

# 대상물 표면물질에 따른 3차원 레이저스캐닝 시스템의 반사특성분석

## The Reflected Property Analysis of 3D Laser Scanning System as Object Surface Materials

엄대용<sup>1)</sup> · 김지혜<sup>2)</sup>

Um, Dae Yong · Kim Ji Hye

### Abstract

Recently many kind of industry request 3D Modeling and visualize for object. So application of 3D laser scanning system is improved for 3D modeling and survey. But although application of scanner is steady improved, there are variety of caution error is contained in the result. There is request high quality survey for it is restricted by when field. To analysis what is consider major factor of reflect ratio about surface specification as ratio and characteristics accidental error. So this research use 3D laser scanning system what is adopted method of laser measurement for improvement accuracy 3D scan data. As a result we can check reflect volume will be improve as specification of survey object if it has high reflect ratio. It able to improve accuracy how laser scan data is revised by reflect volume.

Keywords : 3D Laser Scanning System, Surface Materials, Surface Reflect Ratio, Reflect property

### 초 록

최근 산업계를 비롯한 다양한 분야에서 대상물에 대한 3차원 측정과 형상화에 대한 요구가 급증함에 따라 측정 및 3차원 모델링을 위한 3차원 레이저스캐닝 시스템의 활용이 급증하고 있다. 그러나 3차원 레이저스캐닝 시스템의 역할 및 활용의 증가하고 있는데 반해 스캔에 의해 획득되는 결과에는 다양한 원인에 의한 오차가 포함됨으로 인하여 고정밀 측정이 요구되는 분야에서 활용에 부분적인 제약으로 작용하고 있다. 이에 본 연구에서는 레이저측정방식을 채용하고 있는 3차원 레이저스캐닝 시스템을 이용하여 오차발생의 가장 큰 요인으로 조사되고 있는 측정대상물 표면물질의 반사율에 따른 오차발생특성과 발생비율을 분석함으로써 3차원 스캔자료의 정확도 향상을 꾀하고자 하였다. 연구결과, 측정대상물의 표면물질에 따라 반사량이 다르게 나타남을 확인할 수 있었으며, 표면반사율과 레이저파의 반사량 사이에 비례관계가 성립되는 특성을 확인할 수 있었다.

핵심어 : 3차원 레이저스캐닝시스템, 표면물질, 표면반사도, 반사특성

## 1. 서 론

### 1.1 연구목적 및 필요성

최근 첨단산업으로 주목받고 있는 텔레메틱스(telematics), 위치정보서비스(location based service, LBS), 유비쿼터스(ubiquitous)등의 발전과 더불어 3차원 정보의 생성

과 활용에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 다양한 대상물들에 대한 3차원 형상정보를 재구성(reverse modeling)하는데 있어 자동 또는 반자동에 의한 고품질, 고정밀의 폴리곤 및 곡면모델의 구축과 측정 및 처리시간을 단축할 수 있는 방안이 다각도로 모색되고 있다(박종식, 2008). 최근 들어 이러한 수요를 충족시키기 위한

1) 교신저자 · 정희원 · 충주대학교 토목공학과 조교수(E-mail:dyum@cju.ac.kr)

2) 충주대학교 토목공학과, 석사과정(E-mail:honny84@nate.com)

3차원 측정 장비들이 다수 개발되어 운용되고 있으며, 이들 중 3차원 레이저스캐닝시스템(3D laser scanning system)은 3차원 영상정보의 구축을 위해 가장 각광받는 방법으로 대두되고 있다(조성하, 2007).

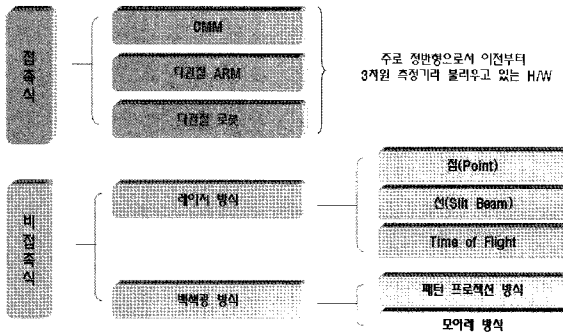


그림 1. 스캐너의 주사방식

이는 레이저파를 주사하여 접촉·비접촉 방식에 의해 대상물에 대한 3차원 좌표를 입력하는 방법으로 기존의 측정방법인 일점 측정방식을 탈피하여 관측대상물의 표면에 대하여 조밀한 간격의 점군데이터를 빠른 시간내에 처리할 수 있는 기능을 보유하고 있어 많은 사용자들의 요구를 충족시키고 있다. 또한 대상물의 형태를 직관적으로 취득함으로써 DTM/DSM생성, 도시 및 건물 모델링, 대상물 복원 등 다양한 분야에서 절대적인 좌표개념을 부여한 3차원 자료를 지원하는 신개념의 측정기법으로서 최근 3차원 GIS분석을 위한 자료획득 수단으로서 그 효용성을 인정받고 있다(이홍민 등, 2004; 이상학, 2002). 이 기법은 단시간내에 대상물에 대한 3차원 영상화 작업을 효율적으로 수행할 수 있다는 장점을 가진다. 그러나 이 측정 장비에서 채용하고 있는 파원은 대상물의 표면물질에 따라 반사특성이 다르게 나타나 스캐닝 자료에 노이즈가 발생하게 되고 이를 제거하기 위한 후속작업을 요하게 됨은 물론 대상물에 따라 오차를 발생시키는 문제점을 안고 있다(김응규, 1996;이경연, 2009). 따라서 정밀한 계측을 요하는 분야에서의 활용을 위해서는 대상물의 표면물질별 반사도에 따른 레이저파의 반사특성을 규명하고 반사에 의한 오차발생량을 정확히 파악하는 것이 중요한 요소가 되고 있다. 이에 본 연구에서는 3차원 스캐닝자료의 획득과 활용에 있어 측정 정확도에 영향을 미치는 노이즈의 특성을 분석하기 위해 다양한 표면물질로 이루어진 시험체를 3차원 스캐닝하

고 이들의 표면물질별 반사특성을 분석하였다. 그리고 표면물질이 가지는 고유반사도와의 상관성을 도출함으로써 3차원 스캐닝 측정기법의 정확도 향상을 피하고자 하였다.

