측되는 다중에코(multi-echo)에 의하여 동일 지상점에 대해 두 개 이상의 표고정보를 취득할 수 있으며 획득된 원시 LiDAR 자료로부터 정밀한 DEM을 생성하기 위해서는 상용소프트웨어인 TerraModel을 이용하여 B-spline 보간법을 적용 1m 간격으로 DEM을 추출하여 지형해석에 이용하였다. 보다 정밀한 수치표고모형을 생성하기 위해서는 고밀도 스캔율, 좁은 주사각 및 지상까지 침투할 수 있는 강한 레이저 펄스를 가져야 한다. 또한 수목 및 지형지물을 포함한 DSM을 생성하여 대상 지역이 포함된 주변 환경을 입체적으로 해석하였다. 자료의 처리는 그림 5와 같은 순서로 처리를 하였으며, 그림 6은 원시 라이다 데이터의 처리에 의해 생성된 DSM으로 대상지역을 포함한 주변을 입체적으로 표현한 것을 보여주고 있다. 또한 그림 7은 본 연구에서 LiDAR 자료에 의한 지형해석과 기존의 수치지형도를 이용한 방법을 비교하기위해 획득된 등고선 표면을 나타낸 것이다.

4. 지형해석

지형에 대한 공간적인 분석을 수행하기 위해서는 표고 정보가 포함된 지표면의 3차원 지형 모델링이 필요하며 이는 3차원 공간상에서 지형해석 및 가시화를 위한 것으로 DEM/DSM의 생성을 전제로 한다. 일반적으로 지형의

