

항공레이저스캐닝(ALS) 반사강도의 보정에 관한 연구

A Study on Correction of Airborne Laser Scanning Intensity Data

신동준* · 장 훈** · 최낙훈***

Shin, Dong June · Chang, Hoon · Choi, Nak Hoon

* 성균관대학교 토목환경공학과 석사, milidori@skku.edu

** 성균관대학교 토목환경공학과 조교수, hchang@skku.edu

*** 성균관대학교 지리정보체계협동과정 석사과정, okaynh@skku.edu

요 약

최근 항공레이저스캐닝(ALS)은 높은 정확도와 경제성을 이유로 지형정보를 획득하는 탁월한 수단으로 주목받고 있다. ALS에 의해 수집되는 고도자료는 DSM, DEM 제작에 유용하게 이용된다. ALS는 고도자료 이외에 지표면의 물질적 특성을 나타내는 반사강도를 획득한다. 그러나 반사강도는 노이즈로 인해 널리 이용되지 못하고 있으며, 노이즈의 주원인은 반사각으로 알려져 있다. 따라서 본 연구는 센서 위치정보와 ALS 고도자료를 이용하여 반사각을 이용하여 반사강도를 보정하는 방법을 제안하였다. 여기에는 θ 의 각도로 입사한 레이저의 강도는 수직으로 입사한 레이저의 강도보다 $\sin\theta$ 만큼 감소한다는 물리학적 원리가 이용되었다. 반사각은 지표면과 레이저가 이루는 각으로, 센서와 측정점 사이의 각과 지표면의 경사각의 두 단계로 나누었다. 방법의 적합 여부를 확인하기 위해 적외선 영역에서 분리도가 잘 이루어지는 아스팔트, 휴경지(토양), 콘크리트, 수목의 네 가지 검증영역을 선정하여 보정된 반사강도와 보정 전의 반사강도를 비교하였다. 모든 영역에서 반사강도가 증가하였으며 특히 콘크리트와 수목에서의 증가가 두드러졌다. 보정을 통해 네 영역에서 반사강도의 분리도가 향상됨을 물론 그 크기가 '아스팔트<토양<콘크리트<수목'으로 나타나는 이론적인 경향과 유사함을 확인할 수 있다.

주요어 : 항공레이저스캐닝, 반사강도, 반사각, 보정

1. 서 론

측량, 지도제작 분야에서 항공레이저스캐닝(Airborne Laser Scanning : ALS) 또는 지형 LiDAR(topographic LiDAR)는 1990년대 중반 이후 공간정보를 신속, 정확, 경제적으로 묘사하는 탁월한 기술로 평가되어왔다. ALS의 성과물은 지표면의 고도자료와 반사강도(intensity)이다. 고도자료는 불규칙격자의 점(point cloud)으로 지표의 높이를, 반사강도는 적외선 영역에 대한 반사체의 반사특성을 나타낸 것으로 지표면의 매질에 대한 정보를 제공한다. 반사강도는 매질의 물질적 특성에 따라 반사율이 다르기 때문에 지표면의 종류, 상태를 판별해낼 수 있는 자료로 알려져 있다. 그

러나 주로 반사각에 의해 노이즈가 발생하여 널리 이용되지 못하고 있다.

한수희(2002)는 LiDAR 고도자료를 이용한 DSM 텍스처(texture)와 반사강도 텍스처를 최대우도법을 이용하여 감독분류를 수행하였으며, 아스팔트와 나무, 콘크리트와 나무 등의 분류에서 우수한 분리도를 형성하는 것을 확인하였다. 다만 항공기 위치정보의 부족으로 반사강도 보정을 수행할 수 없다고 하였다. Hernandez과 Whitman(2003)은 비행고도를 반사강도에 영향을 미치는 요인으로 보고, 동일한 지역에 대해 시기가 다른 두 반사강도 swath의 고도차이에 대한 보정계수를 산출하였다. 중첩되는 swath의 반사강도 차이가 최소화되었고 향후 반사강도 보정에 비행고도의

사용가능성을 보여주었다.

반사강도의 노이즈에 가장 큰 영향을 주는 요인은 반사각이다. 반사각은 항공기 센서의 위치와 지표면의 경사각에 의해 매 측정시마다 다르게 나타나며 보정에 대한 명확한 알고리즘이 알려져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 항공기 센서의 위치정보와 ALS 고도 자료를 이용하여 반사각에 대한 반사강도의 보정방법을 제안하였다.