## 1.2 연구내용 및 방법

3차원 레이저스캐닝 시스템의 레이저파는 접촉면의 표면물질에 따라 다양한 반사특성을 나타내게 된다(이인수 등, 2008). 이러한 반사특성에 따른 측정정확도의 저하 및 측정 자료의 오류(노이즈)양상을 파악하기 위해 지형·비지형 대상물이 가지는 표면물질을 파악하고 이를 실험을 위한 대상물질(콘크리트, 종이, 목재, 철재, 플라스틱, 유리, 석재, 흙 등)로 선정하였다. 그리고 재질을 정확히 표현할 수 있도록 시험체를 각각 제작하여 비접촉식 3차원 스캐닝 측정방법을 이용하고 있는 VIVID910 System을 활용하여 시험체 표면에 대한 3차원 스캐닝을 실시하였다. 각 시험체에 대한 스캐닝 자료를 처리하여 자료에 발생한 노이즈의 양상을 파악하고 이에 따른 측정 정확도의 저하정도를 분석하였다. 그리고 분석 자료를 근거로 하여 대상물의 표면물질에 따른 스캐닝 자료의 노이즈발생량과 고유반사도와의 상관관계를 규명하였다.

## 2. 레이저 측정방식

3차원 레이저스캐닝 시스템은 정밀하고 빠르게 물체의 3차원 형상을 측량할 수 있는 체계다. 기본적으로 종전의 레이저 측량기의 기능을 갖고 있으며, 초당 최대 5,000점까지 레이저를 대상체 표면에 발사하여 대상체 표면의 공간위치정보(x, y, z)를 갖는 무수한 관측점군(point-cloud)으로서 표현하게 된다(Staiger.R, 2005). 3차원 레이저스캐닝 시스템의 대상체면에 투사한 레이저의 간섭이나 반사를 이용하여 대상체면상의 관측점의 공간정보를 취득하는 관측방식으로서, 3차원 정밀 측량은 대상체의 표면으로부터 상대적인 3차원(X, Y, Z) 지형공간좌표를 각각의 점 자료(point data)로 기록한다. 관측방법에 따라 일정량의 굴절각 증분을 주기 위해 하나 또는 두 개의 거울(mirror)을 사용하거나 장비 전체가 회전하여 3차원 지형공간좌표를 얻는다. 이와 함께 디지털 카메라를 이용하여 스캐닝과 동시에 디지털 영상 또한 확보하여 3차원 모형의 구축시 텍스처링 자료로 활용이 가능하여 3차원 공간 정보 구축에 큰 편리성을 나타낸다.

지상 LiDAR 측량을 해석하는 방법으로는 광삼각법과 주행시간법 등이 있다. 광삼각법(triangulation method)은 간단한 삼각법원리를 이용한 방법이며, 레이저가 점이나 선으로 대상 물체 표면에 투영되는 것으로 하나 또는 그 이상의 광전소자(CCD: Charge Coupled Device) 카메라로 물체의 위치를 기록한다. 레이저 빔의 각도는 스캐너가 내부적으로 기록하고, 고정된 기선길이로부터 기하학적으로 대상 물체와 장비의 거리가 결정되는 정밀한 측량 방법으로서, 특히 가까운 거리에서의 정밀도가 높다.

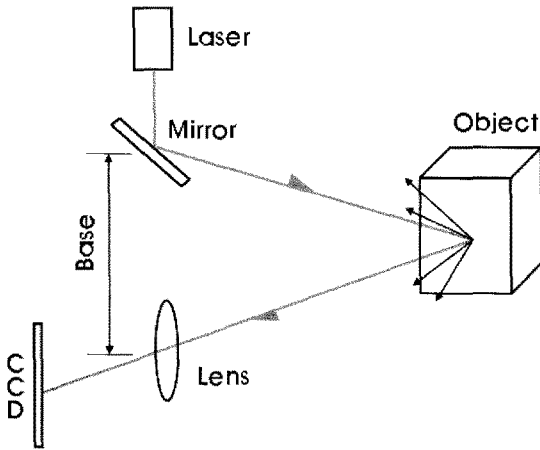


그림 2. 광삼각법(triangulation method)

정확도는 스캐너의 기선길이나 물체와의 거리에 의존하며, 정밀도가 높은 반면에 시간이 오래 걸린다는 것과 실물에 주사된 레이저가 CCD 카메라로 구분이 가능해야 하므로 직사광선이 있는 곳에서는 자료의 오류가 많이 발생한다. 그러므로 보다 좋은 자료를 얻기 위해서는 야간에 측량해야 하는 불편함을 가지고 있다. 레이저 스캐너 내부에서의 관측각을 사용하여 기지점을 근거로 미지점의 위치를 개별적으로 구하는 방법으로서, 주로 전방교선법(intersection)이 적용된다. 즉, 기지점에 의해 인식된 임의의 기계좌표에 기기를 설치하여 미지점의 방향을 관측한 후 그들 방향선의 교점으로서 미지점의 위치를 결정하게 된다.

