

표준거리측정 시설을 이용한 지상라이다 성능 평가 Performance evaluation of Terrestrial Laser Scanner over Calibration Baseline

이인수¹⁾ · 이재원²⁾

Lee, InSu · Lee, Jae One

Abstract

This study deals with the measurement of reflectivity as well as the distance accuracy with Terrestrial Laser Scanner(TLS) using time of flight methods and near infrared wave length , for a variety of user-made targets. Especially, point clouds' reflection to several targets was measured with Gretag Macbeth i1 spectrophotometer in the office. And the distance accuracy in comparison to reference distance for TLS performance evaluation, was tested after scanning the user-made targets and measuring the inter-pillars distances over the precise EDM calibration baseline. The results of test was shown that except white resin objects, with approx. 10m and 170m inter-pillar distances, other targets achieved the distance accuracy of several millimeters(mm) with respect to standard distances.

Future work should be concentrate on a few parameters influencing on the distance accuracy such as atmospheric correction, instrument correction, the additive constant or zero/index correction, etc.

Keywords : Reflectivity, Distance accuracy, Terrestrial laser scanner, User-made targets

초 록

본 연구는 시간차방식(TOF: Time of flight)과 근적외선 파장대역(760-3000nm) 을 사용하는 지상라이다를 이용해서 다양한 사용자 타겟에 대해 반사도와 거리정확도를 테스트 하였다. 특별히 사용자 타겟에 대한 측정점의 반사도는 실내에서 독일 Gretag Macbeth사의 i1 분광광도계로 측정되었다. 그리고 지상라이다의 성능 평가를 위해 정밀 EDM 감기선장에서 지상라이다를 이용해서 타겟을 스캐닝 하여 기준표석간 이격거리를 측정하여 표준거리와 비교하였다. 테스트 결과로서, 약 10m 와 170m 기준표석간 이격거리에 설치된 흰색 수지 타겟을 제외하고, 실험에 이용된 다른 타겟들의 거리측정값은 기준거리와 수 mm 정확도 차이를 보였다. 향후 대기보정, 장비보정, 부가상수와 같이 거리정확도에 영향을 미치는 변수들에 대한 연구가 필요할 것으로 사료 된다.

핵심어 : 반사도, 거리정확도, 지상라이다, 사용자 타겟, 기준표석

1. 서 론

지상라이다는 문화재복원, 토목건설 및 플랜트 설계 도 제작 등에 이용되는 최신의 장비로 알려져 있으며 점차 그 사용영역이 증가하고 있는 추세로서 국내에서는 대부분 응용분야에 초점을 두고 연구가 진행되고 있다.

특히, 건물모델링에 대해서는 지상라이다와 디지털지상 사진측량을 결합하여 건축물의 모델링(사석재 등, 2004) 과 지상라이다를 이용한 건물의 정밀 모델링(이임평 등, 2004), 구조물의 변위 계측을 위한 지상라이다의 정밀도 분석(이홍민 등, 2004), 암반사면과 댐체의 특성 및 안정성 평가를 통한 모니터링 분야(김영경, 2005), 그리고

1) 정희원 · 대한지적공사 지적연구원 · 책임연구원(E-mail: ilee0614@yahoo.co.kr)

2) 교신저자 · 정희원 · 동아대학교 토목공학과 · 조교수(E-mail: leejo@dau.ac.kr)

지상의 건축물 경계추출 및 현황측량(이인수, 2006; 이인수 등, 2006), 그리고 문화재 분야에서 문화재 복원, 안전진단, 정밀실측, 보수보강, 데이터베이스 구축, 도면복구 및 동굴 문화재에도 활용되고 있으며, 골프장, 건설공사 등의 설계분야에서도 운영되고 있다.

