



지상 라이다를 활용한 현황측량 연구

The Study on Reconnaissance Surveying Using Terrestrial Laser Scanner

이인수* · 강상구**

Lee, In Su · Kang, Sang Gu

要 旨

현재 3차원 지상 레이저 스캐너를 통해서 짧은 시간에 대상물의 수많은 위치에 대한 고정도의 3차원 좌표를 얻을 수 있다. 그래서 최근에 지상 레이저 스캐닝은 측지분야를 포함하여 토목공학, 고고학 및 건축, 그리고 응급서비스 및 국방, 기타 등 다양한 분야에서 널리 응용되고 있다. 본 연구는 지상 라이다를 이용한 현황측량을 다루었으며, 실험측량 결과 대상물의 선형 특징추출이 가능하였으며 토탈스테이션 측량성공에 필적하는 위치결정 정확도를 얻었다. 이를 통해 향후 항공 라이다와 항공사진측량기술과의 결합에 의해 지상 레이저 스캐닝의 잠재응용분야는 더욱 증대될 것으로 기대된다.

핵심용어 : 지상 레이저 스캐닝, 지상 라이다, 토탈스테이션 측량, 현황측량

Abstract

Nowadays 3D terrestrial laser scanners record high precision three-dimensional coordinates of numerous points on an object surface in a short period of time. So terrestrial laser scanner is applied to a wide variety of fields including geodesy, and civil engineering, archaeology and architecture, and emergency service and defence, etc. This study deals with the potential application of terrestrial laser scanner in the reconnaissance surveying. The results shows that terrestrial laser scanner is possible to extract the linear features and the positioning accuracy of objects measured by total station surveying is comparative to that by terrestrial laser scanner. Thereafter, it is expected that the potential applications of terrestrial laser scanning will be more increased by combining terrestrial laser scanners with airborne LiDAR (Light Detection And Ranging) and photogrammetric technology.

Keywords : Terrestrial laser scanning, Terrestrial laser scanner, Total Station Surveying, Reconnaissance surveying

1. 서 론

지금 측량분야는 토탈스테이션(TS: Total Station) 측량, 디지털 항공사진측량, 고해상위성영상의 지리정보시스템(GIS: Geographic Information System) 분야 활용, GPS에 의한 3차원공간좌표 획득 등 기술적인 측면에서 급속하게 발전하고 있다. 더불어, 정보통신기술(IT: Information Technology), 위치기반서비스(LBS: Location Based Service), 유비쿼터스(Ubiquitous) 기술 등의 급속한 발전으로 측량 및 지형공간정보분야의 고객을 위한 서비스가 다양화되고 고급화되고 있다.

그러나 기준점측량, 수준점측량, 현장조사 및 지하시설물 탐사 등은 여전히 현장에서 직접 기술자들에 의해 수

행되고 있다. 특히, 현장 기술자가 접근 곤란한 지역(특히, 하천, 구거 등)에서는 작업시간이 많이 소요되며, 작업 위험도가 크며, 성과도 우수하지 못한 실정이다. 따라서 현장 기술자들은 쉽고 빠르게 고정밀도의 많은 데이터를 얻을 수 있는 측량기술과 장비를 갈구하고 있다.

그래서 최근에 대두한 것이 레이저 기술이다. 레이저는 신속하게 고정밀도로 많은 양의 데이터를 짧은 시간 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 이것의 구체적인 실현이 ‘지상 레이저 스캐너(TLS: Terrestrial Laser Scanner, 이하, 지상 라이다)’이다.

그러나 국내에서는 지하 동굴 용적측량, 터널단면 스캐닝, 옹벽 스캐닝, 강교설계 및 사면안정설계, 사면 3차

2006년 6월 26일 접수, 2006년 8월 31일 채택

* 교신저자·정회원·대한지적공사 지적연구원 책임연구원 (ilee0614@yahoo.co.kr)

** 정회원·대한지적공사 지적연구원 책임연구원 (gps8829@empal.com)

원 지표조사 등의 토목/건설, 문화재 보존 및 복원 그리고 건축물 모델링 등에 지상 라이다가 활용되고 있다. 그리고 지상 라이다와 디지털지상사진측량을 결합하여 건축물의 모델링에 대해 연구논문을 발표하였다(사석재 등, 2004).