주행시간관측방법(TOF:Time-Of-Flight)은 Ranging으로도 불리며, 레이저가 반사되어 돌아오는 시간을 계산하여 거리를 결정하고 각도만큼 수평, 수직으로 회전하여 관측한 점 위치를 결정하는 방법이다. 이 방법은 삼각법에 비하여 정밀도가 떨어지므로 먼 거리 관측에 주로 사

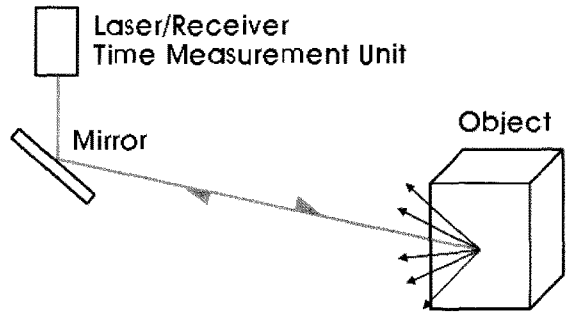


그림 3. 주행시간법(TOF method)

용하는 방법이다. 최근에는 사용의 편리성은 물론 정확도도 확보가 되는 주행시간법이 주로 사용되어지고 있다(이재원 등, 2007).

### 3. 레이저 스캐너 자료획득

#### 3.1 시험샘플선정 및 제작

대상물의 표면물질에 따른 레이저스캐너의 반사특성을 분석하기 위해서는 다양한 반사특성을 나타낼 수 있으면서 일반적인 대상물의 표면재료로 이용되는 재료를 선정해야 한다. 본 연구에서는 시험체의 표면재료로서 콘크리트, 종이, 나무, 철판, 플라스틱(아크릴판), 유리, 대리석, 흙(점토) 등 8가지의 재료를 이용하였다. 그리고 각 재료에 대하여 30cm×30cm 크기의 시험체를 판형으로 제작하였으며, 각 시험체의 표면은 최대한 평면을 유지할 수 있도록 하였다. 또한, 시험체 표면에 포함될 수 있는 수분은 레이저파를 흡수함으로써 스캔자료가 입력되지 않아 반사도의 측정에 지대한 영향을 미치게 됨으로 이들 영향을 배제하기 위하여 시험체의 표면은 완전히 건조된 상태를 유지할 수 있도록 하였다. 표 1은 본 연구를 위해 제작한 시험체의 종류와 제원을 정리한 것이다.

#### 3.2 레이저스캐닝에 의한 자료획득

표면물질에 따라 준비된 시험체들에 대하여 Minolta사의 VIVID910 시스템(그림 4)(표 2)을 이용하여 시험체 표면에 대한 스캐닝 자료를 각각 획득하였다.

시험체의 표면은 매끄러운 평면형상으로 제작되었으므로 표면물질별 반사특성에 의해 발생하는 오차의 크기는 미소하게 나타내게 된다. 따라서 이를 고려한 정밀한 측정이 이루어지도록 유도하기 위하여 시험체와 스

표 1. Specification of Samples









시험체명	재료	사 진	시험체크기	비 고
Sample 1 (S1)	콘크리트		30cm × 30cm	시멘트와 모래의 혼합
Sample 2 (S2)	종이		30cm × 30cm	표면광택처리 하드보드지
Sample 3 (S3)	나무		30cm × 30cm	소나무송판
Sample 4 (S4)	철판		30cm × 30cm	2mm철판
Sample 5 (S5)	아크릴		30cm × 30cm	백색아크릴판
Sample 6 (S6)	유리		30cm × 30cm	투명유리
Sample 7 (S7)	대리석		30cm × 30cm	대리석재질 타일
Sample 8 (S8)	점토		30cm × 30cm	찰흙

표 2. Specification (VIVID910 System)

항 목	내 용
제품 유형	비접촉 3차원 디지털저 VIVID 910
측정 방식	삼각측량 광절단 방식
오토 포커스	이미지곡면 오토포커스(Contrast method) 액티브오토포커스
교환식렌즈 지원	TELE:초점거리 f=25mm, MIDDLE:초점거리 f=14mm, WIDE:초점거리 f=8mm
화상입력대상 설치거리	0.6~2.5m(WIDE 렌즈는 2m)
측정입력대상 스캔영역	0.6~1.2m
레이저클래스	클래스2(IEC 60825-1), 클래스1(FDA)
레이저스캔 방식	갈바노미러(Galvanometer mirror) 회전방식
x방향 입력 영역	111~463mm(TELE), 198~823mm(MIDDLE), 1359~1196(WIDE)
y방향 입력 영역	83~347mm(TELE), 148~618mm(MIDDLE), 1269~897mm(WIDE)
z방향 입력 영역	40~500mm(TELE), 70~800mm(MIDDLE), 110~750mm(WIDE/FINE MODE)
정확도	X: ±0.22mm, Y: ±0.16mm, Z: 기기준면에 대해 ±0.10mm(FINE MODE)
정밀도(Z, Typ)	±0.008mm(FINE MODE)
스캐닝 소요시간	0.3초(FAST MODE), 2.5초(FINE MODE), 0.5초(COLOR)
스캔조명환경	500lx이하, 일반사무환경
이미지	3차원자료: 8.64mm단위프레임을 34만화소급 CCD로 전환, 컬러자료: 3차원 자료와 동일 (회전 필터에 의한 색분해 방식)
출력 해상도	3차원자료: 640X480(FINE MODE), 320X240(FAST MODE) (3차원자료와 컬러데이터 포함)
뷰파인더	14.5cm LCD(320 X 240 화소)
출력인터페이스	SCSI II (DMA synchronous transfer)
전원	AC상용전원 100-240V(50-60Hz), 정격 0.6A(100V AC 입력시)
스캐너 크기	(WxHxD) 213mmX413mmX271mm