그리고 본 연구에서 다루고자 하는 타깃의 반사도 특성과 관련된 연구에서, “반사강도 이미지”는 세기(intensity) 라고 알려져 있는 후방산란 신호(backscattered signals)로부터 생성된다고 하였다(Fröhlich 등, 2004; Wehr, 1999). 또 기존연구를 통해 재생산의 정확도와 반사 신호 강도사이에 뚜렷한 연관성이 있으며 거리, 입사각과 대상물 표면특성이 이것에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Gerthsen 등, 1993; Lichti 등 2002; Ingensand 등, 2003; Pfeifer 등, 2007; Vögtle 등, 2008; 이인수 등, 2009). 그리고 엄용대 등(2009)은 측량대상의 표면물질에 따라 반사량이 다르게 나타나고 표면반사율과 레이저파의 반사량은 비례한다고 하였다.

본 연구에서는 첫째, 지상라이다의 레이저 특성을 분석하기 위해 사용자 타깃 제작, 둘째, 상용 지상라이다로 다양한 타깃에 대한 레이저스캐닝을 통해 반사도 및 RGB 측정, 그리고 회색조값(greyscale level)의 측정, 셋째, 정밀거리측정시설에서 레이저스캐닝으로 유도한 거리관측값과 표준거리값의 성과를 비교·평가하였다.

2. 레이저 스캐닝과 분광광도계 원리

2.1 개요

‘레이저(LASER)’란 ‘Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation’의 각 단어 머리글자를 따서 조합한 합성어로서 우리말로 표현하면 ‘유도 방출 과정에 의한 빛의 증폭’이란 뜻이 된다. 일반적으로 레이저란 말은 레이저 빛을 발생하는 장치를 지칭하기도 한다. 레이저 빛은 유도 방출로 증폭된 빛이기 때문에 백열전구나 형광등, 그리고 태양빛에서 나오는 빛과는 다른 독특한 성질을 갖고 있다. 레이저의 특징으로 i) 단색성이 뛰어나며 ii) 위상이 고르고 간섭현상이 일어나기 쉬우며 iii) 퍼지지 않고 직진하며 집광성(集光性)이 좋고 iv) 에너지 밀도가 크다는 것이다.

‘빛(light)’은 넓은 의미로 가시광선대역 즉 적외선 레이저, 자외선 레이저 뿐만 아니라 X-선 레이저, 기타 등의 임의 주파수의 전자기 방사(electromagnetic radiation)를 가리킨다. 그림 1은 빛스펙트럼을 가리키는 것으로

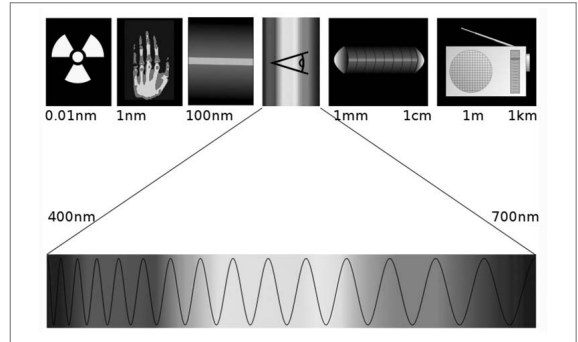


그림 1. 빛스펙트럼 대역

좌측부터 감마선(gamma rays), X-선(x-rays), 자외선(ultra-violet rays), 가시광선(visible spectrum), 적외선(infrared), 마이크로파(microwaves), 전파(radiowaves)의 파장을 가리키고 있다.

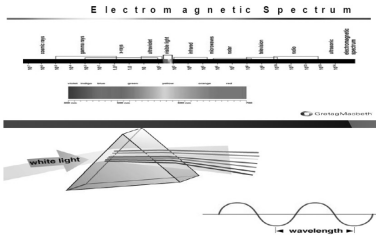
2.2 레이저스캐닝

‘레이저스캐닝(laser scanning)’은 레이저 ‘측점군(point clouds)’을 이용하여 사용자로 하여금 복잡한 대상물을 쉽게 이해하게 해주는 신기술이며, 반사경의 움직임(sweeping 또는 rotating)에 의한 레이저 빔의 편향(deflection), 대상물 표면에서의 레이저 빔의 반사(reflectance)와 반사된 레이저 빔의 수신(receiving)을 의미 한다(Schulz 등, 2004). 지상라이다는 공간정보를 취득하기 위해 레이저로 거리를 측정하고 X, Y, Z 좌표를 가지고 있는 다수의 측점군으로 구성된 3D 모형을 만들 수 있다.

