Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography 2007 / Cheju / Korea

지상 레이저 스캐닝 기술을 이용한 도로 기하정보 추출
Extraction of Geometric Information on Highway Using Terrestrial Laser Scanning Technology

이종출[1]·이병걸[2]·김진수[2]
Lee, Jong Chool·Lee, Byung Gul·Kim, Jin Soo

[1] 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)
[2] 제주대학교 공과대학 해양토목공학과 교수(E-mail:leebgprof@empal.com)
[3] 부경대학교 공학연구원 연구원(E-mail:pksurveying@pknu.ac.kr)

Abstract

Laser scanning technology with high positional accuracy and high density automation will be widely applied in vast range of fields including geomatics. Especially, the development of laser scanning technology enabling long range information extraction is increasing its full use in civil engineering. The purpose of this study is to extract accurate highway geometric information taking the advantages of scanning technology. Fulfilling this goal, the information of target highway's three-dimensional data was obtained through terrestrial laser scanning technology. In accordance with the result from target highway's geometric information extraction using the information above, laser scanning technology showed faster speed and better accuracy on highway geometric information extraction with reduced cost compared to traditional methods.

1. 서 론

레이저 스캐닝 기술은 높은 위치정확도, 고밀도 자료 취득의 자동화 등으로 지오매틱스 분야를 비롯한 광범위한 분야에서 응용될 전망이다. 이는 제조업 분야에서 인스펙션 및 리버스 엔지니어링 개념의 발전을 도모시켰으며, 이를 뛰어넘는 다양한 응용분야를 이끌어가고 있다(허정훈 2004). 특히 세계적으로 자국의 문화재에 대한 디지털 아카이브 구축에 대한 관심이 높아짐에 따라 문화재 복원 분야에서 수치사진측량과 함께 그 활용성이 매우 높은 실정이다(이정현 2001).

지상에서 비교적 근거리에 있는 대상물의 형상해석에 국한되어 이루어졌던 레이저 스캐닝 기술의 활용은 2000년대 초반 고정밀도의 중·장거리용 레이저 스캐너의 보급으로 인해 토목분야를 비롯한 다양한 분야에서 그 활용 범위가 증대되고 있다. Bauer 등(2003)은 장거리 레이저 스캐너를 이용하여 암석빙하의 표면 변형 자료를 취득하고, 정밀 DEM을 생성하여 1년간의 변화 추이를 관측하였다. Shih 등(2004)은 건설 현장에서의 공정별 설계도면에 의해 생성된 3차원 모델링 자료와 공정별로 취득된 스캐닝 자료를 비교함으로써 현장 내 공정관리에 있어서 레이저 스캐닝 기술의 활용성을 제시한 바 있다. Park 등(2007)은 구조물 거동 모니터링에 주로 사용되는 센서(LVDT, strain gage 등)와 TLS(terrestrial laser scanning)에 의한 자료를 비교함으로써, 고층건물 및 장대교량과 같은 대규모 구조물의 거동 해석에 있어 레이저 스캐닝 기술의 활용을 제안한 바 있다. 국내의 경우, 절리측정의 정확성 및 활용가능성의 제시(이성호, 2005), 도로의 횡단경사를 측정(윤덕근 등, 2006), 사면의 외적 안정성 평가(장용구 등, 2006) 등의 분야에서 지속적인 연구가 이루어지고 있다.

도로 기하정보를 추출하기 위한 레이저 스캐닝 기술의 활용은 주로 LiDAR 자료를 이용하여 종단 및 횡단경사를 추출하거나, 도로 영역을 자동분할하는 연구에 이용되었다(Hatger 등, 2003; Pattnaik 등, 2003). 그러나 일반적인 LiDAR 자료의 점밀도와 정확도로 도로의 기하정보를 정확히 추출하기에는 많은 어려움이 따른다. 특히 도로

기하정보를 해석하는데 가장 중요한 요소인 도로 중심선 자료의 취득이 어렵다. 이러한 점을 고려하여 비교적 높은 정확도를 가지는 LiDAR의 고도정보와 수치지도의 도로중심선 정보를 이용하여 도로의 선형설계요소를 자동으로 추출하는 연구가 수행된 바 있다(김민석, 2004).

