Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography
Vol. 38, No. 1, 35-41, 2020
https://doi.org/10.7848/ksgpc.2020.38.1.35

ISSN 1598-4850(Print)
ISSN 2288-260X(Online)
Original article

점군데이터 정합 방법에 따른 정확도 평가

Accuracy Evaluation by Point Cloud Data Registration Method

박준규[1)] · 엄대용[2)]
Park, Joon Kyu · Um, Dae Yong

Abstract

3D laser scanners are an effective way to quickly acquire a large amount of data about an object. Recently, it is used in various fields such as surveying, displacement measurement, 3D data generation of objects, construction of indoor spatial information, and BIM(Building Information Model). In order to utilize the point cloud data acquired through the 3D laser scanner, it is necessary to make the data acquired from many stations through a matching process into one data with a unified coordinate system. However, analytical researches on the accuracy of point cloud data according to the registration method are insufficient. In this study, we tried to analyze the accuracy of registration method of point cloud data acquired through 3D laser scanner. The point cloud data of the study area was acquired by 3D laser scanner, the point cloud data was registered by the ICP(Iterative Closest Point) method and the shape registration method through the data processing, and the accuracy was analyzed by comparing with the total station survey results. As a result of the accuracy evaluation, the ICP and the shape registration method showed 0.002m~0.005m and 0.002m~0.009m difference with the total station performance, respectively, and each registration method showed a deviation of less than 0.01m. Each registration method showed less than 0.01m of variation in the experimental results, which satisfies the 1: 1,000 digital accuracy and it is suggested that the registration of point cloud data using ICP and shape matching can be utilized for constructing spatial information. In the future, matching of point cloud data by shape registration method will contribute to productivity improvement by reducing target installation in the process of building spatial information using 3D laser scanner.

Keywords : 3D Laser Scanner, Iterative Closest Point, Point Cloud, Accuracy, Registration, Shape Matching

초 록

3D 레이저 스캐너는 대상물에 대한 많은 양의 데이터를 빠른 시간 내에 취득할 수 있는 효과적인 방법으로 최근 측량, 변위측정, 대상물의 3차원 데이터 생성, 실내공간정보 구축, BIM (Building Information Model) 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 3D 레이저 스캐너를 통해 취득되는 점군데이터의 활용을 위해서는 정합과정을 거쳐 많은 측점에서 취득한 데이터를 통일된 좌표체계를 가진 하나의 데이터로 만드는 과정이 필요하다. 따라서 정합 방법에 따른 점군데이터의 정확도에 대한 분석적 연구가 필요하다 이에 본 연구에서는 3D 레이저 스캐너를 통해 취득되는 점군데이터의 정합방법에 따른 정확도를 분석하고자 하였다. 3D 레이저 스캐너를 통해 연구대상지의 점군데이터를 취득하고, 자료처리를 통해 ICP (Iterative Closest Point) 와 형상정합 방법에 의해 점군데이터를 정합하였으며, 토털스테이션 측량성과와 비교하여 정확도를 분석하였다. 정확도 평가 결과 ICP와 형상정합 방법은 각각 토털스테이션 성과와 0.002~0.005m, 0.002~0.009m의 차이를 나타내었다. 각각의 정합 방법은 실험결과 모두 0.01m 미만의 편차를 나타내어 1:1,000 수치지형도의 허용정확도를 만족하였으며, ICP 및 형상정합을 이용한 점군데이터의 정합이 공간정보 구축에 충분히 활용 가능함을 제시하였다. 향후 형상정합 방법에 의한 점군데이터의 정합은 3D 레이저 스캐너를 활용한 공간정보 구축 과정에서 타겟의 설치를 줄임으로써 생산성 향상에 기여할 것이다.

핵심어 : 3D 레이저 스캐너, ICP, 점군, 정확도, 정합, 형상정합

Received 2020. 02. 13, Revised 2020. 02. 18, Accepted 2020. 02. 25

1) Member, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Seoil University (E-mail: surveyp@empas.com)
2) Corresponding Author, Member, Professor, Civil Engineering, Korea National University of Transportation (E-mail: dyum@ut.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