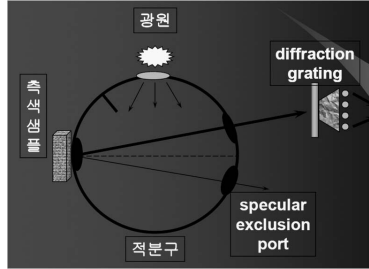
2.3 분광광도계 측정원리

타깃의 반사도와 RGB를 측정하기 위해서 ‘분광광도계(spectrophotometer) 또는 측색기’라고 불리는 특수한 장비를 이용하였다. 분광광도계는 사물에서 반사되어 나오는 빛의 성분 중 가시광선 영역을 측정해 수치로 만들어 주는 기기이다. 이 분광광도계를 도입한 이유는 첫째 색상판정의 객관적인 결과 도출, 둘째 칼라에 대한 객관적인 자료의 체계화 때문이다.

본 연구에서는 독일 Gretag Macbeth사에서 만든 i1제 품을 이용하였으며 그림 2(a)와 2(b)는 각각 분광광도계의 원리와 측정구조를, 그림 2(c)는 실내에서 분광광도계를 이용한 타깃의 반사도, RGB와 명도를 측정하는 모습을 나타내고 있다.



(a) 원리



(b) 구조



(c) 반사도 측정

그림 2. 분광광도계

여기서 반사율(도)의 데이터의 범위는 0~1로 표현되며, 1=100%, 0=0%의 반사도를 가리킨다. ‘반사율’은 대상물에서 반사된 조도(illumination)의 양이다. 반사도가 높다는 것은 해당 파장대에서 큰 반사가 일어나서 해당 파장 고유의 색상을 많이 함유하고 있다고 볼 수 있다.

그리고 ‘RGB’는 인간이 색을 느끼는 3차 극치값으로서 Red, Green, Blue를 의미하며 디지털 프로세스에서 사용되는 단위이다. RGB 측정은 분사된 빛이 샘플에 닿고 반사되어 나오는 빛을 파장대별로 읽어 들이는 센서가 반응하여 아날로그-디지털 변환장치(AD converter)를 거쳐 수치값으로 변환된다. 본 연구에서는 분광광도계로 얻은 RGB 값을 이용하여 회색조값으로의 변환을 위해 $Y=R \times 0.2125 + G \times 0.7254 + B \times 0.0721$ 식을 사용했다(PHP group). 단 이 식은 응용분야에 따라 RGB의 가중치가 달라질 수 있다. 그림 3은 물체에 따라 달라지는 파장대역별 반사도를 나타내고 있다. 그림 3의 빨간색 물체는 약 700nm에서 높은 반사율(80% 이상)을 가지고 있음을 알 수 있다.

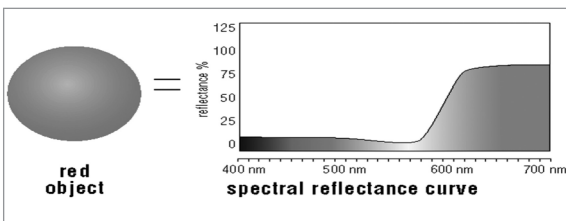


그림 3. 반사율 대 파장대역의 관계

3. 데이터 측정

3.1 반사도와 RGB

본 연구에서는 사용자 타깃 8개와 표준타깃 1개에 대한 반사도와 RGB 값을 분광광도계를 이용하여 측정하였다. 표 1에서 수지(흰색), 수지(검정색), 빼크판, 강철, 알루미늄, 합판의 6개(그룹 A) 타깃은 가로(25cm) × 세로(25cm), 그리고 그룹 B는 18% 회색차트(gray chart), 90% 흰색차트(white chart)는 가로(75cm) × 세로(75cm), 그리고 구(3DS sphere target kit, Trimble)는 지름(76.2 mm) × 높이(95.0 mm)이다.