본 연구의 목적은 도로의 기하정보를 보다 정확하게 추출하기 위하여 레이저 스캐닝 기술을 활용하는 것이다. 이를 위하여 (1) 도로를 대상으로 방대한 양의 3차원 자료를 신속하게 취득, (2) 처리단계를 거친 자료의 정확도 평가와 도로분야에서 지상 레이저 스캐닝의 활용 가능성 제시, (3) 레이저 스캐닝 자료를 이용한 도로의 기하정보 추출을 세부 목표로 설정하여 연구를 수행하였다.

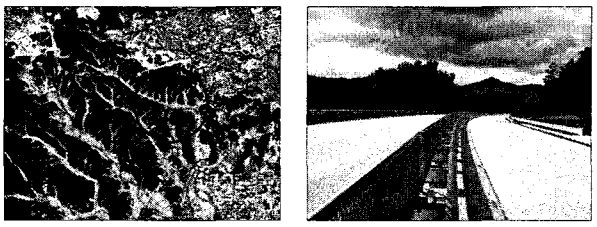
2. 지상 레이저 스캐닝 기술

칼라 및 반사강도 정보를 포함한 고밀도 3차원 자료의 신속한 취득은 레이저 스캐닝 기술이 다른 측정 시스템과 비교되는 큰 장점이다. 또한 능동형 센스의 사용으로 인해 자료의 취득에서 처리까지의 방법, 자료 형태 등이 모두 상이하다(오윤석, 2005). 지상 레이저 스캐너는 크게 3가지의 측정원리(time-of-flight, phase shift, triangulation)에 의해 작동되며, 레이저 주사거리, 측정 정확도, 대상물의 규모, 스캐닝 속도 등을 고려하여 적합한 측정원리의 스캐너를 사용해야만 한다. 비교적 규모가 큰 대상물의 측정에는 timed pulse를 이용한 time-of-flight 또는 phase shift 방식이 적합하다(Mills 등, 2004). Triangulation 방식은 문화재 복원, 인스펙션, 리버스 엔지니어링 분야 등에서 정밀 스캐닝을 위한 목적으로 주로 이용된다. 본 연구에서는 종방향으로 넓은 범위를 가지는 도로를 스캐닝 대상으로 선정하였으므로, 다른 방식)에 비해 측정거리가 긴 time-of-flight 방식의 스캐너를 사용하였다.

하나의 대상물을 대상으로 취득된 연속된 스캔 자료(scan clouds)는 공간상의 상대적인 위치정합에 관련한 레지스트레이션(registration)과 절대좌표로의 변환에 관련한 지오레퍼런싱(georeferencing) 과정을 거치게 된다. 레지스트레이션은 서로 다른 위치에서 측정된 스캔 자료를 형상적으로 서로 공통되는 부분의 거리 차이를 이론적으로 0에 가깝게 하는 상대 위치를 계산하는 과정이다. 이는 스캔 자료들이 동일 좌표계를 형성할 수 있도록 좌표 변환을 실시하는 과정으로, 공간상에서의 이동 및 회전 요소에 의해 결정된다. 레지스트레이션 과정을 거쳐 동일 좌표계를 형성한 스캔 자료들은 지오레퍼런싱을 통해 지상 기준점과 결합되어 대상물의 절대좌표로 변환된다.

3. 자료취득 및 처리

스캐닝을 위한 대상 도로는 울산광역시에 소재한 두왕~무거간 국도 중 약 1km 구간을 선정하였다(그림 1(a)). 대상 도로는 직선, 완화곡선, 원곡선 구간을 포함하고 있으며, 선형이 매우 양호하다. 또한 강성포장으로 시공되었기 때문에 연성포장에 비해 레이저의 반사강도가 뛰어나며, 이로 인한 자료의 취득률도 높다(그림 1(b)).