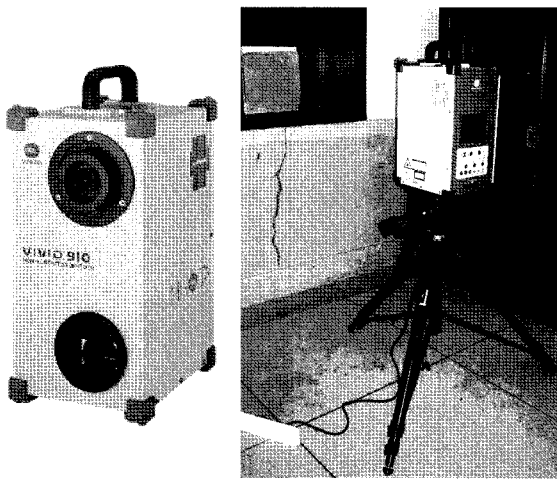


그림 4. VIVID910 System/실험광경

캐너와 직각이 되도록 조정하여 설치하였고, 측정 자료의 정밀도를 중시하는 측면에서 Fine Mode로 전환하여 작업을 수행하였다. 또한 삼각측량 광절단 방식을 채용하고 있는 레이저 스캐너의 경우에는 측정거리가 짧을 수록 높은 정확도를 제시함으로 본 실험에서 스캐너와 시험체간의 거리는 실질적으로 허용되는 최단측정거리인 약 1m를 유지하여 자료를 취득하였다. 그리고 실험 시 기타 광원에 의한 영향을 최소화할 수 있도록 최대한

기타 광원을 차단하였다. 이와 같은 설정에 의하여 각 시험체의 표면에 대하여 정밀 스캐닝을 실시하였으며, 각 시험체별로 약 16만점 정도의 측정값을 획득하였다. 취득된 자료는 Text와 ASCII파일 형태로 출력될 수 있도록 하였다.

### 3.3 시험샘플별 스캐닝자료 처리

스캐닝에 의해 취득한 원시자료는 스캐닝 자료의 처리 소프트웨어인 RapidForm 2004(그림 5)에서 import하여 모델링 작업을 수행하였다. 입력된 점군 자료는 오차의 분포 및 형상을 측정하기 위하여 볼륨 트라이앵글레이션(triangulation)방법에 의한 폴리곤(삼각) 메시(mesh)(그림 6)를 생성하였다. 메시의 생성과정에서 점간의 균일한 셀을 생성하기 위한 filter redundancy처리를

수행하였다. 그리고 발생한 노이즈의 처리를 위해 이용하는 filtering처리는 노이즈를 자동제거하게 되어 노이즈의 특성을 제거하게 됨으로 이 작업을 배제하였다. 그림 7은 각 시험체에 대하여 획득한 스캐닝 자료를 이용하여 표면을 재구성한 것이다.

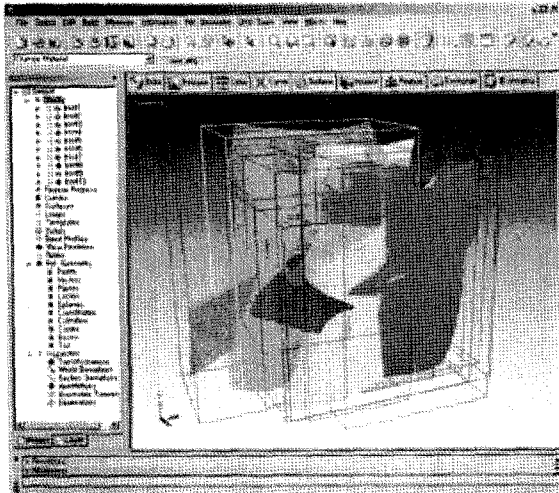


그림 5. RapidForm 2004 Software

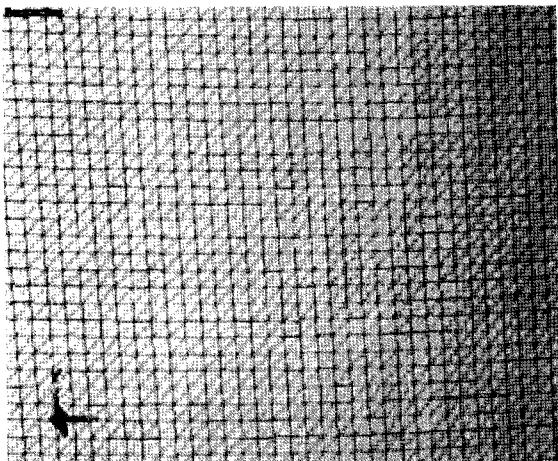
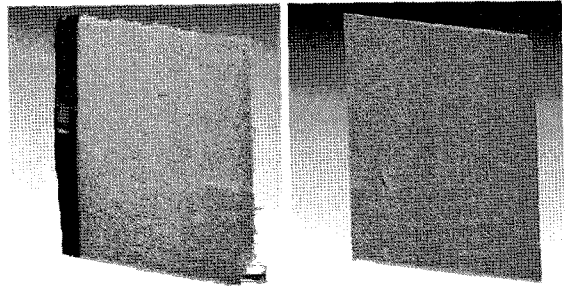
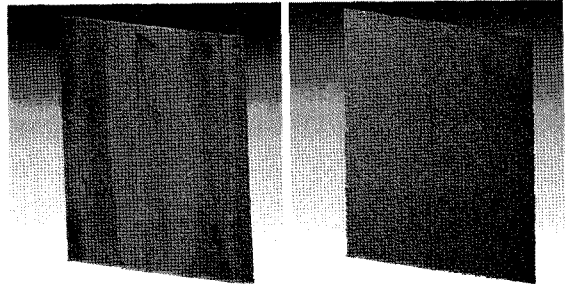


그림 6. 폴리곤(삼각) 메시(mesh) 샘플



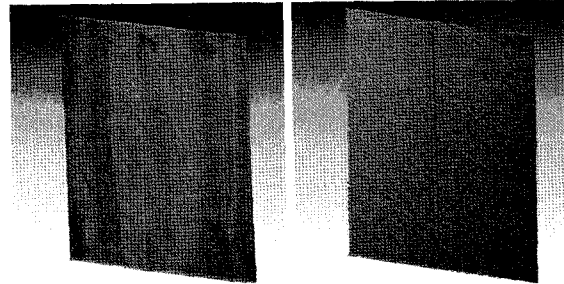
(a) Sample 1(콘크리트)