여기서 A 그룹의 타깃은 사전에 반사율이 알려져 있지 않았지만 그룹 B의 경우는 일부 지상라이다 제조업체에서 규정하고 있는 거리측정에 사용하는 물체의 반사도인 90%(최대거리 측정)와 18% 반사도(최소측정거리)를 고려하여 제작하였으며 이것은 표준타깃의 측정성과 분광광도계의 측정성과를 비교함으로써 실험의 정확성을 기하고자 함이다.


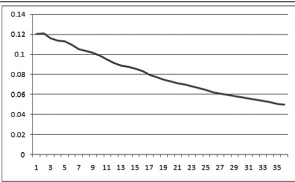
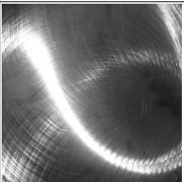
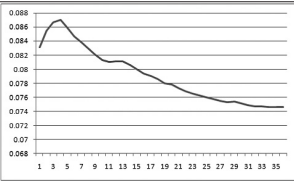
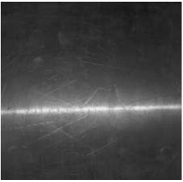
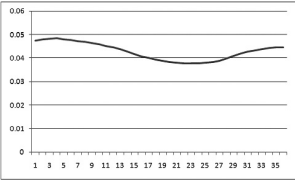

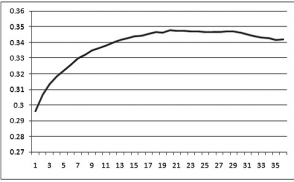
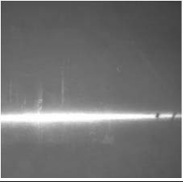
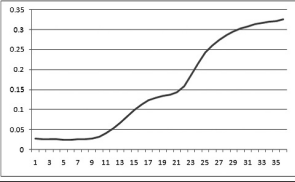
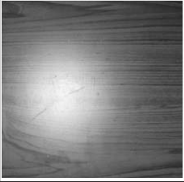
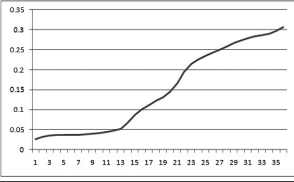

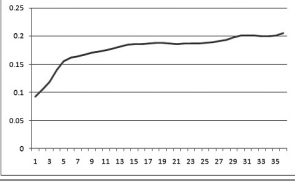

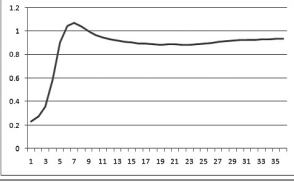

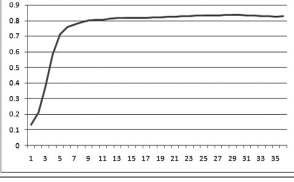
그리고 표 1은 사용자 타깃 사진과 반사도 분포를 나타낸 것이며 반사도분포 그래프는 각 타깃에 대해 36개 표본자료를 이용해서 도시된 것이다. 이 반사도는 가시광선대역의 분광광도계를 사용하므로 본 연구에서 사용한 근적외선 파장대역을 이용하는 지상라이다에 의한 값과는 서로 상이할 것으로 판단된다.

3.2 타깃 레이저스캐닝

그룹 A의 타깃 6개에 대한 레이저스캐닝을 통해 반사도 측정 및 기준표석 사이의 수평거리를 측정하였다. 그림 4는 사용자 타깃을 이용해서 현장에서 자료취득부터 데이터분석까지의 일련의 과정을 보여주고 있다.

지상라이다를 기준표석 위 고정형 아답터에 안정적으로 설치하고, 타깃을 순서대로 설치하여 레이저스캐닝 작업을 수행하였다. 먼저 기계설치점에서 기준표석까지

표 1. 분광광도계로 측정된 타깃의 반사도 분포

타깃종류	사진	반사도	타깃종류	사진	반사도
수지 (흰색)			강철		
수지 (검정색)			알루미늄		
폐크판			합판		
18% 회색조 차트			90% 흰색 차트		
(구) sphere					