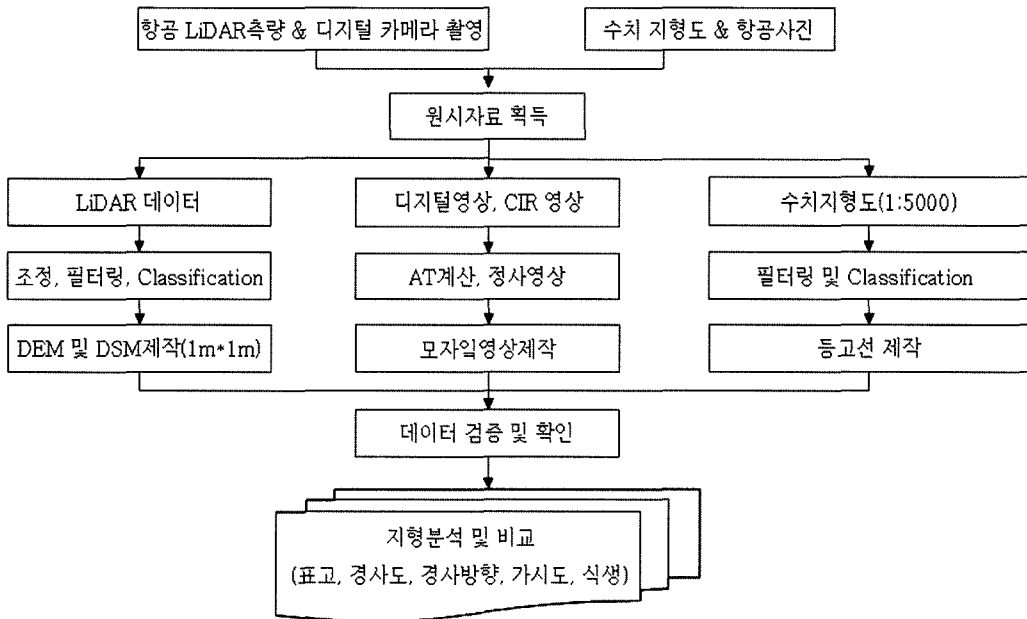


그림 5. 자료처리 흐름도

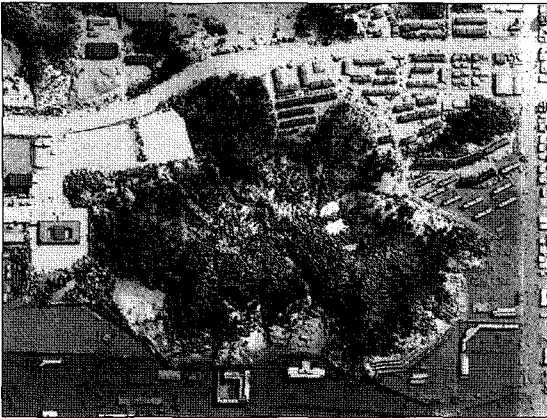


그림 6. LiDAR 자료에 의한 DSM

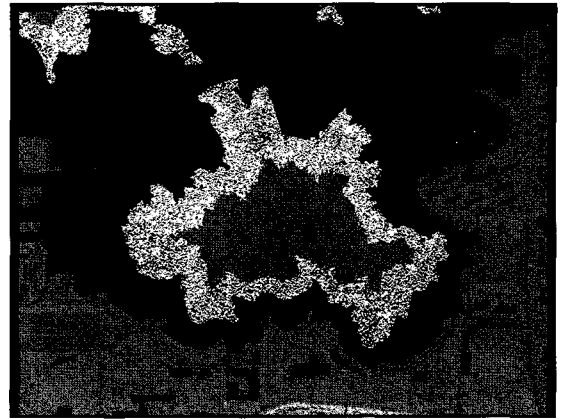


그림 8. LiDAR 자료에 의한 DEM

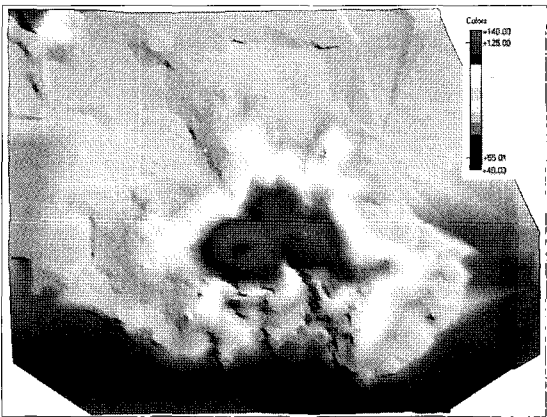


그림 7. 수치지형도 등고선 Surface

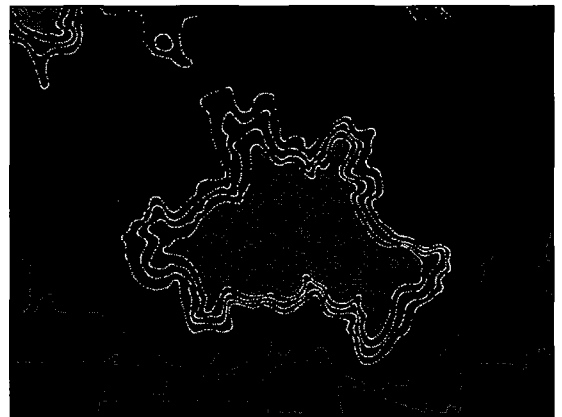


그림 9. 수치지형도에 의한 DEM

해석에 있어 고려되어야 할 특성으로는 경사(slope)와 경사방향(aspect)으로 경사는 두 지점간의 최대 변화율로 계산되어 경사도로 나타내며 경사의 방향은 표고에서 낮아지는 경사의 방향을 확인하는 것으로 경사 방향은 나침반 방향으로 계산된다. LiDAR 데이터에 의해 생성된 DEM/DSM은 일정 위치에 대한 표고, 위치, 경사도와 같은 지형적 특성을 나타낼 수 있다. 또한 지형해석에 있어서 음영기복의 계산 및 가시성(visibility)분석도 고려되어야 할 요소로 가상적인 불빛에 의해 그림자의 생성을 가정한 음영기복(hillshade)의 생성에 있어서는 가상적인 태양의 위치로 고도와 방위를 설정하며, 가시성 분석은 특정 위치에서 시야에 들어오는 영역을 산정하는 것을 말한다. 또한 LiDAR 측량에서는 다중에코(multi-echo)를 이용한 반산강도로 식생분포 및 밀집도를 확인할 수 있다.