(b) Sample 2(종이)



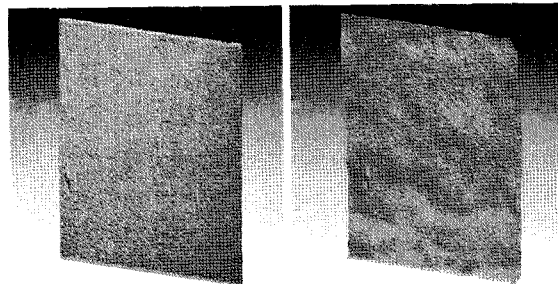
(c) Sample 3(나무)

(d) Sample 4(철판)



(e) Sample 5(아크릴)

(f) Sample 6(유리)



(g) Sample 7(대리석)

(h) Sample 8(점토)

그림 7. 시험체별 스캔자료(mesh)

#### 4. 대상물 표면물질별 반사특성 분석

3차원 스캐너는 기본적으로 광학계의 원리를 이용한다. 따라서 빛을 포함한 여러 종류의 복사파가 물체의 표면에서 반사될 경우, 표면을 구성하는 물질의 종류와 표면의 상태 그리고 입사파와 반사파의 조건에 따라 다른 반사특성을 나타내게 된다.

본 연구에서는 3차원 레이저스캐닝 시스템에서 채용하고 있는 레이저파가 대상물의 표면물질에 따라 어떠한 반사특성을 나타내는지 분석하고자 하였다. 분석을 위한 선행 작업을 통하여 각 시험체에 대하여 대략 16만점 이상의 측정군을 획득하였다. 그리고 이들 중 반사특성의 분석을 위한 측정점을 약 3mm의 간격을 유지할 수 있도록 하여 3mm×3mm 정방형상의 격자자료로 샘플링하여 일정간격의 측정군으로 재구성하였다. 분석 작업은 각 시험체별 측정군으로부터 반사변동량을 산출하여 레이저파의 반사에 의한 오차량과 양상을 분석하였으며, 이들 결과를 대상 시험체가 가지는 고유 반사도와 상호 비교함으로써 시험체의 표면물질이 가지는 고유반사도와 레이저파의 반사정도와의 상관관계를 도출하였다. 그리고 이들 분석결과를 바탕으로 표면물질에 따른 레이저파의 반사특성을 규명하고 이에 따라 발생할 수 있는 오차를 도출하였다.

우선 각 시험체별 레이저파의 반사정도를 측정하고 분석하기 위하여 스캐닝에 의해 취득한 3차원 좌표값으로 Z값(스캔방향)을 취하여 측정군의 분포양상을 관찰하였다. 그리고 관측값 중 과대오차를 제외한 최저값들의 평균을 표면으로 설정하고 분산 분포된 측정들로부터 측정값들의 변동폭을 산출하여 표면물질의 따른 반사량으로 간주하였다. 이 때, 콘크리트(S1)와 점토(S8)의 경우, 시험체의 제작과정에서 표면을 고르게 처리하지 못함으로 인해 발생하게 되는 레이저파의 반사량을 제외하여 처리하였다. 그림 8~그림 14는 스캐닝을 통해 획득한 각 시험체별 레이저파의 측정값(Z값)을 그래프로 도시한 것이다. 이 때, 그래프의 세로축의 측정값(Z값)은 스캐너가 가지는 좌표계에 의해 스캔방향이 역방향이 되므로 음의 값을 가지게 된다. 그리고 본 실험에 사용된 시험체들 중 6번(유리)시험체의 경우 레이저파가 유리를 투과하여 시험체의 받침대면을 스캔함으로써 유리표면에 대한 스캔자료의 획득이 불가능함에 따라 분석과정에서 제외하였다.

스캐닝에 의해 획득된 각 시험체별 자료를 분석한 결

과, 모든 시험체에서 레이저파의 반사에 의한 측정값의 불균일성을 발견할 수 있었으며, 동일 조건에 의해 스캐닝을 실시하였음에도 불구하고 시험체별로 반사량에 차이가 발생함을 확인할 수 있었다.

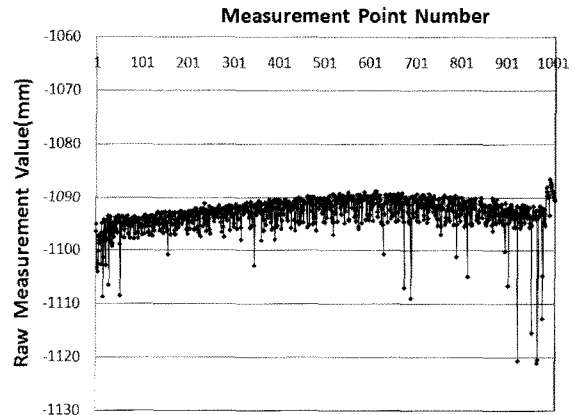


그림 8. Scanning Data(Z-direction)(S1: 콘크리트)

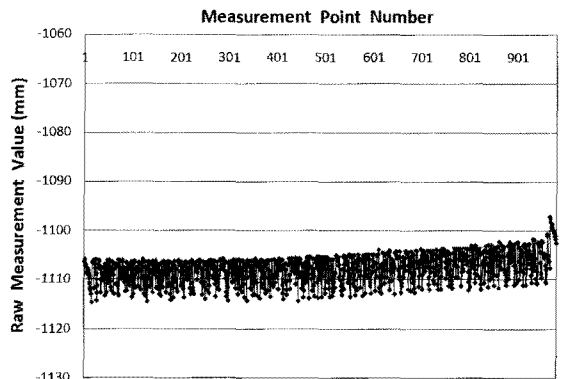


그림 9. Scanning Data(Z-direction)(S2: 종이)