국외에서는 미국 IOWA주 교통국의 운송응용분야(Jaselskis et al, 2003), 구조물, 교량 등의 변형모니터링(Gordon et al, 2001), 오래된 인프라의 보존상태를 기록하고 모델링(Barber et al, 2001) 하는 등 문화재 보존 및 복원에 사용되고 있으며, 또 산사태 및 빙하 모니터링(Rowlands et al, 2003; Baucer et al, 2003), 철로트랙 주위 시설물 확장감시(Judd, 2005) 그리고 하중 재하 시의 콘크리트 빔의 변형 측정(Roberts and Laura, 2005), 마라톤 코스측정(Tsakiri et al., 2004), 수력발전소의 파워 플랜트 구조물측정(KOPÁČIK et al, 2004) 등 다양한 분야에서 널리 활용되고 있다.

이런 상황에서 본 연구에서는 지상 라이다로 실험측량을 수행하여 인공물의 선형추출 타당성을 검토하고, 이를 기반으로 위치결정 정확도를 검증하는 것이 목적이다. 위와 같은 연구목적을 효율적으로 달성하기 위해서 연구대상을 지상 라이다를 이용한 현황측량으로 한정하고, 공간적 범위는 산업단지, 도로 등 다양한 지형특성을 가진 김포시 풍무동 공원묘지, 내용적 범위는 지상 라이다에 의한 현황도 작성 및 위치정밀도 비교·분석으로 한정하였다.

이와 같은 연구대상과 연구범위를 효율적으로 조사·분석하기 위한 연구방법으로, 조사방법은 문헌조사를 통한 2차 자료를 수집하여 이론적 토대를 구축하고, 접근방법은 실험을 중심으로 한 실험적 접근방법에 의하여 연구를 수행하게 된다.

2. 지상 라이다

2.1 개요

레이저 스캐닝은 ‘측점군(point clouds)’를 이용하여 사용자가 복잡한 대상물을 쉽게 이해하게 해주는 신기술이다. ‘레이저 스캐닝’이란 반사경(거울)의 움직임에 의한 레이저 빔의 편향, 대상물 표면에서의 레이저 빔의 반사, 그리고 반사된 레이저 빔의 수신을 의미한다. 반사경을 이용한 측정과 반대로, 거리측정의 정확도는 반사된 레이저 빔의 강도에 종속된다.

2.2 지상 레이저 스캐닝 원리

레이저 스캐닝 방식에는 삼각측량방식, 위상차방식, 그리고 시간차방식이 있다. 이 중에서 ‘시간차방식(Time-of-Flight)’ 또는 ‘거리측정(ranging)’ 방식 스캐너들은 대상

물 표면까지 펄스 레이저(pulsed laser) 빔을 전송하기 위해 레이저 다이오드(laser diode)를 가지고 있다. 그리고 시간차 방식의 시스템은 레이저 빛의 짧은 파의 왕복이동 시간(Δt)를 관측함으로써 거리(range), ρ 를 측정한다.

$$\rho = \frac{1}{2} c \Delta t \quad (1)$$

여기서, c : 빛의 속도

3. 실험측량, 자료 분석 및 결과

3.1 실험측량지역 소개

실험측량지역은 좌측에 산업단지가 위치해 있고, 중앙에 도로가 관통하고 있으며, 우측은 공원묘지가 위치해 있는 다양한 지형/지물로 이루어져 있다.

