

연구논문

# 3차원 레이저 스캐닝을 이용한 수치지형도 수정에 관한 연구

## Updating of Digital Map using 3D Laser Scanning

이용희\* · 문두열\*\* · 김가아\*\*\* · 박동일\*\*\*\*

Lee, Yong Hee · Moon, Doo Youl · Kim, Ka Ya · Park, Dong Il

### 要 旨

지도 제작이 갖는 의미는 그 나라의 측량 기술 수준을 대변한다는 것이다. 또 그 나라 사람들이 얼마만큼 세계 속에서 국제적 활동을 하고 있는지에 대한 목시적 표현 수단이라고 볼 수 있다. 현재 우리나라에서는 국가 기본도를 비롯하여 여러 축척의 수치지도가 제작되어있다. 그러나 현재의 수치지도는 항공사진측량 또는 위성영상을 이용하여 신규제작이나 수정·갱신이 이루어지고 있지만, 산업의 발달과 국가경계 성장으로 인하여 수시로 변화하는 지형, 지물에 대한 즉각적인 수정이나 갱신을 실시하기에는 많은 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 3차원 레이저 스캐닝(3D Laser Scanning)을 국부지역에 적용하여 실제 지형과 같은 3차원 공간좌표로 취득하여 수치지도 수정 갱신에 요구하는 측위 정확도 제시와 실험에 적용하여 사용자 편의를 제공하고자 한다.

**핵심용어** : 3차원 레이저 스캐닝, 수치지도

### Abstract

The import of cartography is spoke for surveying technique level of the country. Also, it is the implied expression means about international operations amount in the world of people in the country. Nowadays, various digital maps on a reduced scale were drawn in Korea including the topographic series of a nation. Though these digital maps are drawn and revised by using aerial photogrammetry or satellite image, there are some problems that it is difficult to revise or renew the topography and natural feature immediately which changes frequently. As the countermeasures of these problems we use 3D Laser Scanning accumbency method, which provides user with convenience and accumbency accuracy which is required to revise and renew digital maps.

**Keywords** : 3D Laser Scanning, Digital maps

## 1. 서 론

인간이 활동하기 시작한 이후 지도를 제작하고 실현하고자 하는 노력은 지금까지 계속되고 있다. 그래서 인간이 활동하기 시작한 이후 지도를 제작하고 실현하고자 하는 노력은 지금까지 계속되고 있다. 이를 위해 주위에 알려진 상대적인 지형·지물의 위치를 파악하여 자신의 위치를 짐작하기도 하고, 하늘의 별을 관측하여 고도 각도, 각, 시간 등을 구하기도 하였다. 이 후, 방향과 거리 측정이 가능해짐에 따라 자신의 현 위치를 지도에 표시하여 외부와 공유하여 실질적인 업무협조가 가능해짐에 따라

현대 사회에서 더욱더 필요하게 되었다. (유복모, 1994) 그러나 현대사회의 급속한 산업화와 인구증가로 인하여 도시가 점점 복잡해지고, 도로의 신설과 각종 구조물의 신축 등과 같이 급속히 확장되고 있다. 따라서 기존의 수치지도가 제작되어 있더라도 급변하는 지형지물의 변화를 수치화하기에는 역부족인 것이다. 하지만 이에 대한 관련 국소지역에 대한 수치지도 수정·갱신 방법으로 정확도가 높은 데이터 취득 방법 중 Total Station을 많이 활용하고 있다. 그러나 이러한 방법은 많은 시간과 인력을 필요로 하는 장비로 현장에서 많은 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 터널의 계측, 대형구조물의 변위 측

2008년 5월 1일 접수, 2008년 6월 9일 채택

\* 가야대학교 도시개발학과 교수 (yhlee0515@korea.com)

\*\* 교신저자·정회원·동의대학교 토목공학부 교수 (leejo@dau.ac.kr)

\*\*\* 동의대학교 도시공학과 교수 (kimgya@deu.ac.kr)

\*\*\*\* (주)드림티엔에스 대표 (dongil@dreamtns.com)

경, 각종 문화재측량 등에 이용되고 있는 3차원 레이저 스캐닝을 이용하여 수치지도 수정·갱신에 적용해보고자 한다.