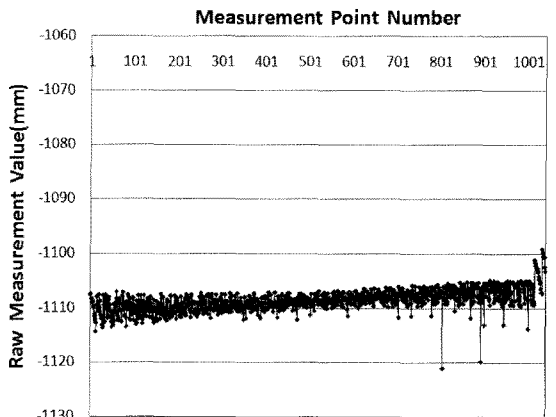


그림 10. Scanning Data(Z-direction)(S3: 나무)

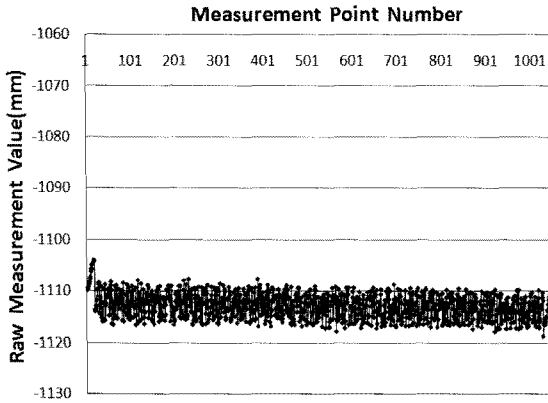


그림 11. Scanning Data(Z-direction)(S4:철판)

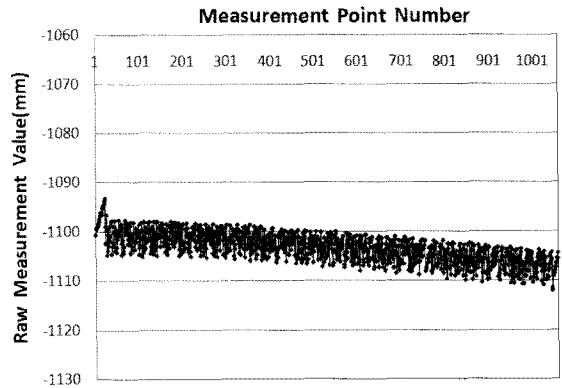


그림 13. Scanning Data(Z-direction)(S7:대리석)

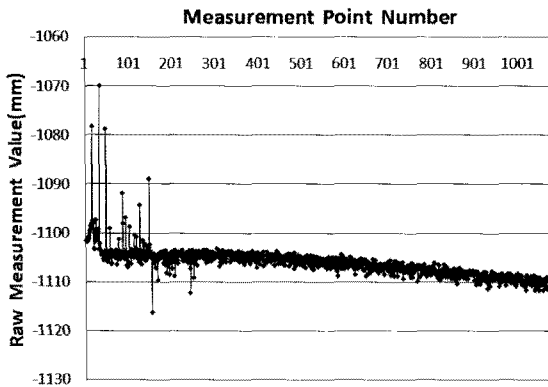


그림 12. Scanning Data(Z-direction)(S5:아크릴)

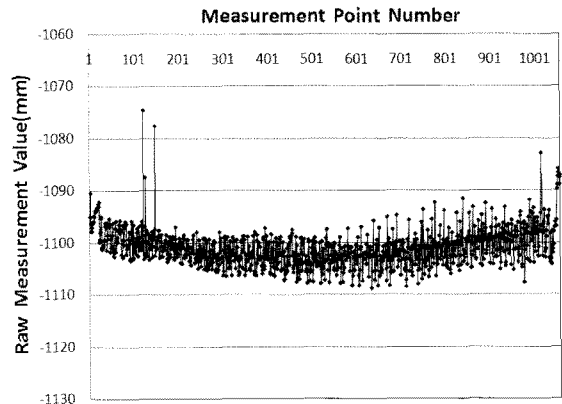


그림 14. Scanning Data(Z-direction)(S8:점토)

우선, 과대오차를 제외한 조건에서 종이(S2), 철판(S4), 대리석(S7), 점토(S8)의 시험체에서 반사량의 변동폭이 7mm 이상으로 상대적으로 크게 나타났으며, 나무(S3)와 아크릴(S5) 시험체는 5mm 이하로 상대적으로 반사량의 변동폭이 작게 나타났다. 그리고 종이(S2), 철판(S4), 대리석(S7) 시험체에서는 변동폭이 비교적 일정하게 나타난 반면 콘크리트(S1)와 점토(S8) 시험체는 변동폭이 일정하지 않았다. 이는 시험체의 제작과정에서 콘크리트와 점토 시험체의 표면처리가 완벽하지 못함으로 인해 발생한 것으로 판단된다. 그리고 콘크리트(S1), 아크릴(S5), 점토(S8)에서 과대오차의 발생빈도가 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 각 시험체에 대하여 획득한 스캔자료를 분석한 결과 시험체별로 다양한 반사량과 반사패턴을 발견할 수 있었다. 이러한 결과는 동일한 조건하에서 스캐닝 작업이 이루어진 점을 고려할 때, 시험체별로 다른 반사특성을 나타내는 현상은 각 시험체의

표면물질의 차이에서 기인한 것으로 판단된다. 표 3은 시험체의 표면물질별 반사량의 평균값을 산출한 것이며, 그림 15는 이를 도시한 것이다.

