

## 삼차원 스캐너를 이용한 구조물의 역설계 기법

### A Technology on Reverse Engineering of Structure Using 3D Scanner

양 인 태\*                      신 문 승\*\*                      아차르야 트리데브\*\*\*  
Yang, In-Tae                      Shin, Moon-Seung                      Acharya, Tri Dev

---

#### Abstract

Recent extreme weather events and natural disasters are causing rapid aging of the ancient structures with cultural value. It has threatened the safety and management. The construction design documents are not kept for such long time. Even if they are, they seem to be mismatched with the design structures due to corrosive effects. For these reasons, Korea has been facing difficulties in maintenance, reengineering and safety evaluation.

In this study, three dimensional point cloud surface of bobsleigh is obtained using 3D LiDAR scanner. The obtained structure is compared with the original design and found to be highly accurate. The study shows the application of reverse engineering technique and its potential use for other civil structures.

키워드 : 삼차원 스캐너, 역설계, 토탈스테이션  
Keywords : 3D Scanner, Reverse Engineering, Total Station

---

#### 1. 서론

최근 도심지가 노령화되고 있는 가운데 급격한 기상이변과 자연재해는 과거에 시공된 노후구조물의 부식을 가속화시킴에 따라 체계적인 안전관리가 필요한 실정이다. 또한 도심지 내 개발과정에서 공간적 제약으로 인해 기존 구조물의 재설계 및 리모델링의 사례가 증가하고 있다.

그러나 과거에 시공된 구조물의 설계내용이 현재 까지 보존되지 않거나 노후화로 인한 구조물 변형, 무분별한 구조변경 등으로 초기 설계내용과 일치하지 않는 경우가 많아 안전평가, 유지관리 및 재설

계 등에 어려움을 겪고 있다(Intae Yang, 2014).

따라서 최근 구조물의 현 상태를 다시 설계도면으로 만드는 역설계(Reverse Engineering) 기법이 부각되고 있다. 역설계란 현재 구조물의 상태를 측정하여 디지털화된 도면으로 다시 구축하여 관리하는 것을 의미하며 이용기법에 따라 3차원 지상 레이저 스캐너, 토탈스테이션, 근거리 사진측량기법 등으로 구분할 수 있다(Bitelli, 2004). 과거 인위적인 현장 정밀측정 기술을 이용하여 노후구조물의 변형 등을 관리, 기록하여 수리 및 복구 시 기초자료로 활용하였지만 3차원 지상레이저 스캔기술의 도입으로 짧은 시간 안에 높은 해상도의 3차원 영상정보를 획득 할 수 있을 뿐만 아니라 구조물 기하학적 정보를 쉽게 취득할 수 있게 되면서 구조물들의 관리에 많은 활용성이 예상되고 있다.

역설계는 기계, 디자인, 중공업 분야에서는 많이 진행되고 있으나 토목분야에서는 교량, 터널 등의 안전진단 및 유지관리에 제한적으로 적용되고 있

---

\* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사, 교신저자

\*\* 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\* 강원대학교 대학원 토목공학과 석박사통합과정

는 실정이다(이인수 등, 2007).

본 연구에서는 3차원 지상레이저 스캐너를 이용하여 볼슬레이 구조물의 3차원 점군 데이터를 취득하고, 취득된 데이터를 기반으로 대상물을 역설계하여 기본도면을 작성해 실제도면과의 정확도를 비교, 분석함으로써 역설계시 필요한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

## 2. 3차원 지상 레이저 스캐너와 역설계

### 2.1 3차원 지상 레이저 스캐너

빛을 반사하여 산란·반사광이 돌아오는 시간과 강도, 주파수 편이, 편광 상태의 변화 등으로부터 측정 대상물의 거리와 농도, 속도, 형상과 같은 물리적 성질을 측정하는 방법 및 장치를 광 레이더(optical radar)라 한다. 그러나 실제로 사용되는 빛은 레이저 빛이기 때문에 레이저 레이더(laser radar) 또는 LiDAR(Light Detection And Ranging) 시스템이라고 한다(안원태, 2005).