## 2. 3차원 레이저 스캐닝 시스템

### 2.1. 3차원 레이저 스캐닝

3차원 레이저 스캐닝은 2차원 사진을 Scanning 하듯이 3차원의 사물을 컴퓨터 상에 X,Y,Z 값을 가진 점 데이터군(Point-cloud)으로 받아 들여 형상화 하는 방식으로서 반사 타깃 없이 지형, 지물 및 건축 및 토목 구조물의 3차원 좌표를 1초당 20,000~5,000포인트를 취득할 수 있는 기술이다. 또한 주어진 실물모형을 정밀하게 복제, 재현하여 이로부터 대상체의 공간상에 다양한 정보를 분석 및 해석하는 것을 형상 역공학(shape reverse engineering) 또는 역공학(reverse engineering)이라 부르는데, 전통적으로는 항공기 및 자동차 제작과정 등에서 카피밀링(copy milling)등 정밀 기계공학 분야에서 널리 사용되고 있다(lee,1999). 뿐만 아니라 토목 및 측량분야에 다양한 응용이 가능하고 기본적인 응용분야로서 교각, 댐, 건물, 대형 플랜트, 선박 등의 구조물 3차원 측정, 터널, 도로 사면 등의 변위측정, 건축 리모델링, 문화재 보존 및 복원 등의 3차원 측정, 자동차 사고 재구성, 변위 등의 3차원 측정, 등에 적용, 활용되고 있다. Scanning자료 취득은 비접촉식으로 레이저 등을 이용하여 대상물의 간접측정을 하는데, 접촉식 측량 장비에 비하여 우연 오차나 데이터 손실을 최소화 할 수 있다. 그리고 작업이 간단하여 빠르게 데이터 취득이 용이하며 각종 구조물 변형에 따른 도면 복구, 원형 복원, 안전 진단 등을 위한 실측 자료 요구에 능동적으로 대처할 수 있으며 기존의 접촉식 실측 자료 측정에 따른 단점을 보완 할 대안으로 평가되고 있다(www.RIEGL.com).

### 2.2 3차원 레이저 스캐닝 데이터 취득 방법

3차원 레이저 스캐닝은 상대적으로 짧은 시간 안에 대상물체 표면에 수많은 측정점군(point-cloud)으로 3차원 공간 좌표를 기록한다. 이를 완성하기 위해서는 물체 표면 위에 laser beam을 투사해야하고 이러한 scanning은 일정량 굴절각의 증분을 위하여 하나 또는 두개의 Rotating mirror를 사용하여 수행된다. 또한, 물체의 완전한 3차원 형체 측량을 위해서 회전하기도 한다. 물체에 투사된 Laser point의 위치를 결정하는 것은 거리와 각이므로 각 측정의 높은 정밀도는 매우 중요하다(Blais et al., 2000).

3차원 레이저 스캐닝 측정은 레이저를 발사하여 대상물에 반사되는 레이저가 스캐너에 도달할 때까지의 시간을

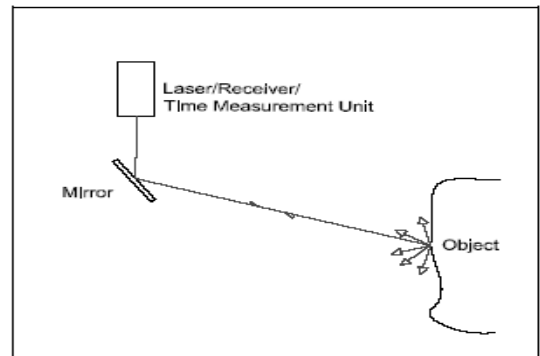


Fig 1. Time-of-Flight Method

관측하고 그 값에 빛의 속도를 곱하여 거리를 계산하는 방식으로 Triangulation Method와 Time-of-Flight Method로 나누어진다(Boehler et al., 2002). 본 실험에 사용된 방식은 Fig. 1에 나타난 것과 같은 Time-of-Flight 방법으로는 레이저를 대상물에 발사한 후 레이저가 반사되어 돌아오는 시간차를 계산하여 위치를 결정하는 방식으로 정확도는 2~3cm 사이이다. (Blais et al., 2000; Boehler et al., 2002).