3.2 실험측량 장비 소개

본 연구에서는 캐나다 Optech사의 제품을 사용하였으며,

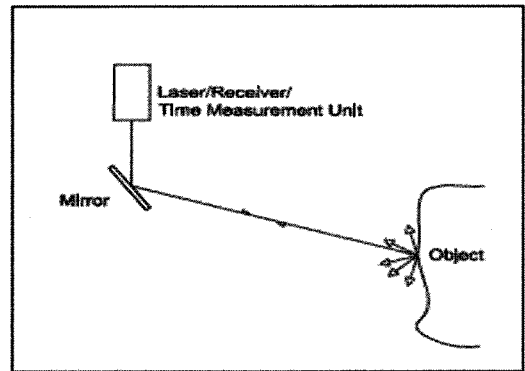


그림 1. 시간차 방식



그림 2. 실험측량지역

표 1. 지상 레이저 스캐너 사양

Measurement method	Time of Flight
Scanning rate	2,000pts/sec
Range	Up to 1500m at 80% targetreflectivity Up to 800m at 20% targetreflectivity
Beam divergence	0.00974°
Minimum spot step	0.00115°
Accuracy	< 8mm

표 2. 레이저 스캐닝 데이터 정보

Number of shots	3508236
Number of scan lines	1338
Number of points per line	2622
Pulse mode	First Pulse
Scan pattern	Step Stare
Scan start position	Lower Left
Scan average range(m)	67.16
X spot spacing(counts/mm)	10/17.9
Y spot spacing(counts/mm)	10/17.9

개인휴대용 정보단말기(PDA: Personal digital assistants)로 조작되고 CCD 카메라가 내장되어 있다. 자세한 사양은 표 1에 정리하였다.

그리고 데이터 처리를 위해서 Innovmetric Software Inc.에서 개발한 소프트웨어를 사용하여 선형추출 및 위치정밀도를 비교하였다. 그리고 지상 라이다로 얻은 성과의 정확도 비교를 위해 토탈스테이션을 이용하였다. 토탈스테이션은 토폰사의 GTS-210D 광파측거의이며, 거리측량에서 정도는 $\pm(3\text{mm}+2\text{ppm, m.s.e})$ 이다.

3.3 실험측량 작업 공정

본 실험측량은 측량과 레이저 스캐닝으로 구성되었다. 레이저 측량은 지상 라이다를 이용하여 대상물과 표정용 타깃을 스캐닝하고, 측량은 지상 레이저 스캐닝에 앞서 표정용 타깃 및 지상기준점에 대한 위치측량을 수행하였다. 대개 지상 레이저 스캐닝은 재래 측량방식과 마찬가지로 장애물이 있을 경우 올바른 측정군의 획득이 어려우므로 시뮬이 양호한 장소로 지상 라이다를 이동하여 작업이 이루어진다.

그리고 현장에서의 지상 레이저 스캐닝은 두 가지 주요 작업으로 이루어진다. : (i) 지상기준점 및 표정용 타깃 설치 및 측량, 그리고, (ii) 대상물과 표정용 타깃 스캐닝. PDA에 설치된 상업용 소프트웨어를 통해 스캐닝하고자 하는 작업범위와 응용분야에 적절한 측정군의 분포를 얻기 위해 최적의 측정군간 격자크기(grid size)를 선정한다. 이후 실험측량지역을 지상 라이다로 좌우/상하로 스캐닝한다. 표 2는 레이저 스캐닝을 통해 얻은 데이터 정보를 정리한 것이다.

그림 3은 일반적인 스캐닝 작업 흐름도를 나타내고 있다. 현장에서의 작업 완료 후에 실내작업을 통해서 사용자가 원하는 성과를 얻는다. 여기에는 등록(registration), 피팅(fitting) & 편집(editing), 메쉬 편집(mesh editing),

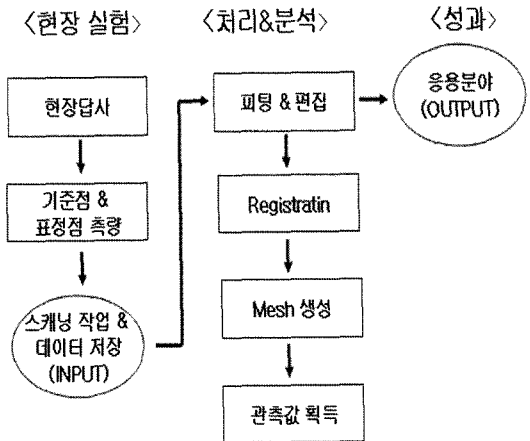


그림 3. 작업 흐름도

등고선(contours) & 라인 드로잉(line drawings)으로 구성된다. 이 과정들은 소용 응용분야에 따라 상이할 수 있다. 등록은 3단계로 이루어진다. 첫 번째는 위치와 이름 또는 각 표정용 타깃의 레벨을 가지고 있는 표정점의 등록이다. 두 번째는 표정점을 측량데이터에 등록하는 것이다. 세 번째는 그 영상의 전체 3D 영상을 생성하기 위해 모든 스캔 영상들을 함께 등록하는 과정이다(Jaselskis et al, 2003).