4.1 표고해석

지형해석을 수행하기 위한 기초자료로서의 표고해석은 LiDAR 자료로부터 생성된 수치표고모델을 기반으로 하였으며 이는 연구 대상지역의 정상(peak), 능선(ridge-line), 비탈(slope) 및 급경사(break)등의 지형적 특징점 들을 가지고 TIN(Triangulated Irregular Network)을 형성하고 B-spline 보간기법을 이용하여 정밀 DEM을 생성하였다. 그림 8은 대상지역의 DEM을 나타내고 있으며 표 1은 생성된 DEM으로부터 해석한 표고에 따른 면적 및 비율을 나타낸 것으로 대상지역 및 주변의 표고가 35.63~143.84m로 비교적 상세하게 표현할 수 있었으며 표고에 따른 대상 면적도 쉽게 획득할 수 있었다. 그림 9는 본 연구에서 라이다 자료와 비교하기 위한 동일 지역의 축척 1:5000 수치지형도에서 획득한 DEM이며, 표 2는 생성된 DEM으로부터 해석한 표고에 따른 면적 및 비율을 나타낸 것으로 연구

대상지역의 표고 40m 이하의 지역은 나타낼 수 없었다.

4.2 경사도 및 경사방향계산

지형에서의 경사는 수평면에 접하는 면으로 정의되며 표고의 변화율인 기울기를 경사(slope)라 하고 최대표고 변화율이 나타나는 방향을 경사방향(aspect)이라 한다. 경사도는 임의 점에서 고도차를 이용해 주변 지형과의 각도를 구하는 것으로 0°~90°의 값으로 나타내거나 표고차이의 비율(%)로 나타낸다. 경사방향은 표고에서 낮아지

는 경사의 방향을 확인하는 것으로 임의 점 중에서 가장 경사가 급한 방향 또는 각도가 가장 큰 점의 방향을 나타낸 것으로 경사는 나침반 방향으로 계산되며 0°~360°의 값을 갖는다. LiDAR 데이터에 의해 생성된 DEM의 자료를 이용하여 경사도 및 경사방향을 해석하였으며 그림 10은 대상지역의 경사도를 나타내고 있다. 표 3은 대상지역의 경사도 해석을 나타내고 있으며 해당 경사 면적 및 비율도 함께 표기 하였다. 그림 11은 수치지형도에 의해 생성된 DEM의 자료를 이용하여 나타낸 경사도이며, 표 4

표 1. LiDAR 자료 표고해석

표고(m)	35.63~40.00	40~60 이하	60~80 이하	80~100 이하	100~143.84	계
면적(m ²)	5,491.8	381,606.0	538,347.9	197,589.0	106,288.3	1,229,323.0
비율(%)	0.45	31.04	43.79	16.07	8.65	100

표 2. 수치지형도 표고해석

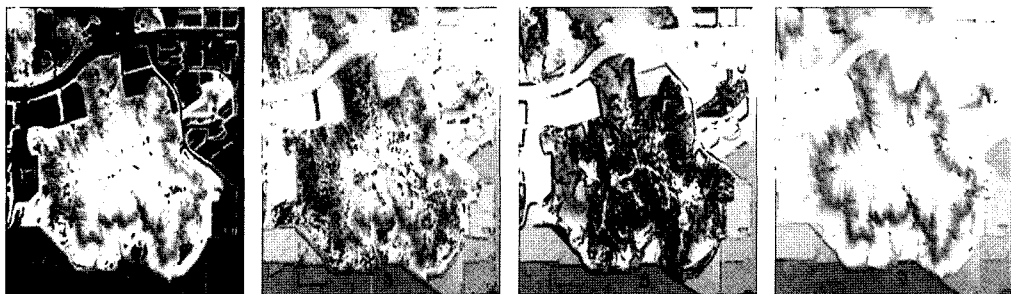
표고(m)	35.63~40.00	40~60 이하	60~80 이하	80~100 이하	100~140 이하	계
면적(m ²)	-	229,211.0	469,876.7	220,653.0	138,910.2	1,058,650.9
비율(%)	-	21.65	44.39	20.84	13.12	100

표 3. LiDAR 자료 경사도해석

경사도(%)	10 이하	10~20 이하	20~40 이하	40~60 이하	60~80 이하	80~100 이하	계
면적(m ²)	432,429.0	182,211.8	231,297.0	215,900.0	114,629.7	32,177.0	1,223,646.3
비율(%)	35.78	15.08	19.14	17.86	9.48	2.66	100

표 4. 수치지형도 경사도해석

경사도(%)	10 이하	10~20 이하	20~40 이하	40~60 이하	60~80 이하	80~100 이하	계
면적(m ²)	507,310.5	132,996.6	286,930.5	97,218.6	23,639.3	5,107.1	1,053,202.6
비율(%)	48.17	12.63	27.24	9.23	2.24	0.49	100