3차원 지상 레이저 스캔시스템은 이러한 레이저 펄스를 주사하여 반사된 레이저펄스의 도달시간을 측정함으로써 반사 지점의 공간 위치 좌표를 계산해내어 3차원 정보를 추출하는 측량기법이다. 3차원 지상 레이저 스캔시스템은 지상기준점측량 작업이 어려운 해안지역, 암사면 같은 접근 불가능 지역, 습지나 그림자 등에 의해 방해받는 산림지역에 3차원 데이터자료 획득에 유리한 장점이 있으며, 3차원 위치정보를 신속하고 정확하게 획득할 수 있는 장점 때문에 홍수의 예측, 산사태 모니터링, 산림관리, 해안선 모니터링 등 다양한 분야에서 적용되고 있다. 측량정확도에 있어서도 최적의 경우 수직위치정확도 15cm, 수평위치정확도 30cm를 보장하는 혁신적인 측량기법이다(김성학 등, 2008).

3차원 지상레이저 스캐너는 측량용 무 타깃 토달스테이션과 동일한 원리로 작동된다. 하지만 토달스테이션은 측정하고자 하는 특정한 점에 레이저 빔의 각도를 조정하여 그 점을 측정하는데 반해, 지상라이더는 1초당 1,000~10,000포인트 이상의 측정 속도를 가짐으로써 상대적으로 짧은 시간 안에 대상물체 표면에 수많은 관측점(point-cloud)으로 3차원 공간좌표를 기록한다. 그리고 스캐닝은 일정량 굴절각의 증분을 위하여 하나 또는 두개의 mirror를 사용하여 수행되기도 하며, 물체의 완전한 3차원 형체 측량을 위해서 회전하기도 한다. 또한, 물체에 투사된 레이저 포인트의 위치를 결정하는 것은 거리와 각이므로 각 측정의 높은 정밀도는 매우 중요하다. 이러한 특징들이 두 장비의 큰 차이점이라고 볼 수 있다.

3차원 지상레이저 스캔측량은 레이저를 발사하여 대상물에 반사되는 레이저가 스캐너에 도달할 때까지의 시간을 관측하고 그 값에 빛의 속도를

곱하여 거리를 계산하는 방식으로 삼각측량방식(triangulation method)과 시간차방식(time-of-flight method)로 나누어진다. 본 연구에서는 레이저를 대상물에 발사한 후 레이저가 반사되어 돌아오는 시간차를 계산하여 위치를 결정하는 시간차방식을 사용하였고 식 (1)과 그림 1은 시간차방식의 원리를 보여주고 있다.

$$\rho = \frac{1}{2} c \Delta t, \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \cos \beta \cos \alpha \\ \rho \cos \beta \sin \alpha \\ \rho \sin \beta \end{bmatrix} \text{----- (1)}$$

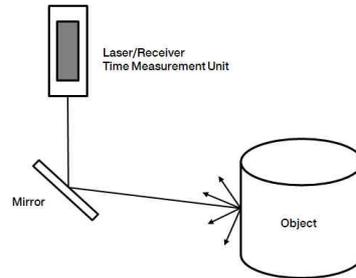


그림 1 시간차방식의 원리

여기서  $\rho$ 는 거리이며,  $c$ 는 빛의 속도,  $\Delta t$ 는 시간차이다. 구하고자하는 특정점의 좌표를  $x, y, z$ 라고 하면,  $\alpha$ 는 수평각,  $\beta$ 는 수직각이다.

### 2.2 역설계

역설계(reverse engineering)란, 기본적으로 순공학(engineering)과 반대적인 개념으로 역공학, 역분석 등으로 불린다. 일반적으로 설계데이터가 존재하지 않는 실물의 형상을 여러 가지 방법으로 활용하여 디지털화된 형상 정보를 획득하고 이를 기반으로 공학적 개념이나 형상모델을 추출해내는 과정을 말한다(정성혁 등, 2003). 다시 말해 일반적인 엔지니어링은 제품을 설계하고 그 설계도면에 따라 제품을 생산하는 반면 역설계는 완성된 제품을 기반으로 설계도면을 추출하는 것을 말한다. 역설계는 문화재, 자동차, 항공, 의료장비 뿐만 아니라 게임, 애니메이션, CAD분야에서도 폭넓게 이용되고 있다(김선규, 2008).

## 3. 연구 방법

### 3.1 연구흐름

본 연구는 설계도면이 존재하지 않거나 구조물 변형 및 구조변경 등으로 새로 설계도면을 제작할 필요가 있는 경우 3차원 지상레이저 스캐너를 이용하여 역설계를 통해 도면과 설계 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.



그림 2 연구의 흐름도

연구방법은 다음과 같다.