피팅과 편집은 노이즈를 제거하고 등록된 여러 영상들을 수정하는 것이다. 그리고 메쉬편집은 향후 응용분야 활용을 위하여 편집 후 측정군을 처리가능 할 수 있도록 메쉬를 형성하는 것이다. 그림 4(a)는 측정군으로서 반사강도(intensity)로 표현된다. 그림 4(a)에서 검정색 부분은 레이저 측정군들이 장애물로 인해 획득되지 못한 경우로, 이것은 레이저가 나무 등의 장애물을 통과하지 못하였기 때문이다.

그림 4(b)는 내장형 CCD 카메라로 촬영한 칼라영상과

레이저에 의한 측정점간의 좌표변환을 통해 획득된 RGB 텍스처(texture)이다. 그림 5는 다중 스캐닝 영상을 서로 결합하는 데 필요한 표정용 타깃(좌측 상단)과 표정용 타깃의 배치도이다. 표 3은 측정점, RGB 텍스처 등의 출력물의 포맷을 정리한 것이다. 측정점 1과 2는 영상좌표계로 표현된 RGB 텍스처의 ASCII 출력물, 3과 4는 영상좌표

계로 나타낸 그레이스케일의 ASCII 출력물, 그리고 5, 6 그리고 7은 지역좌표로 표현된 RGB 텍스처의 ASCII 출력물의 샘플을 나타내고 있다.

지상 라이다와 CCD카메라로 획득한 측정점군과 칼라영상은 자체의 좌표계를 가지고 있다. 따라서 두 시스템의 성과를 활용하기 위해서는 좌표변환을 통해 상대좌표가 아닌 절대좌표로 변환시켜주어야 한다. 이를 위해 본 실험측량지역에 표정용 타깃을 설치하고, 이 표정용 타깃의 지역좌표를 토달스테이션 측량으로 획득하였다. 여기서 얻은 표정용 타깃에 대한 지역좌표와 영상좌표를 사용하여 좌표변환계수를 구한 후, 나머지 측정점의 위치를 모두 지역좌표로 구하였다. 이 과정을 통해 얻은 평면 직각좌표로 필요한 선형추출이나 대상물의 위치를 결정하였다.

3.4 데이터 분석 및 결과

위절에서는 레이저 스캐닝작업, 데이터 획득 및 데이터 처리 과정을 설명하였다. 이 절에서는 레이저 측량성과와 토달스테이션 측량성과를 서로 비교하고자 한다. 이



(a)



(b)

그림 4. 측정점 (a)와 RGB 텍스처 (b)

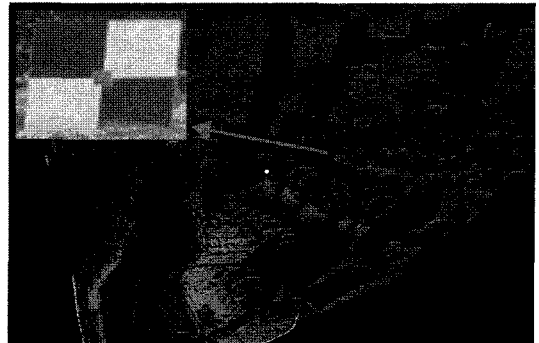


그림 5. 표정점과 배치도

표 3. 측정점 출력포맷

측점	X(m)	Y(m)	Z(m)	Red (8-bits)	Green(8-bits)	Blue(8-bits)
1	11.072	-4.146	-2.098	204	204	204
2	11.059	-4.140	-2.096	204	204	204
	X	Y	Z	Gray-Scale(8-bits)		
3	11.072	-4.146	-2.098	11		
4	11.059	-4.140	-2.096	11		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Red(8-bits)	Green(8-bits)	Blue(8-bits)
5	456392.206	174993.150	97.932	204	204	204
6	456392.206	174993.146	97.932	204	204	204
7	456392.214	174993.140	97.934	204	204	204