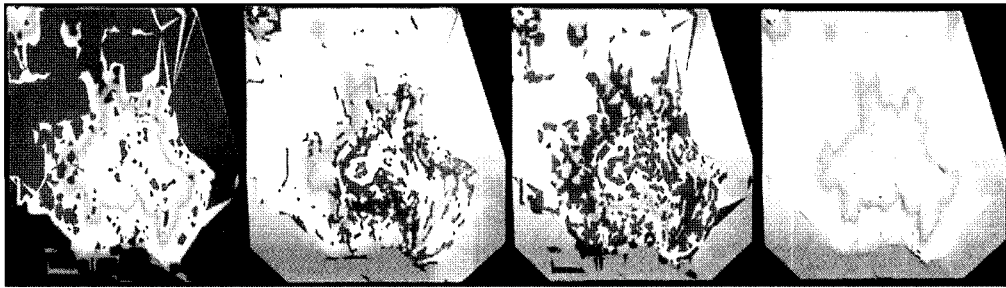
(a) 10%이하

(b) 10~20%

(c) 20~40%

(d) 40~100%

그림 10. LiDAR 자료에 의한 경사도



(a) 10% 이하

(b) 10~20%

(c) 20~40%

(d) 40% 이상

그림 11. 수치지형도에 의한 경사도



그림 12. LiDAR 자료에 의한 경사방향

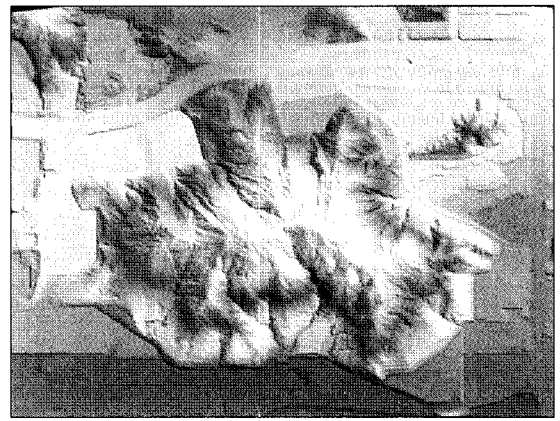


그림 13. LiDAR 자료에 의한 음영기복도

는 대상지역의 경사도해석을 나타낸 것이다. 또한 그림 12는 대상지역의 LiDAR 데이터에 의해 생성된 경사방향을 보여주고 있다.

4.3 음영기복도 생성

음영기복도(shaded relief map)는 이미지에 인위적인 빛을 투사했을 때 나타나는 굴곡을 입체적으로 나타낸 것으로 이미지의 시각적인 질을 높이기 위해 개발된 기법이다. 음영기복도의 생성은 일정한 방향에서 빛을 받았을 때 생기는 그림자의 어두운 정도를 계산하여 만든다. 그림 13은 대상지역의 음영기복도를 나타낸 것이다.

4.4 가시성 해석

가시성 해석은 최대의 가시영역을 가지는 임의 지역에서 관찰할 수 있는 최대의 가시권을 해석하는 것으로 DEM/DSM의 지형에서 최대로 보이는 위치를 파악하는

것이다. 가시성 해석을 사용하는 방법에는 전체 지형을 보기위한 소요의 Viewpoint를 구하는 방법과 정해진 Viewpoint를 사용해서 최대의 가시영역을 구하는 방법으로 나눌 수 있으며, 해석의 종류로는 점가시도(point visibility), 선가시도(line visibility), 지역가시도(region visibility)나눌 수 있다. 본 연구에서는 LiDAR 데이터에 의해 생성된 DEM/DSM의 정해진 Viewpoint를 사용해서 최대의 가시영역을 구하는 방법을 사용하였다. 그림 14는 가시성 해석을 위한 Viewpoint 및 종단도를 보여주고 있다. 그림 15는 라이다 및 수치지형도에 의해 생성된 종단도를 보여주고 있으며 다중에코(multi-echo)에 의한 수목의 분포도 함께 나타내었다.