- 1단계, 스캔 대상 선정.
- 2단계, 스캔하는 위치에 따라 정밀도 향상을 위해 3차원 레이저 스캐너의 위치 선정.
- 3단계, 데이터 정합 시 정확도를 향상시키기 위해 타깃 위치 선정.
- 4단계, 좌표계 일치를 위해 타깃 기준점 GPS측량 실시.
- 5단계, 3차원 지상 레이저 스캔측량을 실시하여 이미지 및 3차원 위치정보 획득.
- 6단계, 역설계에 필요한 point를 autocad에 export하여 도면화 작업.

### 3.2 3차원 지상 레이저스캔 데이터 처리

본 연구를 위해 강원대학교 공과대학 3호관 뒷공터에 위치한 봅슬레이 구조물(8m×2m×2m)의 일부를 연구 대상으로 선정하였다. 최근 일 년 사이에 구조물이 완성되어져 대상물의 상태가 온전하고 설계도면이 존재함에 따라 비교 분석이 가능하여 연구대상물로 선정하였다.

여러 방향의 3차원 공간정보를 취득하기 위해 중복 스캔하여 하나의 좌표계로 통일하여 일원화를 수행하였다. 3차원 레이저 스캔측량은 총 3개 방향을 선택하였고, 스캔 정밀도는 스캔시간과 대상물과의 평균거리를 고려하여 5mm로 결정하였다.



그림 3 연구대상물

본 연구에 사용된 장비는 Topcon\_sokkia사의 GLS-1500모델을 사용하였으며, 소프트웨어는

ScanMaster, Cyclone 7.0, Autocad를 사용하였다. 3차원 지상레이저 스캔에 앞서 데이터정합을 위한 스캔방식을 선택해야하는데, 본 연구에서는 구조물 주변이 개방되어 있고 장애물이 없어 효과적으로 정합하기 위해 타깃방식을 선택하였다. 이는 스캔 시 매번 타깃을 스캔해야 한다는 단점이 있지만 정합과정에서의 작업효율을 높일 뿐만 아니라 정확도가 높은 방식이다. 타깃설치는 기계점에서 3점 이상 타깃이 중복스캔 되도록 해야 하기 때문에 3차원 레이저 스캐너와 타깃위치를 적절하게 설정하는 것이 중요하다.

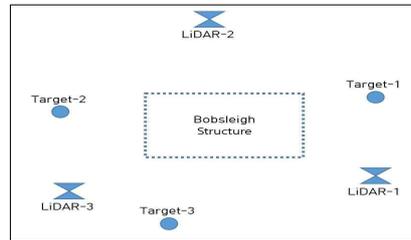


그림 4 스캔 및 타깃 위치

3차원 지상레이저 스캐너로부터 취득된 포인트 데이터는 기계를 원점으로 한 상대적인 위치 좌표를 가지고 있기 때문에 서로 다른 절대 좌표체계의 데이터와 융합하기 위해서는 절대 좌표체계에서의 변환이 필수적이다. 이에 타깃기준점에 대해 GPS측량을 실시하여 상대좌표를 가지는 3차원 레이저스캔 데이터를 절대좌표로 변환하였다. 여기서 좌표계는 TM(Transverse Mercator)으로 선정하고 좌표원점은 중부원점을 사용하였다. 표 1은 취득된 타깃점 좌표이다.

표 1 GPS측량을 통해 얻은 타깃점 좌표

Point	X	Y	Z
Target1	585784.452	265083.550	108.000
Target2	585779.487	265058.405	108.022
Target3	585772.127	265065.617	108.043

스캔정밀도는 스캔시간과 대상물과의 평균거리를 고려해 5mm로 일치시켜 데이터를 취득하였다. 이렇게 취득된 데이터는 각각의 기계점을 원점으로 하는 좌표를 가지고 있으므로 정합(registration) 작업을 통해 하나의 상대좌표계로 일치시켜야한다. 그림 5는 정합 전 데이터(좌)와 정합 후 데이터(우)를 나타낸다.