3차원 레이저 스캐닝 시스템의 기술은 레이저를 이용하여 대상체에서 떨어진 위치에서 레이저를 투사하여 대상체 표면상의 수많은 측정점군(point-cloud)의 3차원 공간 좌표를 연속적으로 얻는 방법으로서, 측정점간의 간격은 0.5mm~3mm정도까지 측정할 수 있기 때문에 구조물에 대한 3차원 정보를 정밀하게 취득할 수 있는 방법이다.

### 2.3. 3차원 레이저 스캐닝 거리 측량

3차원 레이저 스캐닝은 매우 작은 순간시야각 IFOV (Instantaneous Field of View)을 가진 강력한 레이저를 발사하여 지상에서 반사되는 레이저가 스캐너(Scanner)에 도달할 때까지의 시간을 관측하고 그 값에 빛의 속도를 곱하여 거리를 계산하여 정밀한 표고 관측을 한다. 그 원리는 Fig. 2에 나타내었다.

레이저를 이용한 거리의 관측에는 크게 도달시간을 관측하는 펄스(pulse)를 이용한 방법과 위상차(phase shift)를 이용하는 방법이 있다. 위상차를 이용하는 방법에서는 연속적으로 발사되는 Laser 광선 CW (Continuous Wave)를 이용하여 발사된 위상과 반사된 위상의 차를 관측하여 거리를 계산한다. Fig. 3에는 Pulse Laser와 CW Laser의 원리를 나타내었다.

현재 사용되고 있는 대부분의 3차원 레이저 스캐닝 장비에서는 Pulse Laser를 사용한다. Pulse를 사용하는 경우, 거리를 관측하는 가장 일반적인 방법으로 Pulse Laser

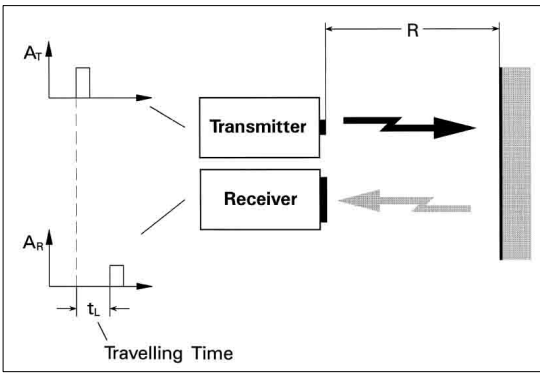


Fig 2. Time-of-flight ranging

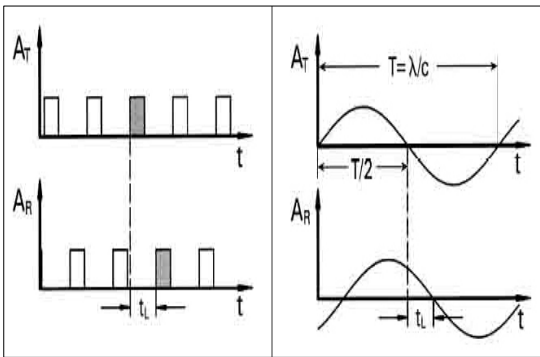


Fig 3. Measuring principle of pulse and CW-lasers

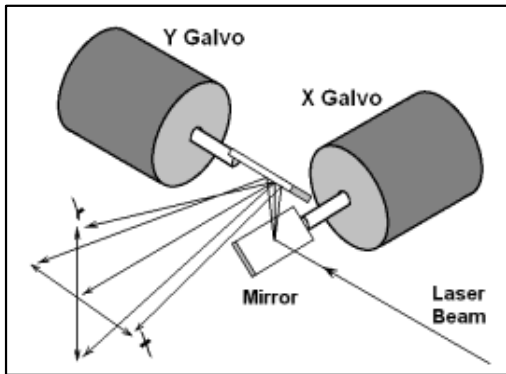


Fig 4. Rotating mirror

의 왕복시간을 관측하여 광속을 곱한 값으로서, Pulse가 반사되고 수신되는 사이의 시간을 이용하는 것이다. Pulse Laser의 왕복시간은 아래의 식 (2-1)과 같다.