점군데이터의 정합은 하나 또는 여러 대상을 중심으로 여러 측점에서 취득된 점군데이터를 하나의 공통된 좌표체계로 배치시키는 것을 말한다(Kim *et al*., 2018). 정합을 필요로 하는 3D 레이저 스캐너는 대상물에 대한 정보를 빠른 시간 내에 취득할 수 있는 효과적인 방법으로 최근 다양한 분야에 활용되고 있다. 기존 연구사례로 시설물에 대한 유지관리를 위해 대상물에 대한 데이터를 3D 레이저 스캐너로 데이터를 취득하고, 자료처리를 통해 구축된 점군데이터를 이용하여 역설계를 수행한 연구가 수행되었으며(Kang and Kim, 2016; Kang *et al*., 2016, Son and Yoon, 2015), 위험 경사면의 변위를 검출하기 위해 3D 레이저 스캐너를 활용하여 대상물을 모델링하고, 분석한 사례가 있다(Lee and Park, 2016). Park (2018)은 점군데이터와 solid model을 이용한 수목의 입체적 정량화 및 분석을 수행하였으며, Kim *et al*. (2017)은 무인차량의 주행가능 지역에 대한 분석에 3D 레이저 스캐너를 활용하였다.

Kim *et al*. (2016)은 해안지형 모니터링을 위한 3D 레이저 스캐너의 활용을 위해 GNSS(Global Satellite Navigation System, IMU(Inertial Measurement Unit), 3D 레이저 스캐너 등 다양한 센서의 결합을 통한 지형측정 시스템을 개발하였으며, Lee *et al*. (2016)은 고랭지 농업지역의 경지면적 산출을 위해 지적성과와 3D 레이저 스캐너 데이터를 비교 및 분석하였다. Seo *et al*. (2016)은 3D 레이저 스캐너 데이터를 이용하여 연구대상지의 공간정보를 구축하고, 산불, 산사태로 인한 피해지와 일반산지의 특정기간에 대한 토사유입량을 정량적으로 비교하였다. Lee and Park (2019)은 노천광산에 대한 공간정보 구축을 위해 3D 레이저 스캐너와 토털스테이션을 활용하였으며, 구축된 성과에 대한 정확도를 평가하였다. 3D 레이저 스캐너로 취득된 점군데이터의 정합을 위한 ICP의 알고리즘을 분석한 연구도 이루어졌다(He *et al*., 2017; Xin and Pu, 2010). Agarwal and Bhowmick (2017)은 점군데이터의 자동정합을 위해 형상을 이용한 방안을 연구하였다. 또한 Lie *et al*. (2018)은 객체 추출을 통한 매칭으로 점군데이터를 정합하는 방안을 연구하였다. 기존의 연구 사례에서는 3D 레이저 스캐너를 이용한 데이터 취득과 자료처리, 생성된 결과물의 활용 및 정확도 분석과 정합 알고리즘에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 하지만 3D 레이저 스캐너를 통해 취득되는 점군데이터를 정합 방법별로 분석한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 기존 3D 레이저 스캐너 정합에 많이 사용되어 왔던 ICP와 최근 새롭게 주목받고 있는 형상정합(shape matching) 방법을 이용하여 점군 데이터를 처리하고 정확도 평가를 통해 점군데이터의 정합방법에 대한 활용성을 제시하고자 하였다. Fig. 1은 연구흐름도를 나타낸다.

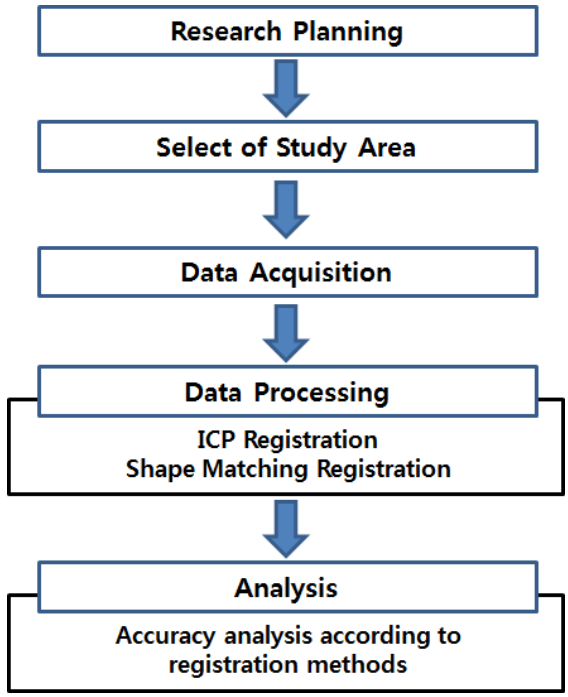

Fig. 1. Study flow

2. 정 합

대상물에 대해 3D 레이저 스캐너로 어느 한 측점에서 데이터를 얻는다면 취득되는 데이터는 국지 좌표계를 가진 점군데이터로 기록이 된다. 하지만 한 측점에서 취득한 데이터만으로는 대상물에 대한 모든 정보를 생성할 수 없고, 여러 측점에서 데이터를 취득하게 되므로 이를 통일된 좌표체계를 갖춘 하나의 점군데이터로 변환이 필요하며 이러한 과정을 정합이라고 한다(Kim *et al*., 2018).