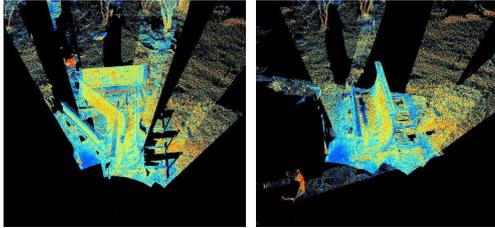


그림 5 데이터 정합

3차원 지상레이저 스캔데이터에 의해 취득된 포인트 데이터는 측정대상물 외에 불필요한 부분의 데이터와 환경의 영향으로 발생한 노이즈 데이터(불량점)가 포함되어 있다. 데이터의 노이즈를 각 원시자료들을 비교하면서 제거하는 작업을 수행하였다. 노이즈 처리를 해도 용량이 크기 때문에 필터링 처리를 추가로 수행하였다. 소프트웨어에서 자동으로 최적의 거리를 계산하고 삭제 처리하여 데이터의 용량을 1/3로 줄여서 사용하였다. 동시에 이미지맵핑 작업을 수행한 결과 다음 그림 6과 같이 RGB point cloud와 반사강도 이미지를 구축하였다.

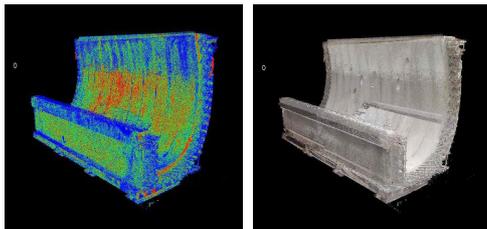


그림 6 구축된 3차원 데이터

### 3.3 역설계 도면 작성

원본 데이터에서 역설계 도면을 생성하기 위해 ScanMaster상에서 1m×1m의 정방형의 격자를 삽입하고 평행하게 투영하여 4개의 도면(정면도, 배면도, 철근, 횡단면도)을 생성, AutoCad로 export하여 각각 2차원 평면상의 선형화 작업을 실시하였다.

그림 7은 ScanMaster상에서 추출된 데이터이다.

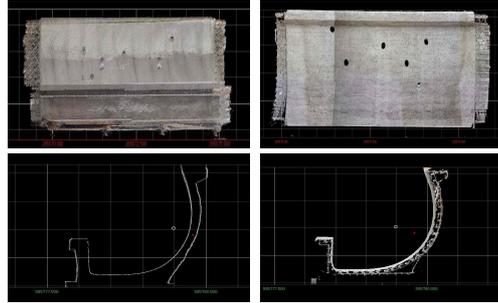


그림 7 ScanMaster 상의 데이터

autocad에서 point to point 작업으로 선형화된 line에 각각 치수선을 넣어줌으로서 현 상태의 구조물 그대로의 설계도면이 작성되었다. 다음 그림 8은 최초 원시도면(좌)과 보정 후 치수를 삽입한 도면(우)을 나타낸 것이다.

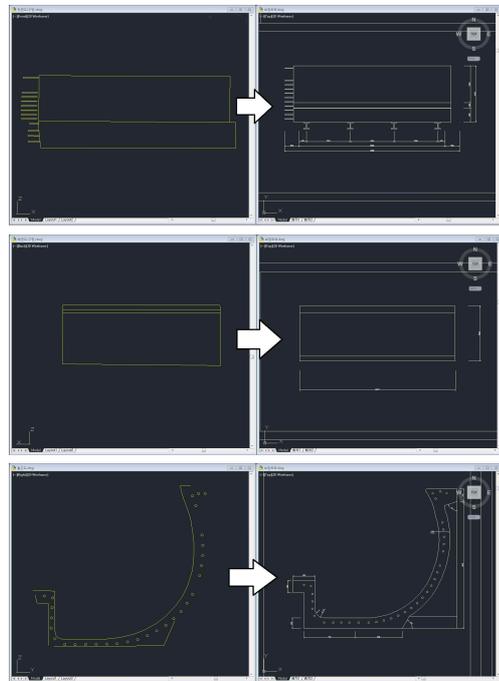


그림 8 최초 원시역설계도면(좌)와 보정 후 역설계 도면(우)

### 3.4 도면 비교 분석

역설계 도면과 비교 분석은 치수비교와 좌표비교 두 단계로 이루어진다. 치수비교대상은 2013년

표 2 설계도면과 역설계 도면과의 치수비교

(단위: m)