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

여기서, R : 거리관측부와 지표면 위치 간의 거리,  
c : 빛의 속도

식(2-1)에서 거리오차  $\Delta R$ 은 시간오차  $\Delta t_L$ 에 정비례하며, 다음과 같이 유도된다.

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

여기서,  $\Delta R$  : 거리의 해상도

$\Delta t_L$  : 시간 관측의 해상도

따라서, 거리관측부와 지표면 위치 간의 최대 거리는 다음과 같다.

$$R_{\max} = \frac{1}{2} c t_{L_{\max}} \quad (2-3)$$

이때, 거리의 정확도는 Pulse의 생성시간(Generation Time), S/N비율, 관측 비율 등에 의해 결정된다.

$$\sigma_R \sim \frac{c}{2} t_{rise} \frac{1}{\sqrt{S/N}} \quad (2-4)$$

여기서,  $t_{rise}$ 는 Pulse 생성시간, S는 광다이오드(photodiode) 전류의 신호강도, N은 광다이오드와 증폭기의 열잡음 강도이며, 일반적으로 사용되는 3차원 레이저 스캐닝 시스템에서 거리관측의 정확도는 mm 단위를 가진다(송연경, 2004).

#### 2.4 측정간격 조밀정도 및 회전각 정밀도

레이저 스캐너 내부에는 거울이나 프리즘을 돌리도록 소형 회전기구가 있는데, 대개 두 개의 회전기구가 구성되어 있으며, 회전기구에 달려있는 거울 등에 의해 레이저 펄스가 레이저 발생부로부터 레이저 스캐너 장비 내부에서 켜져서 대상체에 투사되게 된다.

두 개의 회전기구 중 하나는 수평방향으로의 레이저 점의 이동을, 또 다른 하나는 수직방향으로의 레이저 점을 이동시키게 된다. 따라서 회전기구가 얼마나 미세하게 회전할 수 있는냐에 따라 측정간격의 조밀정도를 결정하게 되며, 회전기구의 속도에 따라 측정시간이 결정된다. 항공라이다의 경우는 초당 약 70,000개의 측정 점이 가능하다. 한편, 일반적으로 지상에서 사용하는 3차원 레이저 스캐닝의 경우는 보다 정밀한 정밀도를 요구되므로

현재 최대 초당 약 20,000개의 측정 측정이 가능하다. 회전기구의 회전각으로부터 측정점의 3차원 공간좌표를 계산하게 된다. 만약 회전기구의 회전축이나 회전각 판독장비에 오차가 발생하게 되면 레이저 전파경로에 수직된 방향의 오차를 가져오게 된다(Boehler, W., Heinz, G. and Marbs, A.).

### 3. 실험 및 분석

#### 3.1 정확도 분석

본 연구에서는 수치지형도의 수정 적용에 대한 적합 여부를 판단하기 위해 본 실험 전 정확도 분석을 실시하였다. 실험에 사용된 장비는 Fig. 5와 같은 R사의 LMS-Z390i 장비를 이용하여 실시하였으며 본 장비의 최대 측정거리는 400m이며 거리에 대한 측정오차는 6mm(at 400m) 정도의 제원을 가지고 있다. 그리고 초당 11,000 포인트의 측정 균을 취득할 수 있으며 스캐너의 관측 범

위는 연직 80°, 수평 회전 360°로 스캐닝을 할 수 있는 제원을 가지고 있다. 그리고 참값으로 이용한 토달 스테이션(TS: Total Station)은 T사의 723 버전을 사용하여 관측 하였다.