(a) (b)

그림 1. 연구대상지역(a) 및 대상 도로 전경(b)

먼저 지오레퍼런싱을 위한 기준점 측량과 최종적으로 처리된 스캔 자료의 정확도를 평가하기 위한 검사점 측량을 병행하여 실시하였다. 관측에 사용된 장비는 Sokkia사에 제조한 SET230RK3 모델을 사용하였으며, 본 장비는 프리즘 및 무프리즘 모드의 관측이 모두 가능하다. 기준점 측량에 사용된 프리즘 모드에서 ±(3mm+2ppm), 검사점 측량에 사용된 무프리즘 모드에서 ±(2mm+2ppm)의 정확도를 지닌다(Sokkia, 2006). 레이저 스캐닝을 위한 장비는 Trimble사에서 제조한 GS 200 스캐너를 사용하였다. 본 장비는 수평으로 360°, 수직으로 60°의 시야각(field of view)을 가지며, 50m 거리에서 최대 3mm의 표준편차를 나타낸다. 또한 532㎚의 가시광 영역의 레이저를 사용하기 때문에 RGB 정보의 획득도 가능하다.

대상 도로는 그림 1(b)와 같이 가드레일 형식의 분리대 및 차광망이 설치되어있기 때문에 1개의 서브프로젝트에 도로의 모든 횡단구성요소를 포

함하기 어렵다. 따라서 분리대를 기준으로 양방향으로 중복될 수 있도록 총 19개의 서브프로젝트로 나누어 스캐닝을 실시하였다. 연속된 스캔 자료의 레지스트레이션을 위해 각 서브프로젝트 과정에서 중복된 위치에 3개의 타겟을 설치하고 정밀하게 스캐닝 하였다. 그림 2는 대절토사면 구간에서 취득된 스캔 자료의 형상을 나타낸 것이다.

취득된 스캔 자료들은 USB 모뎀을 이용한 소켓 네트워크 방식에 의해 실시간으로 실내 서버로 전송된다. 전송된 자료의 처리는 Trimble사에서 개발한 RealWorks Survey를 이용하였다.

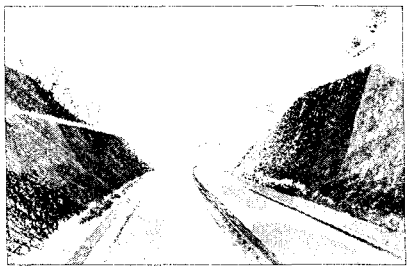


그림 2. 대절토구간에서의 스캔자료

타겟을 대상으로 정밀 스캔된 자료로부터 타겟의 중심은 자동으로 결정되고, 결정된 3개의 타겟 중심을 이용하여 연속된 스캔 자료간의 레지스트레이션이 이루어진다. 레지스트레이션 과정을 거쳐 동일 좌표계를 형성한 스캔 자료들은 지오레퍼런싱 과정에서 기준점과 결합하여 대상물의 절대좌표로 변환된다. 그림 3은 약 1km 구간의 도로를 대상으로 취득된 19개의 스캔 자료를 최종적으로 지오레퍼런싱한 결과를 나타낸다.

최종적으로 처리된 3차원 스캔 자료의 정확도를 분석하기 위해, 이미 취득된 33개의 검사점 성과와 비교하였다. 그림 4와 같이 도로 중심선상에 설치된 차광망 지주를 검사점으로 사용하였다.

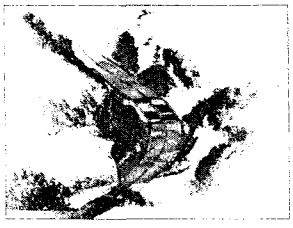


그림 3. 지오레퍼런싱 결과

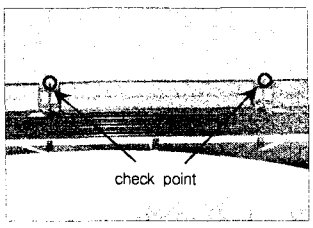


그림 4. 검사점 모습(스캔자료)

그 결과, X방향으로 -0.068 ~ 0.066m, Y방향으로 -0.096 ~ 0.079m, Z방향으로 -0.007 ~ 0.090m 방향별 오차 분포를 나타내었으며(그림 5), RMSE는 각 방향별로 ±0.041m, ±0.041m, ±0.025m로 나타났다. 이는 공공측량 작업규정 세부기준에 명시된 축척 1:500 ~ 1:600에서의 지상기준점 평면위치 정확도 ±0.1m, 표고 정확도 ±0.05m 이내를 만족하는 값들로 다양한 측량분야에 있어서 그 활용성이 충분이 있을 것으로 기대된다.