번호	설계도면	스캐너 데이터 역설계도면	오차	비고
(1)	1.500	1.503	+0.003	정면도
(2)	1.500	1.490	-0.010	정면도
(3)	1.500	1.493	-0.007	정면도
(4)	0.180	0.190	+0.010	정면도
(5)	1.300	1.290	-0.010	정면도
(6)	5.400	5.377	-0.023	배면도
(7)	1.985	1.982	-0.003	배면도
(8)	0.300	0.297	-0.003	철근, 횡단면도
(9)	0.180	0.184	+0.004	철근, 횡단면도
(10)	0.125	0.158	+0.033	철근, 횡단면도
(11)	0.505	0.495	-0.010	철근, 횡단면도
(12)	0	0.031	+0.031	철근, 횡단면도
(13)	1.350	1.317	-0.033	철근, 횡단면도
(14)	0.202	0.221	+0.019	철근, 횡단면도
(15)	0.150	0.147	-0.003	철근, 횡단면도
(16)	0	0	0	철근, 횡단면도
(17)	0	0.030	+0.030	철근, 횡단면도
(18)	0.180	0.150	-0.030	철근, 횡단면도
평균오차			0.01456	-
RMSE			±0.018753	-

표 3 역설계 데이터와 토탈스테이션 좌표비교

(단위: m)

번호	토탈스테이션 좌표			스캐너 데이터 역설계도면 좌표			오차		
	x	y	z	x	y	z	Δx	Δy	Δz
A	585779.611	265074.274	109.243	585779.622	265074.304	109.253	-0.011	-0.03	-0.01
B	585779.360	265074.293	109.248	585779.377	265074.284	109.238	-0.017	0.009	0.01
C	585779.332	265074.331	109.050	585779.341	265074.339	109.06	-0.009	-0.008	-0.01
D	585779.428	265074.284	108.487	585779.442	265074.295	108.492	-0.014	-0.011	-0.005
E	585781.489	265073.938	110.363	585781.471	265073.921	110.365	0.018	0.017	-0.002
F	585781.455	265073.847	110.518	585781.475	265073.877	110.527	-0.02	-0.03	-0.009
G	585781.060	265073.890	110.533	585781.08	265073.908	110.541	-0.02	-0.018	-0.008
H	585781.315	265074.184	110.059	585781.301	265074.166	110.047	0.014	0.018	0.012
I	585780.862	265073.942	108.479	585780.872	265073.963	108.493	-0.01	-0.021	-0.014
평균오차							-0.00767	-0.00822	-0.004
RMSE							0.015301	0.019562	0.00951

강원대학교 구조연구실에서 실제로 설계에 사용된 “복슬레이 트랙 설계도” 도면이다. 치수비교분석은 추출된 역설계도면과 실제 설계도면을 autocad프로그램에서 중첩하여 분석하였다. 다음 그림 9는 분석을 위해 매칭 시켜놓은 도면이다. 표시된 부분은 실제치수가 치수가 명확히 구분되는 곳으로써 비교분석이 되는 부분이다.