4.5 식생해석

반사강도(Intensity)는 반사체에 반사되어 스캐너에 도달한 레이저 강도 대 발사된 레이저 강도의 비율로서 나

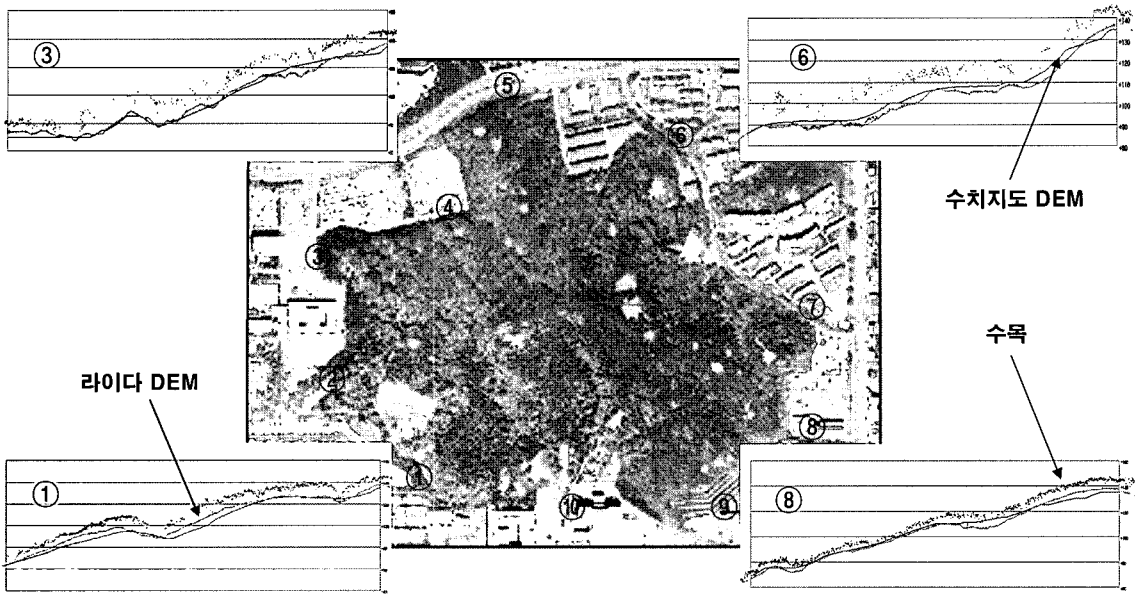


그림 14. 대상지역 Viewpoint 및 종단도

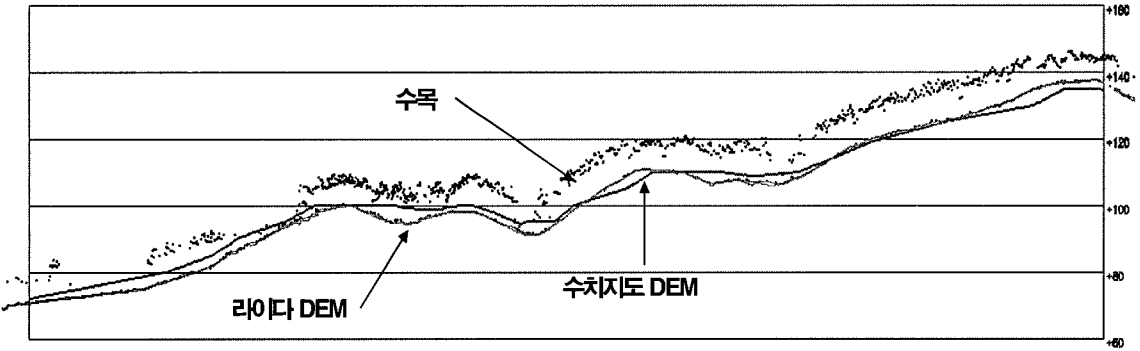


그림 15. 라이다 및 수치지형도 세부 종단도



그림 16. 대상지역 CIR 영상

타하며 일반적으로 반사체는 고유한 반사도를 가지며 반사체에 따라 그 값들이 상이하게 나타난다. 대상물에 따른 0.9 μ m 레이저의 반사도를 보면 아스팔트(17%), 잔디(50%내외), 콘크리트(30%내외), 건물의 지붕(20%~30%), 나무(30~60%)의 반사강도를 가지며 물의 경우는 반사도가 0이다.

이처럼 반사강도는 지상물의 종류를 규명하기 위한 중요한 정보로 LiDAR 측량에서는 지형지물의 고유한 반사도를 이용해 반사강도를 측정하고 이것을 이용해 지상물의 종류를 규명하며 지표면의 식생분포나 식생 밀집도를 추정한다. 그림 16은 연구대상지역의 CIR(color infrared) 영상을 보여주고 있다.