표 3. 표면물질별 반사량 산출결과 (단위:mm)

표면물질	반사량		
	최고값 평균값	최저값 평균값	변동폭 평균값
콘크리트	-1090.00	-1095.95	5.95
종이	-1104.92	-1113.38	8.44
나무	-1106.70	-1111.43	4.73
철판	-1108.77	-1116.66	7.89
아크릴	-1104.22	-1107.87	3.65
대리석	-1099.70	-1106.82	7.12
점토	-1098.69	-1106.07	7.38

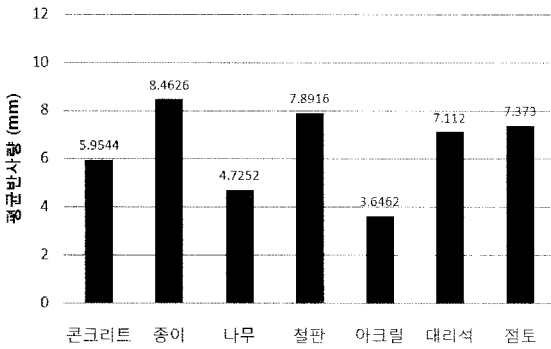


그림 15. 표면물질별 평균반사량

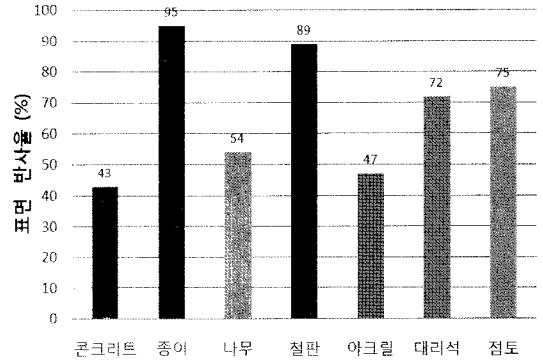


그림 16. 시험체별 표면 반사율(%)

표면물질별 평균반사량과 표면물질이 가지는 고유반사율과의 상관성을 규명하기 위하여 각 시험체에 대한 반사율을 측정하였다. 반사율(reflectivity)은 반사능(反射能)이라고도 하며, 반사광의 에너지와 입사광의 에너지의 비율을 말한다. 빛을 포함한 여러 종류의 복사파가 물체의 표면에서 반사하는 정도를 나타내는 것으로 주로 물질의 종류와 표면의 상태로 결정되며, 물질의 색채와 습도 그리고 입사파의 파장파도 관계가 있다. 여기서 반사율은 0.9 $\mu$ m 파장의 레이저에 대한 여러 물질의 반사 강도를 나타내는 것으로 본 연구에서 표면물질을 달리 하는 각 시험체에 대하여 반사율 측정기기인 반사율계(reflectometer)를 이용하여 표면의 반사율을 측정하였다(표 4, 그림 16).

으로 50~60%정도의 반사율을 나타내는 것으로 알려지고 있으나 본 실험에서 사용한 종이의 경우 표면이 광택 처리된 흰색 하드보드지를 이용함으로써 높은 반사율을 나타낸 것으로 판단된다.

반사율계에 의해 측정된 각 시험체별 반사율과 레이저파의 반사량 분석결과와의 상관성을 분석하였다. 두 자료간 상관성을 비교하기 위하여 반사율 값을 일반정수로 가정하고 이 값을 일괄적으로 10으로 나누어 반사량의 측정값과 유사한 범위로 재조정하여 동일한 그래프상에 도시하였다(그림 17). 따라서 그림 17의 상관성 그래프상의 두 자료간 편차는 의미를 가지지 않으며, 두 자료간 패턴의 유사성을 분석하는데 의미를 두어야 할 것이다.

표 4. 표면물질별 반사율/반사량 비교

시험체	표면물질	반사율(%)	반사량(mm)
S1	콘크리트	43	5.95
S2	종이	95	8.44
S3	나무	54	4.73
S4	철판	89	7.89
S5	아크릴	47	3.65
S7	대리석	72	7.12
S8	점토	75	7.38

본 실험에 사용된 시험체에 대한 반사율의 측정결과, 종이(S2)와 철판(S4)이 높은 반사율을 나타내었으며, 콘크리트(S1), 아크릴(S5), 나무(S3)가 비교적 낮은 반사율을 나타내었다. 측정결과는 일반적인 대상물질의 반사율과 유사한 결과를 나타내었으나, 종이의 경우 일반적

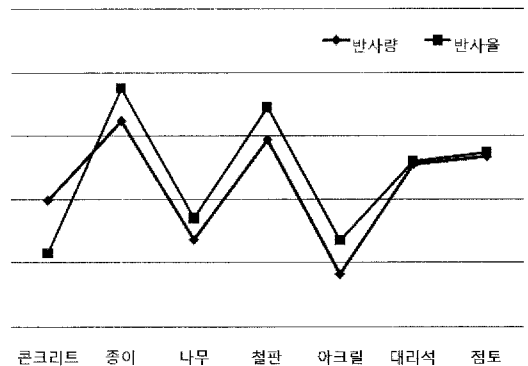


그림 17. 상관관계분석 I (경향분석)

분석 결과, 본 실험의 대상인 전체 시험체에서 반사율과 반사량이 매우 유사한 패턴을 보임을 알 수 있었다. 이는 3차원 레이저 스캐닝 시스템에서 채용하고 있는 레이저파의 표면물질별 반사량은 그 물질이 가지는 고유



한 반사율과 밀접한 관계를 가지고 있음을 의미한다. 그림 17에 나타난 표면물질별 고유반사율과 반사량과의 관계를 보다 명확히 표현하기 위하여 고유반사율의 값을 내림차순으로 정렬하여 반사율이 커짐에 따른 반사량의 변화를 도시하였다(그림 18).