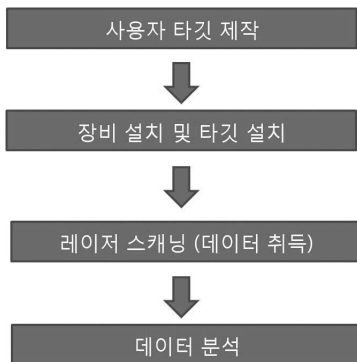


그림 4. 레이저스캐닝 작업 흐름도

였다. 레이저스캐닝은 타깃별 · 거리별로 1회씩 진행되었다. 본 실험의 장비는 Riegl사의 LMS-Z420i 제품으로 측정거리는 반사도 $\geq 80\%$ 자연 타깃: 1000m 및 반사도 $\geq 10\%$ 자연 타깃: 350m, 최소측정거리 2m, 정확도 10 mm@ 50m (1 σ), 레이저 파장은 근적외선(near infrared), 그리고 측정율은 진동거울을 이용한 저속스캐닝 시 11000 pts/sec 그리고 회전거울을 이용한 고속스캐닝 시

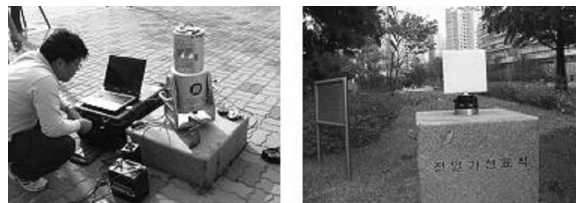


그림 5. 측정 장비 및 타깃 설치

의 거리에 따라 레이저스캐닝 시 수평/수직해상력은 각각 3mm(10m), 6mm(80m), 그리고 12mm(170m) 로 설정하

8000pts/sec가 된다(RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, 2010). 여기서 그림 5는 표석 위 고정형 아답터에 지상라이다와 타깃의 설치모습을 나타내고 있다.

4. 비교 분석

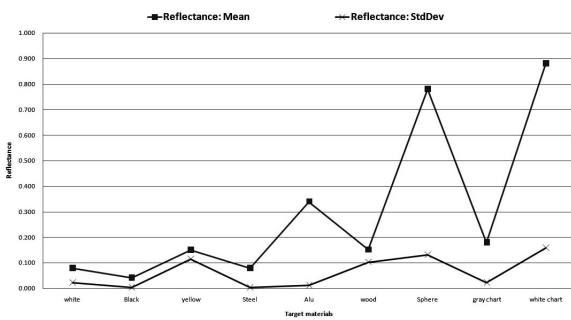
4.1 타깃 반사도, 명도와 회색조값

표 2에서 분광광도계를 이용하여 타깃별로 측정한 반사도의 평균 및 표준편차, 명도, RGB값 및 회색조값을

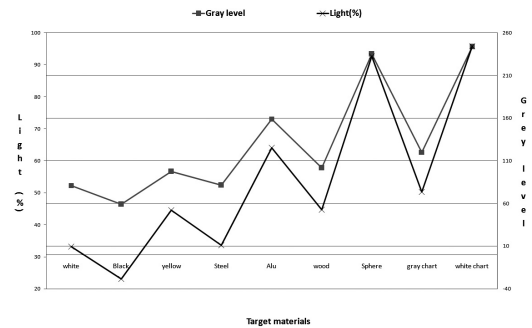
차례로 나타내었다. 반사도의 경우 90% 흰색차트(white chart) > 구 > 알루미늄 > 18% 회색조차트 > 목재 > 빼크판 > 강철 = 수지(흰색) > 수지(검정색) 순이다. 그리고 명도의 경우, 흰색차트 > 구 > 알루미늄 > 18% 회색조차트 > 목재 > 빼크판 > 강철 > 수지(흰색) > 수지(검정색) 순서로 높게 나타났다. 마지막으로 회색조값은 흰색차트 > 구 > 알루미늄 > 18% 회색조차트 > 목재 > 빼크판 > 강철 > 수지(흰색) > 수지(검정색) 순이다. 여기서 타깃의 반사도, 명도와 회색조값은 크기의 순서가 동일한 것