검토에 적용되는 대상물에는 표정용 타깃, 도로 연석, 그리고 펜스기둥이 해당된다. 여기서 각각의 다른 형상을 가진 대상물들에 대해 레이저를 발사하여 거기에 반사되어 돌아온 성곽을 분석하고자 한다.

3.4.1 위치정확도 비교

다중 스캐닝 영상들을 하나의 통합된 영상으로 만들기 위해서는 영상들이 서로 융합되어야 한다. 이런 작업을 위해서 영상좌표와 지역좌표를 가진 표정용 타깃이 사용된다. 이 표정용 타깃의 위치결정 정확도가 나머지 측정점들의 위치결정에 영향을 주므로 이 작업은 매우 중요하다. 표 4는 실험측량에서 레이저 스캐닝과 토탈스테이션 측량으로 측정된 표정용 타깃들의 평면직각좌표를 기록한 것이다.

표 5에서 표정용 타깃 수에 따른 레이저 스캐닝 성과와 토탈스테이션 측량성과의 차이를 분석해보면, N, E 방향

에서 약 3cm 이내, 그리고 높이 성분에선 최대 약 2cm 이내, 거리 차에서는 약 8cm 이내의 성과를 보여주므로 현장에서 대상물의 형상이 뚜렷한 경우에 공사 등의 현황측량에서 충분히 이용할 수 있을 것이다. 그림 6은 표

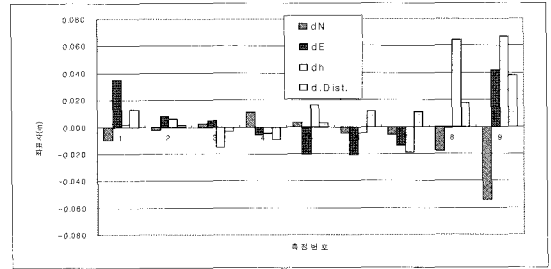


그림 6. 수평, 수직 및 거리성분 정밀도 비교-표정용 타깃, 기타 대상물

표 4. 표정용 타깃의 평면직각좌표

시스템 좌표 번호	지상 라이다				토탈스테이션				비 고 표정용 타깃 수
	X(m)	Y(m)	h(m)	Dist(m)	X(m)	Y(m)	h(m)	Dist(m)	
1	456342.656	174992.788	98.232	49.843	456342.660	174992.776	98.235	49.838	3개
2	456339.328	174980.754	101.149	53.461	456339.328	174980.768	101.146	53.460	
3	456289.829	174972.843	103.937	103.584	456289.826	174972.841	103.938	103.587	
4	456348.615	174978.646	101.444	44.681	456348.602	174978.677	101.455	44.687	
5	456308.860	174961.178	105.921	87.663	456308.860	174961.208	105.897	87.654	
6	456370.543	174980.630	99.903	22.991	456370.546	174980.685	99.922	22.971	
좌표 번호	X(m)	Y(m)	h(m)	Dist(m)	X(m)	Y(m)	h(m)	Dist(m)	표정용 타깃 수
1	456342.650	174992.811	98.237	49.851	456342.660	174992.776	98.235	49.838	6개
2	456339.326	174980.776	101.152	53.461	456339.328	174980.768	101.146	53.460	
3	456289.828	174972.846	103.923	103.584	456289.826	174972.841	103.938	103.587	
4	456348.613	174978.671	101.450	44.678	456348.602	174978.677	101.455	44.687	
5	456308.863	174961.188	105.913	87.657	456308.860	174961.208	105.897	87.654	
6	456370.541	174980.664	99.917	22.982	456370.546	174980.685	99.922	22.971	