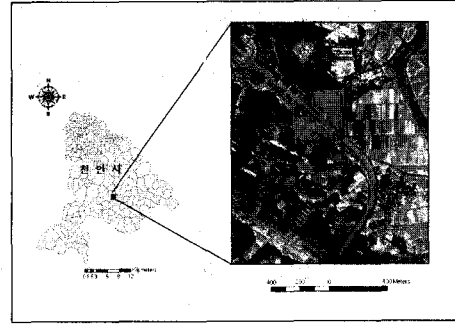


그림 1. 대상지역의 IKONOS영상

2. 항공레이저스캐닝

2.1 ALS의 원리

ALS 시스템의 주요 구성요소는 Laser Scanner(센서), GPS, INS이며, Laser Scanner는 다시 거리측정부와 스캐닝부로 나뉜다. 각 구성요소들은 제어부를 통해 통합·운영된다.

Laser scanner에서 지표면에 레이저를 발사하고 반사되어 돌아오는 레이저의 왕복시간을 측정하여 두 점간의 거리를 계산한다. 또한 GPS, INS를 이용하여 얻은 Laser scanner의 위치와 자세를 통해 지표면 한 점의 3차원 좌표를 계산할 수 있다. 레이저는 짧은 주기의 고에너지 펄스를 생성하여 작은 개구(aperture)를 통해 발사된 고밀도 파장의 빛을 이용하므로 투과력과 직진성이 뛰어나고 순간시야각이 작아 대기의 영향을 적게 받으며 능동센서이므로 일광이나 기상의 영향 또한 적게 받는다.

INS의 우연오차로 인해 수직오차보다 수평오차가 약 2~3배 정도 크다. 일반적으로 수직정확도는 15cm, 수평정확도는 30cm이다. 레이저펄스의 파장대는 1 μ m 이상의 적외선 영역이다.

본 연구의 대상지역은 충남 천안시 목천읍 서리, 동평리, 운전리의 일부를 포함한 독립기념관 일대로 농경지와 산림, 하천, 도로, 건물 등이 혼합되어 있고, 피복의 형태는 콘크리트, 아스팔트, 수목, 나지, 물 등이 주를 이루고 있다. 전체 측정점의 개수는 5116,276개이고, 평균 점밀도는 3.14 개/m², 사용되는 레이저의 파장은 1.064 μ m이다.

2.2 ALS 고도자료

ALS 고도자료는 지표면의 3차원 좌표로, 좌표계는 UTM WGS84이고 고도는 타원체 고이다. ALS 고도자료에서 주목을 끄는 것은 다중반사이다. 레이저빔은 발사 후 지상에 도달하면서 지름이 팽창한다. 이 때 빔의 일부는 지상물의 모서리에 부딪히고 나머지는 지표에 도달하게 된다면, 지상물 모서리와 지표에서의 반사를 모두 기록하게 되고 결국 단일 펄스에 대한 두 개의 다른 고도를 획득할 수 있다. 전자를 first return, 후자를 last return라 부른다. 이것은 수관층의 두께·생체량 등을 추정하는 자료로 활용될 수 있으며, 지표면의 정보와 지상물의 정보를 동시에 취득할 수 있다는 점에서 중요한 가치를 지닌다.

2.3 ALS 반사강도

반사강도는 입사된 레이저의 강도와 반사된 레이저의 강도의 비로 주로 반사체의 반사도에 의해 영향을 받는다. 반사체는 물질적 특성에 따라 고유의 반사도를 가진다. 따라서 지상물의 종류를 규명할 수 있는 중요한 정보가 될 수 있다. 따라서 반사강도는 토지피복분류와 지표상 건물추출 등의 분야에 이용가능성을 보이고 있다. 그러나 현재 반사강도 수치를 통해서 지상물의 종류를 규명하는 연구는 미흡한 실정이다. 또한 분류대상에 적합하지 않은 파장대의 레이저를 사용하면 지상물 간에 분리도가 낮게 나올 수 있다는 단점이 있다. 본 연구에 사용된 ALS 장비는 Optech의 ALTM 3070으로 반사강도 범위는 (0~5076)이다.