본 장비의 정확도 분석을 위해서 Fig. 6과 같은 타겟을 각각 기선거리 60m, 80m, 100m, 120m에 설치하여 토달 스테이션 장비로 선 관측을 실시한 다음 3차원 레이저 스캐닝 측량기를 이용한 관측을 통하여 3차원 레이저 스캐닝 측량기의 정확도 분석을 실시하였다. 본 실험의 관측 결과를 분석하기 위해서 우선 포인트의 점 분포도를 도식화하여 Fig. 7에 나타내었다. 분석 결과 기선거리가 멀어짐에 따라 점군의 개수도 줄어들음을 알 수 있었으며, 측면에서 분석결과 또한 기선거리가 멀어짐에 따라 거리에 대한 오차정확도 또한 저하됨을 알 수 있었다. 그리고 Fig. 8에 나타낸 RMSE 분석 결과 또한 기선 거리에 비례하여 각각 9.2cm, 12.2cm, 23.5cm, 32.2cm의 결과를 취득할 수 있었다. 이는 본 실험에서 측정거리에 대한 한계 범위를 지정할 수 있게 되었다.

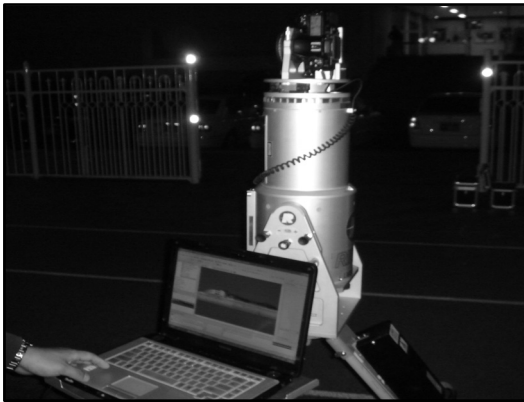


Fig 5. LMS-Z420i

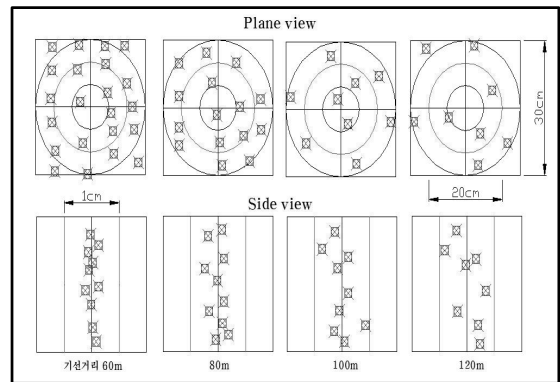


Fig 7. Distribution of point cloud

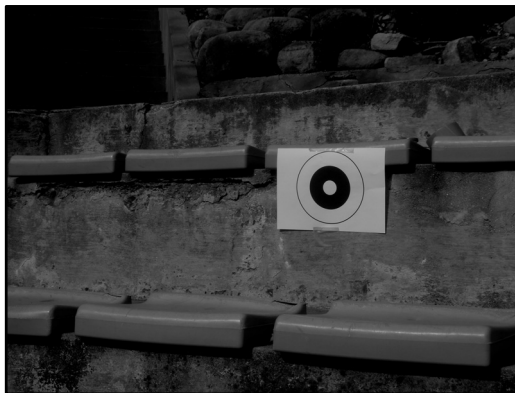


Fig 6. Target setting

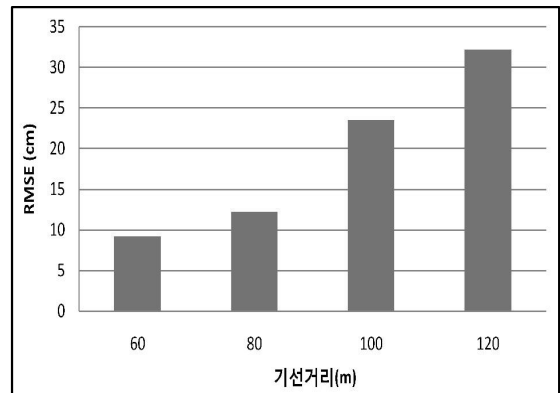


Fig 8. Analysis of RMSE

### 3.2 3차원 레이저 스캐닝 측량

본 실험에 앞서 3차원 레이저 스캐닝 장비의 관측값과 비교하고자 Fig. 9와 같이 수치지도 수정·갱신에 비교적 많이 사용되고 있는 토탈스테이션을 이용하여 실험지역에 현황측량을 실시하였으며 이와 동시에 Table 1과 같이 94개의 검사점 관측 작업을 실시하였다. 검사점은 각 건물의 모서리 부분과 검사점으로 이용할 수 있는 지형을 이용하여 Fig. 10과 같이 취득하였으며 본 검사점을 포함하여 도화작업을 실시하였다.