표 5. 표정용 타깃 개수에 따른 위치정밀도 비교

통계값	타깃 수	3개				6개			
	좌표차	dN (m)	dE (m)	dh (m)	d.Dist (m)	dN (m)	dE (m)	dh (m)	d.Dist (m)
Average (m)		0.002	-0.019	-0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	0.003
Average deviation (m)		0.004	0.019	0.003	0.007	0.006	0.016	0.008	0.006
RMSE (m)		0.030		0.013	0.086	0.020		0.010	0.008

정용 타깃과 기타 대상물에 대해 레이저 스캐닝과 토탈 스테이션 측량으로 얻은 위치성과의 차이를 수평성분, 수직성분 그리고 거리성분으로 구분하여 정리하였다.

그림 6에서 추정할 수 있는 것은 측점 7, 8과 9(비석, 상석 등)에서 수평성분과 수직성분이 다른 측점과 비교 시 큰 차이를 보여주고 있음을 알 수 있다. 이것은 대상물의 위치를 선택할 때 주위 장애물로 인하여 충분한 측점군을 확보하지 못하여 정확한 위치선택이 불가능하여 발생한 것으로 사료된다.

그리고 표 6은 표정용 타깃과 기타 대상물에 대해 레이저 스캐닝과 토탈스테이션 측량을 수행하여 얻은 성과를 정리한 것이다.

표 5와 표 6에서 레이저 스캐닝과 토탈스테이션 측량에 의한 성과차이의 평균 절대값 편차(average deviation)를 비교하여 막대그래프로 표현한 그림 7에서 dh를 제외한 dN, dE에서는 뚜렷한 형상을 가진 표정용 타깃이나 비석 및 상석 등의 기타 대상물에 대한 레이저 스캐닝 성과와 토탈스테이션 측량에 의한 성과는 큰 차이가 없었다. 따라서 레이저 스캐닝은 임의 형상의 대상물의 위치결정에도 충분히 이용 가능함을 알 수 있었다. 그러나 높이에서는 약 18cm 차이가 발생하여 현황측량 시 이 부분에 대해서는 성과활용에 주의를 기울여야 할 것이다. 이것은 레이저의 측정대상물에 대한 부정확한 반사 또는 획득된 데이터에 잡음(noise) 등이 포함되었기 때문으로 사료된다. 이런 점을 보완하기 위해 지상 라이다를 여러 방향으로 스캐닝을 시도하여 관측값의 수를 증가시키는

것도 고려해야 할 것이다. 이 실험의 경우 일방향에서만 레이저 스캐닝을 수행하였다.

마지막으로 도로주위에 설치된 펜스 기둥(그림 8)에 대한 레이저 스캐닝 작업을 수행하였다. 이 실험측량에서 평균, 평균 절대값 편차, 그리고 RMSE로 분석한 결과, 평균은 DX와 DY에서 -0.3cm와 -0.6cm, 평균 절대값편차는 DX와 DY에서 약 3.8cm와 3.3cm, 그리고 RMSE가 약 0.8cm 로 앞의 실험의 성과보다 저하되었다.

이것은 일부 측점에서 레이저 스캐닝 측정군의 위치와 토탈스테이션과의 대상물에 대해 동일위치에 대한 성과 획득이 이루어지지 못한 경우, 또는 펜스 기둥의 하단부의 눈 성분에 의한 레이저의 흡수 등에서 그 원인을 찾을 수 있을 것이다.



그림 8. 펜스 기둥

표 6. 좌표차이의 평균, 평균 절대값 편차, 평균 RMSE - 표정용 타깃, 기타 대상물

통계값	시스템 좌표차			
	지상 라이다 - 토탈스테이션			
	dN(m)	dE(m)	dh(m)	d. Dist(m)
Average (m)	-0.009	0.003	0.012	0.009
Average deviation(m)	0.013	0.015	0.180	0.009
RMSE (m)	0.021		0.020	0.011

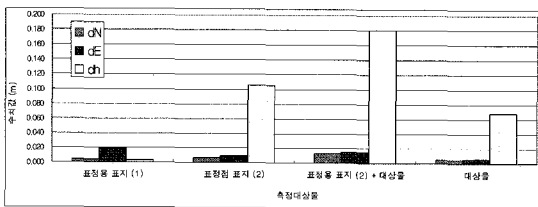


그림 7. 측정대상물에 따른 레이저 스캐닝과 토탈스테이션 측량 성과의 비교

3.4.2 선형추출의 정확도 비교

이 절에서는 레이저 스캐닝으로 대상물의 선형을 추출하여 그 정확도를 토탈스테이션 측량 성과를 이용하여 비교하고자 한다.