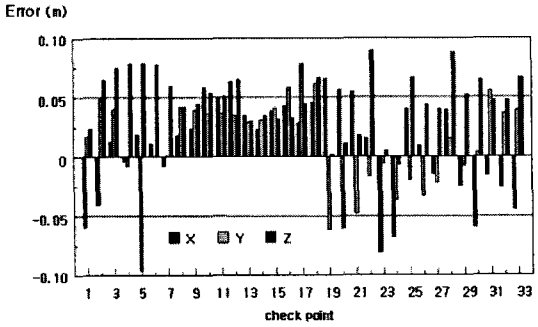


그림 5. 방향별 오차 분포

4. 도로 기하정보 추출

도로의 기하정보는 도로가 자동차의 운동역학적 특성에 맞추어 기능을 제대로 하는가에 대한 분석에서 매우 중요한 요소이다(이종출, 2001). 본 연구에서는 도로 기하정보 중 평면 및 종단선형 설계요소, 횡단구성요소, 편경사를 추출하였으며, 기하정보 추출을 위한 일련의 과정은 그림 6에 나타낸 것과 같다.

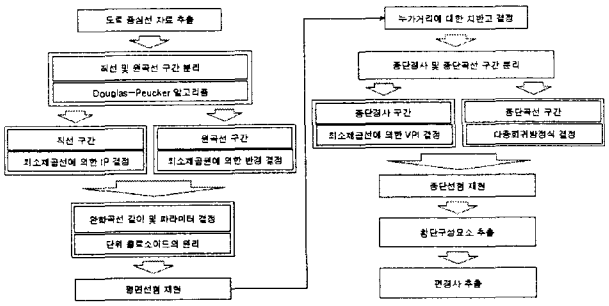


그림 6. 도로 선형 자동추출 알고리즘 흐름도

종단선형은 재현된 평면선형에 있어서 도로 중심선상의 누가 거리에 따른 높이 정보를 따로 추출하여 결정된다. 최종적으로 추출된 평면 및 종단선형 설계요소와 설계 당시의 설계요소를 비교하면 표 1 및 2와 같다.

도로의 횡단구성요소를 추출하기 위해서 스캔 자료 처리에 이용된 프로그램 내의 프로파일(profile) 모듈이 이용되었다. 프로파일 모듈에서는

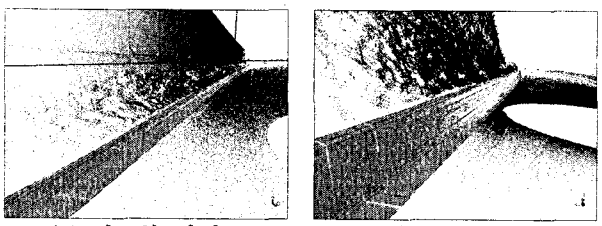
구성요소에 관련한 스캔 자료를 최소제곱원리를 이용하여 윤곽을 자동 추출할 수 있게 한다. 본 연구에서는 대상 도로의 횡단구성요소인 가드레일 형식의 분리대, 성토부 다이크, 절토부 L형 측구, 방음벽의 윤곽을 0.5m 간격으로 추출하고, 추출된 윤곽을 해당 구간에 적용하여 전체 구간에서의 윤곽을 결정하였다. 각각의 구성요소에 관련한 스캔 자료로부터 일부 윤곽을 추출하고, 추출된 윤곽을 해당 구간에 적용한 결과는 그림 7에 나타낸 것과 같다. 이렇게 추출된 윤곽은 dxf 포맷으로 저장되고, 20m 간격의 횡단면도를 작성하는데 이용되었다.