그리고 3차원 레이저 스캐닝 장비를 이용한 수치지형도 수정 및 갱신 작업에 적합 유무를 판단하기위해 우선 연구지역에 1회 관측을 실시하였다. 실험에 소요된 시간은 설치 시간을 포함하여 약 20분이 요구 되었고 실험 시간은 원활한 관측을 위해 사람과 자동차 등의 방해요인이 비교적 없는 야간에 실시하였다. 그리고 관측후 컨트롤러에서 Fig. 11과 같은 측정군(point cloud)을 dxf 파일로 변환하여 Auto CAD에서 도화 작업을 Fig. 12와 같이 실시하여 검사점에 좌표값을 취득하였다. 그리고 본 실험전에 토탈스테이션으로 이용하여 취득한 도면과 3차원 레이저 스캐닝 측량을 실시하여 취득한 도면을 Fig. 13과 같이 중첩한 결과 정성적으로 분석하기에는 어려움이 있었다. 그래서 도면 작업으로 취득한 검사점에 좌표값을 이용하여 정량적 분석을 하고자 하였다. 중첩작업은 건물 모서리 3부분을 기준하여 작업하였다.

### 3.3 비교 분석

본 연구에서는 3차원 레이저 스캐닝의 수치지도 수정 및 갱신 적용에 대한 검증을 위해서 현재 가장 많이 이용되고 신뢰성 있는 토탈스테이션 측량 결과 값과 비교하여 3차원 레이저 스캐닝 장비의 신뢰성 정도를 파악하고자 하였다. 우선 토탈스테이션을 이용한 3차원 좌표의 결과와 3차원 레이저 측량기를 이용하여 취득한 3차원 좌표값에 대한 잔차를 나타내었다. 그 결과 X축에 최대 61cm, Y축에서 65cm, Z축에서 51cm에 분포도를 Fig. 14와 같이 취득할 수 있었으며 동시에 Fig. 15와 같이 3차원 레이저 스캐닝을 이용한 수치지형도 제작의 품질을 평가하기 위하여 평균제곱근 오차를 산출하여 정확도 분석을 실시하였으며 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

그리고 본 실험에서 얻어진 결과는 Table 3에 나타난 공공측량작업규정에서 정하는 1: 1,000 수치지도 정확도 범위 안에 포함됨을 알 수 있었다(대한측량협회,2002).