그림 9는 도로 연석의 선형을 상용 소프트웨어를 이용해서 추출한 모습을 보여 주고 있다. 상용 소프트웨어를 이용해서 도로연석의 선형을 컴퓨터모니터에서 직접 측정하였다. 이 작업을 통해서 개인적오차가 많이 발생하여 궁극적으로는 레이저 스캐닝의 위치측정 정확도 평가에 좋지 않은 영향을 주게 되었다. 그리고 그림 10은 그림 9에서 얻은 도로 연석선형 정보를 토탈스테이션 측량으로 획득한 성과로 작성한 현황도면에 중첩시켜 얻은 도면이다.

그리고 그림 10에서 중첩된 도면위의 30점의 위치에 대해 좌표성적을 추출하여 좌표차이의 평균, 평균 절대값 편차, 그리고 RMSE를 분석한 결과, 평균은 DX와 DY에서 약 5cm 이내, 평균 절대값 편차는 DX와 DY에서 약 3cm,

그리고 평균 RMSE가 0.058m을 보여 도로공사측량 시 도로선형추출 등에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

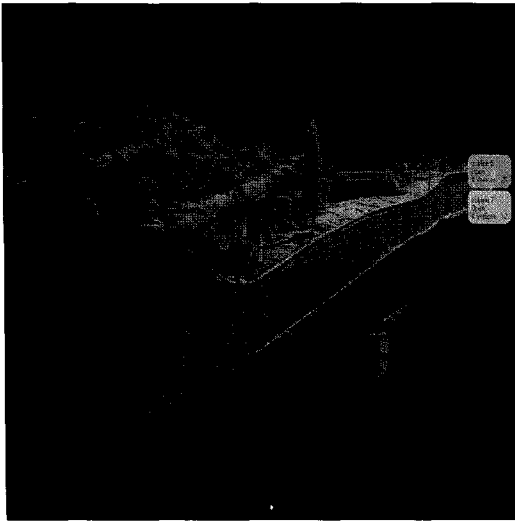


그림 9. 도로 연석선형 추출

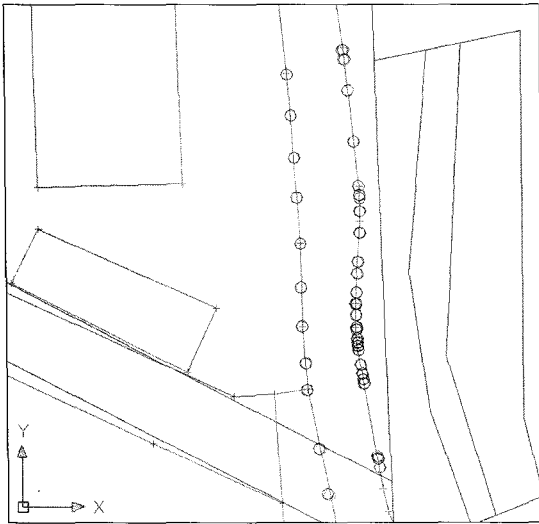


그림 10. 도면 중첩

4. 결 론

본 연구에서는 다양한 분야에서 사용되고 있는 지상 라이다를 대상물의 선형추출과 위치결정에 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 지상 라이다로 일정한 형상을 가진 표정용 표지를 스캐닝한 결과, 토탈스테이션측량성과와의 차이의 RMSE

가 수평에서 약 2.5cm, 수직에서 약 1.15cm를 보여 위치 결정에 이용이 가능할 것으로 사료된다.