표 2. 분광광도계를 이용한 반사도, 명도, RGB와 회색조값

타깃	반사도	명도(%)	RGB	회색조값	타깃	반사도	명도(%)	RGB	회색조값
수지(흰색)	평균:0.079 표준편차:0.022	33.16	R:77 G:80 B:80	81.10	알루미늄	평균:0.340 표준편차:0.013	63.98	R:170 G:156 B:133	158.88
수지(검정색)	평균:0.041 표준편차:0.004	23.03	R:61 G:58 B:55	59.00	합판	평균:0.152 표준편차:0.103	44.62	R:147 G:93 B:39	101.51
빼크판	평균:0.151 표준편차:0.115	44.50	R:144 G:94 B:29	97.34	구	평균:0.780 표준편차:0.132	92.65	R:251 G:231 B:196	235.04
강철	평균:0.079 표준편차:0.004	33.61	R:87 G:83 B:75	81.21	18% 회색조차트	평균:0.180 표준편차:0.022	50.22	R:129 G:118 B:97	120.00
90% 흰색차트	평균:0.881 표준편차:0.159	95.79	R:255 G:239 B:220	243.42					



(a) 반사도



(b) 명도와 회색조

그림 6. 관측데이터 분석

으로 나타났다.

그림 6(a)는 독일 Gretag Macbeth사의 i1 분광광도계로

측정한 타깃의 반사도의 평균과 표준편차 분포를 나타낸 것이며, 그림 6(b)는 타깃별로 취득한 타깃별 명도와

회색조값을 비교한 것으로 그래프 x축의 첫 번째 흰색수지 타깃은 명도와 반사도가 가장 적게 나타나있고 마지막 90% 흰색차트가 가장 큰 값을 보여주고 있다.

4.2 거리측정값

4.2.1 레이저스캐닝 거리측정값

여기서 현장에서 지상라이다를 측정 7에 고정 설치하고, 타깃은 각각 측정 6, 측정 5 그리고 측정 4로 순서대로 이동하면서 기계로부터 타깃까지의 레이저스캐닝이 이루어졌다. 타깃에 대한 레이저스캐닝으로 얻은 측정값을 상용 S/W인 RiSCAN PRO (version 1.5. 1b6) 를 통해 기준표석간 이격거리를 측정하였다. 표 3은 타깃에 대한 레이저스캐닝 성과를 정리한 것으로 여기에는 기준표석간 거리측정값의 평균과 표준편차가 포함되어 있다. 여기서 구한 거리측정값의 평균과 표 4의 기준값을 비교함으로써 지상라이다의 거리측정 성능을 평가하였다.

표 3. 거리측정값

타깃 종류	10(m)		80(m)		170(m)	
	평균(m)	표준편차(m)	평균(m)	표준편차(m)	평균(m)	표준편차(m)
수지 (흰색)	10.30824	0.01054	79.68325	0.00898	170.86957	0.01114
수지 (검정색)	10.29391	0.00818	79.67768	0.00943	170.85797	0.01038
베크판	10.29458	0.00824	79.68015	0.00964	170.86261	0.01058
강철	10.29407	0.0907	79.67827	0.01033	170.85976	0.00998
알루미늄	10.28873	0.01134	79.67523	0.01015	170.85677	0.01126
합판	10.28891	0.00933	79.67701	0.01085	170.85502	0.01063

4.2.2 기준값

표 4는 국내 측량기기성능검사장의 검기선장 중 한 곳의 개개 기준표석간 거리측정값(측, 기준값)을 정리한 것이다. 본 연구에서 기준값은 레이저 스캐닝의 원시자료로 얻은 거리측정값과의 비교분석을 위해 도입된 것이다.

표 5는 그룹 A의 타깃에 대한 레이저 스캐닝을 통해

표 4. 기준값

측점	측점 6	측점 5	측점 4
측점 7	10.28488±0.00010(m)	79.67761±0.00005(m)	170.85703±0.00010(m)

표 5. 측정값 평균과 기준값의 차이

기준표석간 거리(m)	측정값 평균(m)	기준값(m)	측정값 평균(m)-기준값(m)
10m	10.2947	10.2849	0.0099
80m	79.6786	79.6776	0.0010
170m	170.8570	170.8570	0.0033