5. 결 론

본 연구는 원시 LiDAR 데이터를 상업용 소프트웨어인 TerraModeler을 이용하여 1m 간격의 DEM/DSM을 생성하여 축척 1:5000인 수치지형도에서의 지형해석과 비교하여 LiDAR 데이터에 의한 지형해석의 가능성을 확인해 본 결과 기존의 축척 1:5000 수치지형도를 이용한 연구대상지역의 표고해석에서는 40m 이하의 표고 지역은 나타낼 수 없었으나 LiDAR 데이터를 활용한 지형해석에서는 대상지역 및 주변의 표고를 35.63~143.84m로 비교적 상세하게 표현할 수 있었으며 40m 이하의 표고 및 해당 면적(5,491.8m²)도 확인할 수 있었다. 또한, 80~100m 이하의 표고에서는 LiDAR 데이터에 의해 추출된 면적을 기준으로 수치지형도상의 면적을 비교해 볼 때 수치지형도상의 면적이 +11.67%의 증가를 보이고 있으며 표고 100m 이상에서는 수치지형도상의 면적이 +30.69%의 증가를 보이고 있는 것으로 나타났다. 반면 표고 60~80m의 경우 LiDAR 데이터에 의해 추출된 면적을 기준으로 수치지형도상의 면적은 -12.72%의 감소를 보이고 있으며 표고 40~60m의 경우 -40%의 감소를 보이고 있는 것으로 확인되었다. 경사도 해석의 경우 50% 이하 경사도에서는 LiDAR 데이터 및 수치지형도에서의 분포 면적이 비슷하였으나 경사도가 클수록 LiDAR 데이터의 분포 면적이 수치지형도의 분포 면적에 비하여 상대적으로 많음을 알 수 있었다. 가시성해석 및 식생의 분포에 있어서도 LiDAR 데이터에 의해 생성된 종단면도의 경우 지표의 굴곡이 수치지형도의 경우와 비교해 볼 때 상대적으로 지형을 좀 더 자세하게 표현 할 수 있었으며 더불어 지표면의 식생 분포나 식생 밀집도를 추정할 수 있었다. 본 연구를 통하여 LiDAR 자료의 DEM/DSM을 이용한 지형해석은 기존의 축척 1:5000 수치지형도에 비하여 지표를 좀 더 정확하고 상세하게 나타낼 수 있었으며, 기존의 장비로 구축

불가능 했던 세부 지형의 자료 취득 및 가공에 있어서도 LiDAR 데이터의 우수성 및 효율성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-11331-0) 지원에 의해 수행된 것으로 감사드립니다.

참고문헌

- 강준목, 강영미, 이형석 (2004), 도심의 정밀 모니터링을 위한 LiDAR 자료와 고해상영상의 융합, 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 383-388.
- 서정현, 조우석 (2000), 항공레이저 측량을 이용한 지형정보 제작에 관한 연구, 국토지리정보원, pp. 1-43.
- 유환희, 안충현, 오성남, 성민규 (1999), 3차원 지형정보분석을 위한 수치사진측량시스템 개발, 한국측량 학회지, 제17권 1호, pp. 11-19.
- 윤재준, 김채승 (2001), 지리정보체계, 대영사, p. 33.
- 이영진, 조우석 (2003), LIDAR 데이터와 항공사진을 이용한 건물의 자동추출에 관한 연구, 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 471-477.
- Michael E. Hodgson, George Raber. (2005), An Evaluation of Lidar-derived Elevation and Terrain Slope in Leaf-off Conditions. ASPRS Photogrammetry Engineering & Remote Sensing, Vol. 71, No 7, July, pp. 817-823.
- Sithole, G. and Vosselman, G. (2003), Test on extracting DEMs from point clouds: a comparison of existing automatic filters, ISPRS Technical Report, pp. 93-99.
- Wehr, A. and Lohr, U. (1999), Airborne Laser Scanning an introduction and overview. ISPRS Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 54 (NOS. 2-3), PP. 68-82.
- Yong Hu and C. Vincent Tao. (2005), Hierarchical Recovery of Digital Terrain Models from Single and Multiple Return Lidar Data. ASPRS Photogrammetry Engineering & Remote Sensing, Vol. 71, No 4, April, pp. 425-434.

(접수일 2006. 10. 9, 심사일 2006. 10. 30, 심사완료일 2006. 11. 30)