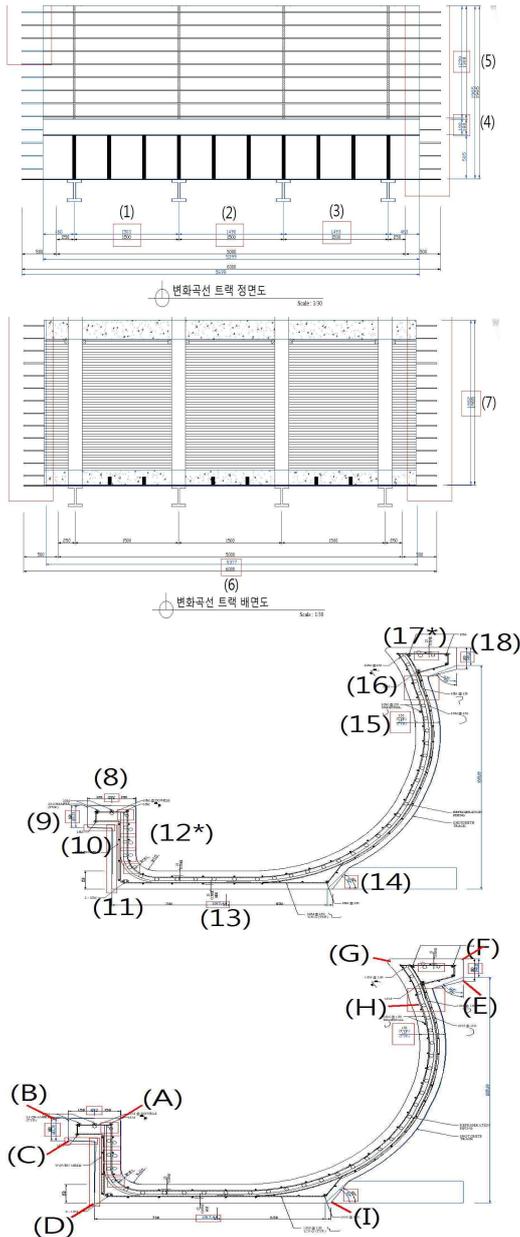


그림 9 역설계 도면과 실제도면과의 중첩

도면 매칭은 구조물의 모서리 지점을 기준으로 하였다. 그림 9의 괄호안의 숫자들은 도면의 치수 산정에 기준이 되는 부분을 선별하여 번호를 부여 하였다. 선별된 치수의 값은 정면도 5곳, 배면도 2곳, 철근도, 횡단면도 11곳이다. 또한 역설계 도면 좌표와 토달스테이션으로 취득된 좌표와의 비교분석을 위해 (A)부터 (I)까지의 위치를 선정하였다.

표 2는 설계도면과 역설계 도면과의 치수차이를 나타내었다. 정면도 5곳은 최대 -0.023m, 최소 +0.003m의 차이를 보였고, 배면도 2곳은 최대 -0.023m, 최소 -0.003m차이를 보였다. 철근도,횡단면도 11곳은 최대+0.033m, 최소0m 차이를 보였다. 총 18곳의 평균오차는 0.1456m로 분석되었고, RMSE는  $\pm 0.018753m$ 로 분석되었다.

표 3은 실제 무타깃 토달스테이션 좌표와 역설계 도면좌표와의 오차를 나타내었다. 최대 -0.03m에서 최소 -0.002m 차이를 보였고,  $\Delta x$ 의 RMSE는  $\pm 0.015301m$   $\Delta y$ 의 RMSE는  $\pm 0.019532m$   $\Delta z$ 의 RMSE는  $\pm 0.00951m$ 로 분석되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 3차원 지상레이저 스캐너를 이용하여 복슬레이 구조물의 3차원 점군 데이터를 취득하고, 취득된 데이터를 기반으로 대상물을 역설계하여 기본도면을 작성해 실제도면과의 정확도를 비교, 분석함으로써 역설계시 필요한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

1. 총 4가지의 역설계도면을 3차원 지상레이저 스캔을 통해 제작하였고, 실제설계도면과의 비교분석에 있어 단순치수비교에서 나타난 오차들은 1mm정도의 거의 일치하는 곳부터 큰 오차는 33mm까지 차이가 났으며, 평균오차는 0.01456m로 나타났고, RMSE는  $\pm 0.018753m$ 로 실제 도면과 상당부분 일치한 것으로 분석되었다.
2. 3차원 지상레이저 스캐너를 활용한 구조물측량은 기존의 다른 측량법보다 적은 인원으로 단기간에 필요한 데이터 취득과 처리가 가능하였다. 하지만 역설계 철근도면에서 철근과 와이어매쉬를 명확하게 구분하는데 많은 어려움이 있었다.
3. 3차원 지상레이저 스캐너가 접근하기 어려운 부분에 있어서는 데이터취득이 불가능하기 때문에 다른 측량장비를 이용하여 추가적인 point를 획득하는 방법을 연계하는 연구가 필요하다고 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김성학, 최승필, 양인태, “지상 LiDAR자료를 이용한 모형사면의 모니터링”, *한국지형공간정보학회 발표논문집*, pp.17~23, 2008.
- [2] 김선구, “3차원 스캐너를 활용한 문화재 실측 조사 사례보고”, *한국건축역사학회 춘계학술 발표대회 학술발표 자료 2010*, pp.17~23, 2008.
- [3] 이인수, 차득기, 김수정, “지상 레이저 스캐너를 이용한 경지정리지역의 지적 현황측량”, *대한토목학회논문집*, pp.233~239, 2007.
- [4] 정성혁, 유정흠, 손세원, 이재기, “근거리사진 측량과 레이저스캐너를 이용한 문화재 정밀 측정”, *한국지형공간정보학회*, pp.493~496, 2003.
- [5] 안원태, *한양 측량 시스템 3D Laser Scanning System 보고서*, 2005.
- [6] Bitelli G., Dubbini M., Zanutta A., “Terrestrial laser scanning and digital photogrammetry techniques to monitor landslide bodies”, *Proceedings of ISPRS, Istanbul*, pp.12~23, Luglio, 2004.
- [7] In-tae Yang, Keon Park, Moon-seung, Shin, “a study on reverse engineering of bobsleigh structure using terrestrial LiDAR”, *Organizing Committee of GISUP 2014 International*, pp.61-69.