얻은 기준표석간 타깃별 거리측정값 평균에 대한 평균값과 기준값, 그리고 두 값의 차이를 정리한 것이다. 거리차를 보면 10m 거리에서 1cm 이하, 80m 거리에서 1mm, 그리고 170m에서 3mm 차이를 나타내고 있다. 특히 10m 거리에서 거리차이가 약 1cm 발생한 이유는 그룹 A의 타깃 가운데 흰색 수지타깃에 의한 기준표석간 거리측정값과 기준값의 차이가 0.02336m로 크게 나타났기 때문으로 판단된다. 그리고 흰색 수지타깃은 10m 뿐만 아니라, 80m와 170m 에서 각각 0.00564m와 0.01254m 로 다른 타깃에 비해 큰 차이를 나타내고 있는데 이것은 흰색 수지타깃의 내부가 반투명하여 레이저가 타깃의 표면에서 반사가 되는 것이 아니라 내부에서 반사되었기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 흰색 수지타깃을 제외한 다른 타깃의 경우 약 7.2mm 오차를 보여본 연구에서 제시된 장비의 사양인 10mm@50m 을 만족하는 것으로 나타났다.

4.2.3 상관성 분석

타깃의 반사도, 명도, 회색조값 및 거리사이의 속성사이의 관계를 알아보기 위해 상관성분석을 수행하였다. 엑셀(2007 버전)을 이용하여 상관성계수를 분석한 결과, 반사도 대 명도는 0.98, 반사도 대 회색조값 0.99, 그리고 명도 대 회색조 0.99로 상관성이 높은 것으로 나타났고, 거리 대 반사도, 거리 대 명도, 그리고 거리 대 회색조값의 경우 상관성은 높지 않지만 음의 상관관계를 표 6에서 볼 수 있다. 그러나 여기서 거리와 다른 변수사이의 상관관계수(-0.32 ~ -0.57)는 사용한 데이터 수가 너무 적으므로 거의 상관성이 없다고 할 수 있을 것으로 판단된다.

위에서 측정된 값들은 측정성과에 대해 다양한 요인,

표 6. 반사도, 명도, 회색조 및 거리사이의 상관성 분석

	반사도	명도	회색조 값	거리 (10m)	거리 (80m)	거리 (170m)
반사도	-	0.98	0.99	-0.52	-0.57	-0.37
명도	0.98	-	0.99	-0.49	-0.49	-0.32
회색조값	0.99	0.99	-	-0.47	-0.52	-0.33

특히 온도 및 기압 보정량을 사용하지 않았기 때문에 완전한 값이라고 할 수 없지만 기준값과 비교 시 양호한 결과라고 할 수 있다. 향후 지상라이다 성능평가의 신뢰성을 높이기 위해 기압 및 온도 등의 보정량, 그리고 지상라이다의 파장대역에 따른 성능평가에 관한 연구 등이 추가로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

5. 결 론

사용자 타깃에 대한 지상라이다 레이저스캐닝의 반사도, 명도 및 회색조값을 분석하여 취득한 거리측정값을 정밀거리측정시설의 기준표적사이의 기준값과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 타깃별로 측정한 반사도, 명도와 회색조값을 비교 분석한 결과 서로 높은 상관관계가 있음을 수치로 입증되었으며 그 크기는 90% 흰색차트 > 구 > 알루미늄 > 18% 회색조차트 > 목재 > 뽕크판 > 강철 = 수치(흰색) > 수치(검정색) 순으로 나타났다.
2. 타깃별 거리측정값 비교에서 수치(흰색) 타깃은 기준값과 비교할 때 10m, 80m, 그리고 170m에서 다른 타깃과 달리 큰 차이를 보여주었다. 이것은 수치(흰색) 타깃 자체가 반투명하여 레이저가 타깃의 바로 표면에서 반사되는 것이 아니라 타깃 내부에서 반사되었기 때문인 것으로 판단된다.
3. 반사도 대 거리, 반사도 대 명도, 반사도 대 회색조값은 서로 높은 상관성을 보인 반면, 거리 대 반사도, 거리 대 명도, 그리고 거리 대 회색조값의 경우 상관성은 높지 않았고 음의 상관관계를 보여주었다. 그러나 여기서 거리와 다른 변수사이의 상관계수(-0.32~-0.57)는 사용한 데이터 수가 너무 적으므로 거의 상관성이 없다고 할 수 있을 것이다.