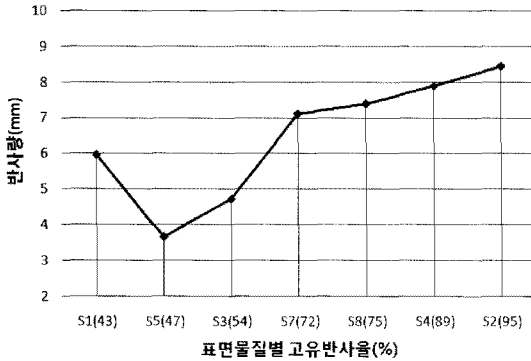


그림 18. 상관관계분석II(반사율&반사량)

그림 18에 나타난 바와 같이 콘크리트 시험체를 제외한 모든 시험체에서 표면물질에 따른 반사율과 반사량 사이에 비례관계가 성립함을 확인할 수 있었다. 이는 대상물 표면물질의 반사율이 높을수록 3차원 스캐너에 의한 스캐닝과정에서 레이저파의 반사로 인한 노이즈의 발생빈도와 발생량이 커지며, 상대적으로 반사율이 낮은 경우 레이저파의 반사에 의한 노이즈의 발생가능성이 낮아짐을 의미하는 것으로 해석이 가능할 것이다. 다만, 시험체 1번의 경우 5번, 3번 시험체에 비해 반사율은 낮은 반면 반사량은 높게 나타남으로써 상기한 분석결과와 상반되는 결과를 나타내고 있다. 이는 콘크리트 시험체의 제작과정에서 표면의 편평도가 떨어짐으로 인해 발생한 측정값들 중 과대오차에 해당하는 측정값만을 제외함으로써 실제 반사량으로 편입되어 있는 측정값들 중 편평도의 불량으로 인해 발생하였으나 제거되지 않은 측정값들이 상당수 존재함으로써 실제 반사량이 크게 분석된 것으로 판단된다. 1번 시험체의 표면을 완전한 평면 상태로 제작할 경우 편평도 불량으로 인한 오차요인을 배제할 수 있게 됨으로써 반사량은 상대적으로 적게 측정되어 반사율과 비례관계를 형성할 것으로 예측할 수 있을 것이다.

따라서 3차원 레이저스캐닝 시스템을 이용하여 대상물에 대한 측정점을 획득하는 경우, 표면물질의 반사율이 측정정확도를 좌우하는 매우 중요한 요인임을 확인

할 수 있었으며, 반사율에 따른 레이저파의 반사량을 측정하여 보정한다면 보다 정확한 측정값의 획득과 표면 표현이 가능해 질 수 있을 것으로 사료된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 3차원 레이저 스캐닝 시스템에서 채용하고 있는 레이저파의 측정대상물 표면물질에 따른 반사특성을 분석하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 스캐닝에 의해 획득된 각 시험체별 자료를 분석한 결과, 표면물질을 달리하는 모든 시험체에서 레이저파의 반사에 의한 측정값의 오류를 발견할 수 있었다.

둘째, 동일 조건에 의해 스캐닝을 실시하였음에도 불구하고 시험체별로 반사량에 차이가 발생함을 확인할 수 있었으며, 종이, 철판, 대리석, 점토 시험체에서 7mm 가 넘는 반사량을 나타내었다.

셋째, 반사율계를 이용하여 측정한 각 시험체별 반사율과 각각의 반사량 결과값과의 상관성을 분석한 결과, 전체 시험체에서 반사율과 반사량이 매우 유사한 패턴을 보임을 확인할 수 있었으며, 두 자료간에는 비례관계가 성립됨을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과는 3차원 GIS의 활용도가 증가하고 있는 상황에서 이를 실현하기 위한 기술인 3차원 스캐닝기법에 의한 VR(Virtual Reality)의 구현과 지형·비지형 대상물의 3차원 구축 및 모델링의 정확도 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대되며, 반사에 의해 발생하는 노이즈의 보정을 위한 자료로서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

“이 논문은 충주대학교 대학구조개혁지원사업비(교육인적자원부 지원)의 지원을 받아 수행한 연구임”

## 참고문헌

- 김응규 (1996), 레이저 스캐너 3차원 계측에 있어서의 오차 보정, 전자공학회는논문지-B, 전자공학회, 제 33권, 제 5호, pp. 950-957.
- 박세훈, 최득화, 한동업 (2009), 지상레이저스캐너를 이용한 담의 변위관측, 한국측량학회지, 한국측량학회,

- 제 27권, 제 1호, pp. 645-655.
- 박종식 (2008), 3차원 스캐너의 측정 조건을 고려한 3차원 형상 모델 획득에 관한 연구, 석사학위논문, 인제대학교, pp. 6-14.
- 이경연 (2009), 스캐너에서의 노이즈, 보간 오차 및 선택색 평가, 석사학위논문, 인하대학교.
- 이상학 (2002), 레이저 스캐너의 정확도 검증과 3차원 수치모형 생성, 석사학위논문, 충북대학교.
- 이인수, 차득기, 정래정, 정중연 (2008), 대상물 표면에 따른 지상라이다 성능비교 분석, 2008 춘계학술발표논문집, 한국측량학회, pp. 183-186.
- 이재원, 윤부열 (2007), 3차원 레이저 스캐닝을 이용한 터널의 천단 및 내공변위 관측, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제 15권, 제 2호, pp. 67-75.
- 이흥민, 박효선 (2004), 구조물의 변위 계측을 위한 지상라이다의 정밀도 분석, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 대한건축학회, 제 24권, 제 2호, pp. 207-210.
- 조성하 (2007), Laser Scanner를 사용한 토목 및 지반구조물의 역공학, 자연과 문명의 조화, 대한토목학회, Vol. 55, No. 1, pp. 97-99.
- Lichti, D. D. (2004), A Resolution Measure for Terrestrial Laser Scanners, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34, Part XXX.
- Staiger., R (2005), The Geometrical Quality of Terrestrial Laser Scanner (TLS), *FIG Working Week 2005 and GSDI-8*, Cairo Egypt April, pp. 16-21.

---

(접수일 2009. 5. 6, 심사일 2009. 6. 3, 심사완료일 2009. 6. 11)