3. 반사각도 보정

3.1 반사각 보정 모델

빛은 물체에 부딪힐 때 입사된 각도에 따라 그 세기가 달라진다. 일반적인 물리학 법칙에서 살펴보면, 어떠한 물체에 θ 의 각도로 부딪힌 빛은 수직으로 부딪힌 빛에 비해 그 세기가 $\sin\theta$ 만큼 감소한다.<그림 2>

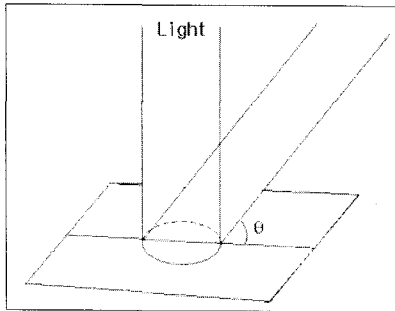


그림 2. θ 의 경사로 입사하는 빛

따라서 물체에 입사된 빛의 세기는,

$$L' = L \cdot \sin\theta \quad (1)$$

L' : θ 의 경사로 입사된 빛의 세기

L : 물체에 수직으로 입사된 빛의 세기

이에 따라 반사도를 보정하면,

$$I = \frac{R}{L} = \frac{R'}{L'} = \frac{R'}{L \cdot \sin\theta} \quad (2)$$

$$I = \frac{R'}{L} = \frac{L \cdot \sin\theta \cdot I}{L} = I \cdot \sin\theta \quad (3)$$

$$\therefore I = \frac{I}{\sin\theta} \quad (4)$$

I : 수직입사시 반사도

I : 측정된 반사도

R : 수직으로 반사된 빛의 세기

R' : θ 로 반사된 빛의 세기

반사각의 보정은 두 단계로 나누어 수행하였다. 1단계는 센서를 탑재한 항공기의 위치정보를 이용하여 측정점과 이루는 각에 대해 보정하는 것이다. 지표면의 경사는 배제한 채, ALS 장비의 스캔각과 항공기 위치 및 자세에 의한 각을 의미한다. 2단계는 앞 단계에서 제외하였던 지형 및 지상물의 경사를 고려하는 것이다. 지표 자체의 기복 또한 반사각에 큰 영향을 준다.

3.2 항공기 위치에 따른 보정

지형 및 지상물을 배제하고 지표면이 평평하다고 가정하여 측정시 항공기 센서의 위치와 각 측정점간에 이루는 각을 이용하였다. 항공기센서는 대상지역을 약 50% 중복 스캐닝하였고, 이에 따라 데이터를 각 비행경로별로 3부분으로 나누었다.

ALS 시스템은 레이저펄스를 센서의 직하부에 좌우로 주사한다. 본 연구에서는 항공기의 자세(orientation)정보에 의하여, ψ 와 κ 는 각각 $\pm 1^\circ$ 이하로 비행경로와 지표면은 수평이라고 가정하였다. 따라서 지표면의 측정점은 비행경로와 수직일 때 획득되었다고 할 수 있다. 단, 항공기의 위치정보가 재측점에 대해 존재하지 않으므로 경로별로 항공기 위치를 모델링 하였다. 비행경로는 UTM WGS84 좌표계 상에서 최소제곱법을 이용한 선형회귀분석으로 직선모델링 하였다.<표 1>

표 1. 비행경로 방정식

비행경로	방정식(WGS84 UTM 좌표계)
1	$X_1 = 0.82842697 Y_1 - 3031335.788$ $Z_1 = 1006.018$
2	$X_2 = 0.82690153 Y_2 - 3024700.150$ $Z_2 = 1009.294$
3	$X_3 = 0.80770295 Y_3 - 2946075.729$ $Z_3 = 1012.253$

각 측정점에서 비행경로 방정식에 내린 수선의 발이 데이터 취득 순간의 항공기 센서의 위치를 뜻하고, 수선의 발에 해당하는 점(센서의 위치)과 각 지표의 객체(측정점)간에 이루는 각 θ 이 구하고자 하는 반사각이 된다.<그림 3>

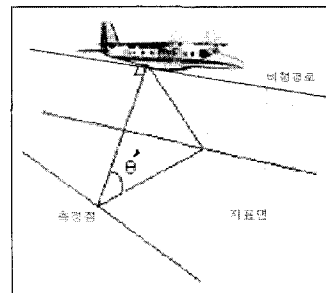


그림 3. 항공기 센서와 측정점이 이루는 각

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{|Z_s - Z_p|}{\sqrt{(X_s - X_p)^2 + (Y_s - Y_p)^2}} \right) \quad (5)$$

(X_s, Y_s, Z_s) : 측정 시 센서의 좌표

(X_p, Y_p, Z_p) : 측정된 점의 좌표

보정계수의 평균은 1.018이고, range는 1 ~ 1.065이다. 그림 4는 항공기 센서의 위치를 이용하여 보정한 반사강도 점데이터에서 TIN을 생성한 후, grid로 변환한 것이다.