Fig 9. TS survey

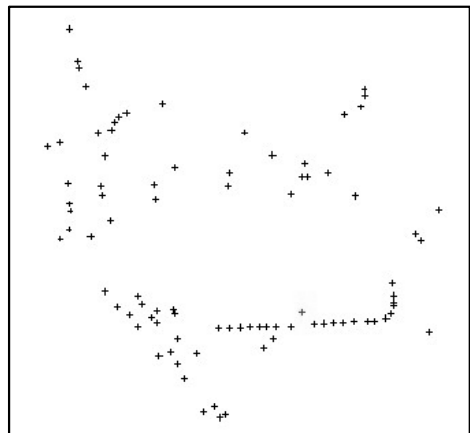


Fig 10. Distribution of check point

Table 1. Check point

| 측점  | X          | Y          | Z    |
|-----|------------|------------|------|
| 1   | 196430.492 | 179730.678 | 56.3 |
| 2   | 196437.750 | 179725.406 | 56.4 |
| 3   | 196453.917 | 179702.540 | 85.2 |
| 4   | 196462.563 | 179702.540 | 85.3 |
| ... | ...        | ...        | ...  |
| 13  | 196466.763 | 179694.985 | 85.4 |
| 14  | 196523.458 | 179824.499 | 85.3 |
| ... | ...        | ...        | ...  |
| 54  | 196422.082 | 179738.961 | 92.4 |
| 55  | 196464.025 | 179729.268 | 92.5 |
| ... | ...        | ...        | ...  |
| 92  | 196453.569 | 179797.546 | 62.8 |
| 93  | 196616.327 | 179715.008 | 45.2 |
| 94  | 196524.252 | 179710.758 | 45.3 |