향후 지상라이다 측정성능에 영향을 미치는 대기, 온도, 타깃상수 등에 대한 보정량 연구, 타깃상수 등에 대한 거리측정 비교 평가분석, 그리고 표준반사도를 가진 타깃을 이용한 거리측정 실험 등 그리고 표준반사도 타깃을 이용한 거리측정 실험등이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형 국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(과제번호07국토정보C02)에 의해 수행되었습니다. 그리고 본 연구의

실험측량에 협조를 주신 성균관대학교 윤홍식 교수님, 조재명 박사님에게 감사드립니다.

참고문헌

- 사석재, 이임평, 최윤수, 오의중 (2004), 지상LiDAR와 디지털지상사진측량을 융합한 건축물의 3차원 정밀모델링, 한국지적학회 학술대회 논문집, 한국지적학회, 2004년도 추계, 제주도, pp. 61~68.
- 이인수 (2007), 지상LiDAR를 이용한 건축물의 3차원 경계 추출, 한국GIS학회지, 제 15권, 제 1호, pp. 53~65.
- 이인수, 강상구 (2006), 지상LiDAR를 활용한 현황측량 연구, 한국지형공간정보학회지, 제 13권, 제 3호, pp. 79~86.
- 이인수, 김수정 (2006), 지적 TLS (Terrestrial Laser Scanning) 측량 연구, 대한지적공사 연구과제 연구 2006-07, 대한지적공사 지적연구원, pp. 1~125.
- 이인수, 차득기, 김수정, 김형무 (2009), 측점군을 이용한 지상라이다의 거리측정 성능평가, 2009 GIS 공동추계 학술대회 논문집, 한국공간정보시스템학회, pp. 354~355.
- 이임평, 최윤수, 사석재, 오의중 (2004), 지상 라이다를 이용한 건물의 정밀 모델링, 한국측량학회 04 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 491~500.
- 이흥민, 박효선 (2004), 구조물의 변위 계측을 위한 지상라이다의 정밀도 분석, 대한건축학회 학술발표 논문집, 대한건축학회, 제 24권 제 2호, pp. 207~210.
- Fröhlich, C. and Mettenleiter, M. (2004), Terrestrial Laser Scanning New Perspectives in 3D Surveying, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI--8/W2, Freiburg, Germany, pp. 7~13.
- Gerthsen, C. and Vogel, H. (1993), *Physik. 17, Verbesserte und erweiterte Auflage*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Ingensand, H., Ryf, A. and Schulz, T. (2003), Performances and Experiences in Terrestrial Laserscanning, *Proceedings of the 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques*, Zurich.
- Lichti, D. and Harvey, B. (2002), The effects of Reflecting Surface Material Properties on Time-of-Flight Laser Scanner Measurement, *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*, Ottawa.

- Pfeifer, N, Dorninger, P, Haring, A. And Fan, H. (2007), Investigating terrestrial laser scanning intensity data: Quality and functional relations, *In: 8th Conf. on 3D*, Zurich, Switzerland.
- PHP group, <http://php.net/manual/fr/function.imagecolors-forindex.php>, imagecolorsforindex
- RIEGL Laser Measurement Systems GmbH. (2010), <http://www.riegel.com>, Datasheet LMS-Z420i.
- Schulz, T. and Ingensand, H. (2004), Terrestrial Laser Scanning-Investigations and Applications for High Precision Scanning, *FIG Working Week 2004*, Athens, Greece, May. pp. 22-27.
- Voegtle, T, Schwab, I. and Landes, T. (2008), Influences of different materials on the measurements of a terrestrial laser scanner (TLS), *IAPRS 2008*, Beijing. http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/5_pdf/182.pdf.
- Wehr, A.(1999), 3D-Imaging Laser Scanner for Close Range Metrology.” *Proc. of SPIE*, Orlando, Florida, 6-9 April 1999, Vol. 3707, pp. 381~389.
-
- (접수일 2010. 04. 15, 심사일 2010. 05. 17, 심사완료일 2010. 06. 09)