그림 4. 센서경사각 보정한 반사강도 (좌로부터 비행경로 1, 2, 3)

3.3 지표경사각에 따른 보정

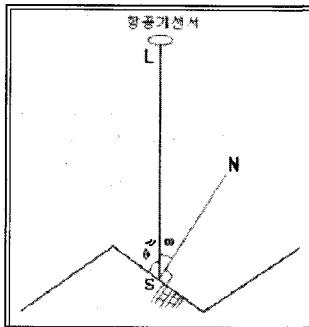


그림 5. 지표 경사와 센서와의 관계

그림 5는 지표 경사각과 항공기 센서가 이루는 각을 나타낸다. 경사도는 지표면의 법선(SN)과 지평면의 법선(SL)이 이루는 사잇각이므로 식(6)이 성립한다.

$$\theta'' = 90^\circ - w \quad (6)$$

보정은 $1/\sin\theta''$ 을 취함으로써 얻어진다.

지표의 경사각을 보정하기 위해 지형과 지상물을 모두 포함한 고도모형인 DSM을 이용한다. ALS 고도데이터에서 TIN을 생성하고, 다시 grid로 변환하여 DSM을 제작하였다. 평균 점 간격이 0.75m이므로 격자간격은 1m로 하였다. 반사강도 역시 동일한 과정으로 grid 변환하였다. 제작된 DSM으로부터 경사도(slope)를 구하여 보정계수를 산출하였다. 보정계수는 높은 건물, 수목의

경계에서 10 이상으로 매우 높고, 그 이외의 지역에서는 1.1~1.3 이었다. 그림 6은 지표경사각을 이용해 보정한 결과이다.

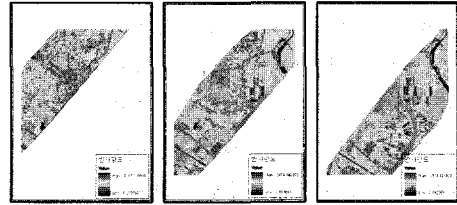


그림 6. 지표 경사각 보정한 반사강도 (좌로부터 비행경로 1, 2, 3)

4. 보정결과의 비교

그림 7은 물질에 따른 적외선영역대(0.9 μm)의 반사율을 보여준다. 본 연구에서 이용된 레이저의 파장은 1.064 μm 로서 0.9 μm 와는 다소 차이가 있으나 동일한 적외선 영역이므로 반사도 역시 유사할 것으로 보인다. 이를 토대로 분리도가 잘 형성되는 아스팔트(10%미만), 토양(20%), 콘크리트(35%), 수목(50%)의 4항목을 IKONOS 위성영상과 1:5,000 수치지도 상에서 확인하여 반사강도 레이어 상에서 추출하였다.

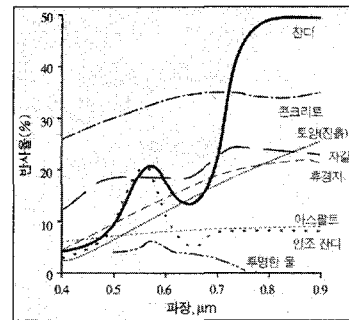


그림 7. 적외선 영역에서 도시 피복들의 파장별 반사율 (Jensen, 1989)

표 2는 센서경사각 보정 후 반사강도를 비교한 것이다. 반사강도는 보정 전과 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 항공레이저측량의 작은 순간시야각에 기인한다. 본 연구에서는 좌우 20°, 총 40°의 순간시야각이 결정되었다. 따라서 센서경사각은 반사각 보정에 큰 영향을 미치는 요인은 아니라고 볼 수 있다.

표 3은 지표경사각 보정 전후의 반사강도 값을 비교한 것이다. 특히 콘크리트와 수목 피복에서 변화가 매우 심하였다. 보정 전에

는 콘크리트와 수목영역이 휴경지역보다 작은 값을 가졌으나, 보정 후에는 전자가 후자보다 크거나 유사한 값을 갖는 것을 확인하였다. 수목은 4개의 피복형태 중 이론적으로 가장 큰 반사도를 보여야 하지만, 보정 전에는 두 번째로 낮은 반사도를 보였다. 그러나 보정 후에는 높은 반사도를 유지하였다. 이는 그림 7에서 살펴본 바와 같이 이론적인 반사도에 가까워졌음을 암시한다.