둘째, 지상 라이다로 얻은 데이터를 이용하여 도로연석의 선형을 추출하여 평균 절대값 편차를 분석한 결과, 토탈스테이션 측량성과와 DX와 DY에서 3.2cm와 0.5cm만큼 차이를 보여 충분히 현황측량성과에 활용 가능할 것으로 사료된다.

셋째, 펜스기둥을 지상 라이다로 스캐닝하여 토탈스테이션 측량의 성과와 비교한 결과 DX와 DY 방향에서 3.8cm 와 3.3cm를 보여 양호한 성과를 얻어 특별한 형상을 가진 대상물외에 일반 대상물에도 적용이 가능할 것이다.

본 연구를 통해 레이저 스캐닝의 경우 매뉴얼방식으로 선형추출 시 개인적오차가 성과결정에 영향을 줄 수 있을 것으로 사료되어, 자동화된 선형추출 알고리즘 연구가 절실히 요구되며, 향후 항공 라이다와 항공사진측량과의 보완을 통한 지상 라이다 활용방안 연구도 필요할 것이다.

참고문헌

1. 사석재, 이임평, 최윤수, 오의중, 2004, "지상라이다와 디지털지상사진측량을 융합한 건축물의 3차원 정밀모델링", *한국지적학회 학술대회 논문집*, 2004년도 추계, 제주도, pp. 61-68.
2. Barber, D. and Mills, J. and Bryan, P. G., 2001, "Laser Scanning And Photogrammetry: 21st Century Metrology", *CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage*, 18: 360-366, UK.
3. Bauer, A., G. Paar, and V. Kaufmann, 2003, "Terrestrial laser scanning for rock glacier monitoring", Permatrost, Phillips, Springman & Arenson(eds), 2003 Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 90 5809 582 7, Austria, pp. 55-60.
4. Boehler, W., G. Heinz and A. Marbs, 2001, "THE POTENTIAL OF NON-CONTACT CLOSE RANGE LASER SCANNERS FOR CULTURAL HERITAGE RECORDING", *CIPA Working Group VI*, pp. 1-8.
5. Gordon, S. J., D. Lichti, and M. Stewart, 2001, "Application of a High-Resolution, Ground-Based Laser Scanner For Deformation Measurements", SESSION I : NEW TECHNIQUES IN MONITORINGS SURVEYS I , *10th FIG International Symposium on Deformation Measurements*, 19-22 March, Orange, California, USA, pp. 23-32.
6. Jaselskis, E. J., C. E. Thomas, S. J. Andrie and Z. Gao, Z., 2003, "Pilot Study on Improving the Efficiency of Transportation Projects Using Laser Scanning", Final Report, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Midwest Transportation Consortium, USA, pp. 1-70.
7. Judd, M., 2005, "Lasers and Digital Imagery in Rail", *Pro-*

- ceedings of the SSC 2005 Spatial Intelligence, Innovation and Praxis: The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute, September, 2005, Melbourne: Spatial Sciences Institute ISBN 0-9581366-2-9, Australia.*
8. KOPÁČIK, A. and A. Th. WUNDERLICH., 2004, "Usage of Laser Scanning Systems at Hydro-technical Structures", TS23 Engineering Surveys for Industry and Construction Works, *FIG Working Week 2004*, Athens, Greece, May 22-27.
 9. Roberts, G. and L. Hirst., 2005, "Deformation Monitoring and Analysis of Structures Using Laser Scanners", TS38-Using Laser Scanning in Engineering Surveys, *FIS Working Week 2005 and GSDI-8*, Cairo, Egypt, April 16-21.
 10. Rowlands, K. A., LD. Jones and M. Whitworth., 2003, "Landslide Laser Scanning: a new look at an old problem", *Photographic Feature*, pp. 155-157.
 11. Schulz, T. and H. Ingensand., 2004, "Terrestrial Laser Scanning - Investigations and Applications for High Precision Scanning", *FIG Working Week 2004*, Athens, Greece, May 22-27.
 12. Tsakir, M, D. Stathas, and O. Arabatzi., 2004, "Advanced Surveying Techniques for Measuring the Marathon Course", TS29 Positioning and Measurement Technologies and Practices II - Applications and Processing, *FIG Working Week 2004*, Athens, Greece, May 22-27.