표 1. 평면선형 설계제원과 추출된 제원의 비교

구 분		설계제원	추출제원	차이
IP	X(m)	222676.939	222676.938	0.001
	Y(m)	226054.609	226053.861	0.748
곡선반경(m)		610	610.475	0.475
시점부 이정량(m)		1.924	1.869	0.055
종점부 이정량(m)		1.924	2.097	0.173
시점부완화곡선길이(m)		167.869	165.478	2.391
종점부완화곡선길이(m)		167.869	175.276	7.407
시전부 A		320	317.837	2.163
종점부 A		320	327.111	7.111

표 2. 종단선형 설계제원과 추출된 제원의 비교

설계요소		설계제원	추출제원	차이
VPI	누가거리(m)	1100.000	1102.038	-2.038
	종 단 고(m)	45.920	45.884	0.036
종단곡선길이(m)		400.000	396.682	3.318
종단곡선변화비율(%)		54.795	54.429	0.366



(a) 성토부 다이크 (b) 절토부 L형 측구

그림 7. 도로 선형 자동추출 알고리즘 흐름도

5. 결 론

지상 레이저 스캐너(TLSs)에 의해 도로를 대상으로 취득된 스캔 자료를 이용하여 기하정보를 추출한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, 지상 레이저 스캐너를 이용하여 고정밀도의 3차원 자료를 신속·정확하게 취득할 수 있었다. 취득된 자료의 정확도를 분석한 결과, 공공측량 작업규정 세부기준에 명시된 축척 1:600에서의 지상 기준점 정확도를 만족하였으며, 다양한 측량분야에 있어서 그 활용성이 충분이 있을 것으로 기대된다. 둘째, 취득된 스캔 자료 중 도로 중심선에 해당되는 자료는 직선 및 곡선구간으로 자동 분리되게 함으로써, 기존에 수동으로 결정된 방식에 비해 효율성을 높일 수 있었고, 개발된 도로 선형 알고리즘에 의해 자동으로 설계요소들을 추출할 수 있었다. 셋째, 고밀도의 3차원 자료를 이용하여 도로의 횡단구성요소를 보다 빠르고, 쉽게 추출할 수 있었다. 또한 이렇게 추출된 횡단구성요소를 이용하여 횡단면도, 편경사도 등 다양한 기하정보를 추출할 수 있었다. 향후, 도로에서의 레이저 스캐닝 기술의 활용은 도로기하정보시스템 내에서 기하정보를 보다 신속하고 정확하게 추출하는데 큰 역할을 담당할 것으로 기대된다.

참고문헌

Boehler, W., Heinz, G., and Marbs, A. (2001), The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording, *Proc., CIPA Symposium*, Potsdam, Germany.

Douglas, D. H., and Peucker, T. K. (1973), Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature, *The Canadian Cartographer*, 10(2), pp.112-122.

Mills, J., and Barber, D. (2004), Geomatics techniques for structural surveying, *J. Surv. Eng.*, ASCE, 130(2), 56-64.

Hatger, C. and Brenner, C. (2003), Extraction of road geometry parameters from laser scanner and existing database, *Proc. ISPRS WG III/3 : 3-D reconstruction from laser scanner and InSar data*, ISPRS, Dresden, Germany.

Park, H. S., Lee, H. M., Adeli, H., and Lee, I. (2007), A new approach for health monitoring of structures: terrestrial laser scanning, *Computer-Aided Civil and Infrasturcture Eng.*, 22, pp.19-30.

Pattnaik, S. B., Hallmark S. and Souleyrette, R. (2003), Collecting road inventory using LiDAR surface models, *Proc. Map India Conference 2003*, New Delhi.

Shih, N. J., and Wang, P. H. (2004), Point-cloud-based comparison between construction schedule and as-built progress: long-range three-dimensional laser scanner's approach, *J. Arch. Eng.*, ASCE, 10(3), pp.98-102.