표 2. 센서경사각 보정한 반사강도

	비행경로 1			
	보정 전		보정 후	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.
아스팔트	35.716	6.406	36.609	6.556
휴경지 (토양)	91.326	12.545	94.279	12.593
콘크리트	96.698	13.056	97.001	12.909
수목	50.574	17.372	50.608	17.387
비행경로 2				
아스팔트	41.203	9.738	41.300	9.739
휴경지 (토양)	121.560	11.294	123.469	11.420
콘크리트	71.464	10.618	74.788	11.123
수목	61.871	25.257	62.112	25.377
비행경로 3				
아스팔트	40.807	23.676	42.572	24.727
휴경지 (토양)	94.364	8.713	95.484	8.953
콘크리트	77.063	14.431	77.477	14.478
수목	53.105	17.758	54.050	18.011

표 3. 지표 경사각 보정한 반사강도

	비행경로 1			
	보정 전		보정 후	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.
아스팔트	35.716	6.406	35.737	6.442
휴경지 (토양)	91.326	12.545	91.540	12.805
콘크리트	96.698	13.056	97.832	14.227

수목	50.574	17.372	98.381	49.619
비행경로 2				
아스팔트	41.203	9.738	41.435	9.886
휴경지 (토양)	121.560	11.294	121.947	11.487
콘크리트	71.464	10.618	103.952	53.424
수목	61.871	25.257	103.369	53.495
비행경로 3				
아스팔트	40.807	23.676	43.233	31.190
휴경지 (토양)	94.364	8.713	95.116	9.852
콘크리트	77.063	14.431	187.242	183.894
수목	53.105	17.758	123.507	66.108

그림 8은 보정이 완료된 각 비행경로별 반사강도 격자를 모자이크한 것이다.

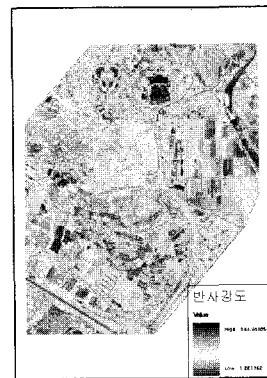


그림 8. 보정이 완료된 반사강도

5. 결 론

본 연구는 ALS 반사강도에 포함된 노이즈를 제거하기 위해 반사각을 이용하였다. 항공기 센서의 위치정보와 ALS 고도자료를 이용하여 반사각을 구하였으며, 이론적으로 반사강도의 분리 정도가 높게 형성될 것으로 추정되는 4가지 피복항목들에 대해 비교를 실시하였다.

아스팔트, 휴경지(토양) 항목에 비해 콘크리트, 수목 항목에서 반사강도가 더 증가하였다. 이것은 각 항목의 분리도가 더 향상된 것을 확인할 수 있고, 각 항목의 반사도에 대한 정량적인 비교는 힘들지만 그 크기에 따른 배열이 아스팔트<휴경지(토양)<콘크리트<수목의 이

른적인 반사도에 가까워졌다.

또한 저지대의 피복에 비해 경사와 고도가 높은 지역에서 반사강도의 분산이 더 크게 나타났다. 동일피복지역이 유사한 반사강도를 보이려면 분산이 감소해야하지만, 본 연구에서는 그 반대의 결과가 도출되었다. ALS 고도자료에는 건물이나 수목 등 경사가 급변하는 지상물의 경계에서 폐색지역이 존재하며, 이는 레이저펄스가 도달하지 못한 영역이다. 이 영역은 TIN 구성 시 불필요하게 높은 경사도를 가지게 되고, 보정 시 극값을 보여 분산증가의 원인이 된다. 향후 연구에서는 이러한 폐색지역을 제거하는 작업이 선결되어야 할 것이다.

차후 연구에서는 본 연구대상지역보다 넓은 지역과 다양한 피복상태 등을 고려하여 연구를 진행하려 한다. 따라서 본 연구의 제한적인 결과만으로는 ALS 반사강도의 보정에서 반사각에 의한 반사강도값의 변화를 엄밀하게 규명해낼 수 없었다. 하지만 반사각에 의한 반사강도의 저하가 발생하는 것을 확인하였고, 이를 보정하는 방법을 제안하였다.

참 고 문 헌

1. 김형태, 2000, "GIS 건물레이어 자동구축을 위한 LiDAR 데이터와 항공사진의 융합", 서울대학교 토목공학과 공학박사 학위논문
2. 한수희, 2002, "LiDAR 반사강도와 고도 자료를 이용한 토지피복 분류에 관한 연구", 서울대학교 지구환경시스템공학부 공학석사 학위논문
3. 미육군공병단, 2002, "LIDAR Manual : ch.11 Airborne LIDAR Topographic Surveying"
4. Baltsavias, E. P., 1999B, "Airborne laser scanning - basic relations and formulas", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 54, pp. 199-214
5. Jensen, John R., 채효석 외 6인공역(2002), "환경원격탐사", 시그마프레스 pp. 51
6. Maas, H. G., 2002, "On the use of pulse reflectance data for laser scanner strip adjustment", ISPRS Commission III, Work Group 3, Symposium 2002