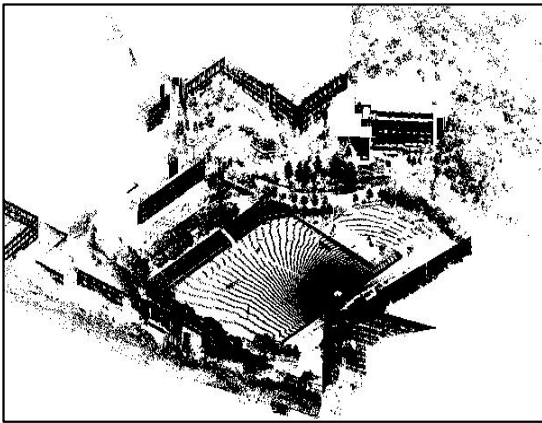


Fig 11. Distribution of Point cloud

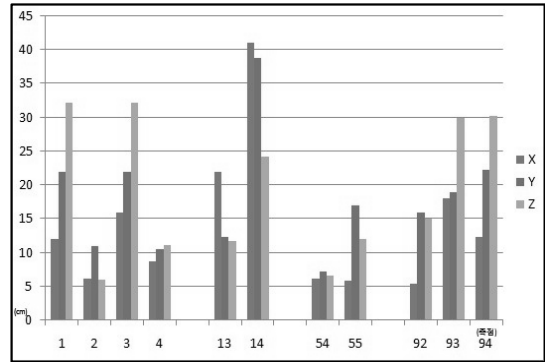


Fig 14. Analysis of error

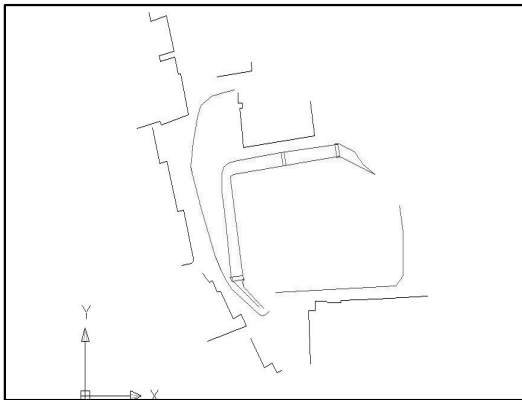


Fig 12. Survey of 3D laser scanning

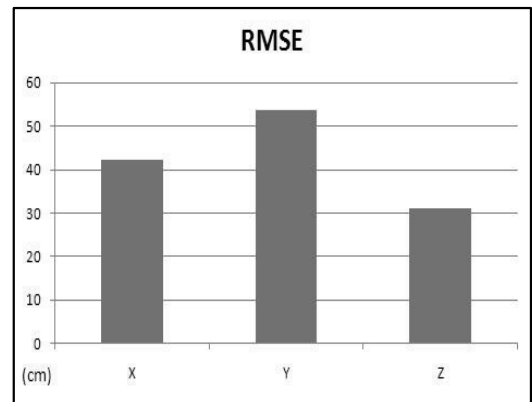


Fig 15. Analysis of RMSE

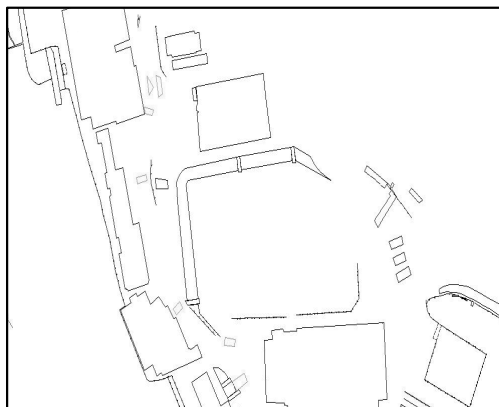


Fig 13. Digital map using TS and 3D laser scanning

Table 2. Analysis of RMSE

| Categorize | RMSE (Root Mean Square Error) |        |        |                  |
|------------|-------------------------------|--------|--------|------------------|
|            | X                             | Y      | Z      | Horizontal error |
| Station    | 0.423m                        | 0.536m | 0.312m | 0.683m           |

Table 3. Accuracy stipulation of public surveying(1:1,000)

| Categorize       |                                | Allowable error of map(1:1,000)                                  |
|------------------|--------------------------------|--|
| R<br>M<br>S<br>E | Horizontal positional accuracy | $\pm 0.7\text{mm}(\pm 0.7\text{m})$                              |
|                  | Vertical positional accuracy   | Space of intermediate contour Line : $\pm h/3(\pm 0.33\text{m})$ |

#### 4. 결 론

본 연구에서 3차원 레이저 측량기를 이용하여 취득한 데이터와 토탈스테이션(TS)을 이용한 현황측량 성과를 비교분석한 결과 다음과 같은 내용을 판단할 수 있었다.

1. 3차원 레이저 스캐닝 측량기의 거리정확도 분석 결과 기선거리가 멀어짐에 따라 점군의 개수도 줄어들어 알 수 있었으며, 측면에서 분석결과 또한 기선거리가 멀어짐에 따라 거리에 대한 오차정확도 또한 저하됨을 알 수 있었다.

2. 3차원 레이저 스캐닝 장비를 이용한 관측은 타깃 설치에 필요한 인원과 장비설치를 제외한다면 Scanning부터 자료처리까지 단독작업이 가능하므로 작업자의 업무 능률 향상을 얻을 수 있으며, 작업 소요시간 절약과 주야에 관계없이 관측이 실시됨으로서 업무효율 증진에 기여할 것으로 판단된다.

3. RMSE 분석 결과, X축에서 42cm, Y축에서 53cm, Z축에서 31cm의 정확도를 나타냄으로 공공측량작업규정에서 규정하는 허용오차 범위 내에 해당하므로 1/1,000 수치지도 수정 및 갱신 작업에 이용할 수 있을 것으로

판단된다.

향후 지속적인 연구를 통하여 사용자에게 신뢰성을 부여함으로써 수치지도의 수정·갱신적용과 도시 3D 모델링, 각종 건설현장 등 여러 분야에 응용되어 작업의 효율성 증진에 많은 발전을 가져줄 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. www,RIEGL.com
2. Boehler, W., Heinz, G. and Marbs, A., 2002, The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording, *Surveying*, 28, 289-295.
3. Blais, F., Beraldin, J. A. and El-Hakim, S.F., 2000, Range Error Analysis of an Integrated Time-of-Flight, Triangulation, and Photogrammetry 3D Laser Scanning System, *Proc. 18th Int. Symp. CIPA 2001*, pp. 445-453.
4. 송연경, 2004, Direct Georeferencing에 의한 LiDAR 자료와 CCD 영상의 융합과 적용기법, 동아대학교, pp. 33 박사학위논문
5. 대한측량협회,(2002) 공공측량작업규정, 제2절 수치지도의 수정
6. 이현직, 박홍기, 이강원, (1998) 1:1000 및 1:5,000 수치지도의 위치정확도, 한국지형공간정보학회논문집 제6권 pp. 117-128