본 연구에서는 정합 방법에 따른 점군데이터의 정확도 평가를 위해 ICP와 형상정합 방법으로 데이터를 구축하였다. ICP는 정합을 위해 소프트웨어에서 구형의 타겟을 이용하게 되는데 기존의 3D 레이저 스캐너 데이터의 정합에 많이 이용되어 왔다. Fig. 2는 구형 타겟을 나타낸다.

ICP는 점 선택(point selection), 이웃 선택(neighborhood selection), 점쌍 매칭(point pair matching), 오정합점 제거(outlier rejection), 오차 최소화(error minimization), 변환(transformation)의 단계를 거쳐 점군데이터의 정합이 이루어

Fig. 2. Spear target

진다(Horn, 1987). ICP는 대상물이 위치한 공간의 모든 방향으로 적용이 가능하며, 정합 과정이 비교적 간단하다는 장점이 있지만 점쌍 매칭 단계에서 취득된 데이터 간에 중복 영역이 적게 되면 정합이 잘못되는 경우가 발생하는 단점이 있어 건물과 같이 형상이 반복되는 경우 적용이 어려울 수 있다(Besl and McKay, 1992). Fig. 3은 ICP 정합과정을 나타낸다.

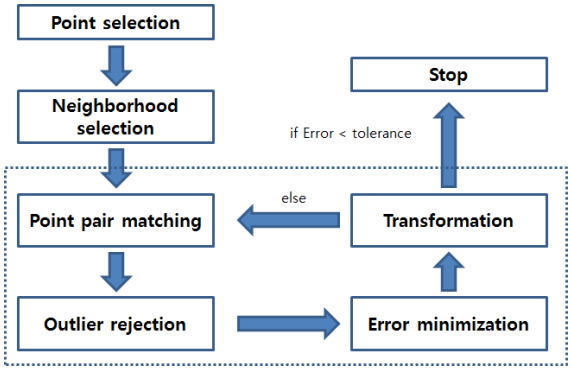

Fig. 3. Flowchart of ICP

형상정합 방법은 최근 상용 소프트웨어에 적용되기 시작하였으며, 기존 방법이 타겟을 이용하는 것에 비해 형상에 관한 정보를 추출하고, 이 정보에 기초하여 정합을 수행함으로써 데이터처리 과정을 단순화 할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 원시 점군데이터가 많은 노이즈를 가지고 있다면 정확도가 떨어지는 단점이 있다. Table 1은 형상정합 방법의 알고리즘을 나타낸다(He *et al*., 2017).

Table 1. Shape registration algorithm

1) Calculate the corresponding point $M_i^K \in M^K$ in the reference set M so that $\| \| M_i^K - S_i^K \| \| = \min$
2) Calculate the rotation matrix R^k and the translation vector T^k so that
$$\sum_{i=1}^{n} \| R^k S_i^k + T^k - M_i^k \|^2 = \min$$
3) $S^{k+1} = \{ S_i^{k+1} \mid S_i^{k+1} = R^k S_i^k + T^k, S_i^k \in S \}$
4) $d^{k+1} = \sum_{i=1}^{n} \| S_i^{k+1} - M_i^k \|^2$
5) If d^{k+1} is not less than the given τ value, return 1) until $d^{k+1} < \tau$ or k is greater than the preset maximum number of iterations.

3. 데이터 취득 및 처리

본 연구에서는 점군데이터의 정합 방법에 따른 정확도 평가를 위해 서울의 아파트 단지를 연구대상지로 선정하고 데이터 취득을 수행하였다. 데이터 취득을 위해 사용된 3D 레이저 스캐너는 Trimble의 SX10 모델을 사용하였으며, 데이터의 처리는 ICP와 형상정합 방법을 모두 지원하는 RealWorks 소프트웨어를 이용하였다. Fig. 4는 데이터 취득에 사용된 3D 레이저 스캐너이며, Table 2는 장비의 사양을 나타낸다.

Table 2. Specification

Item	Description
Scanning principle	Band scanning
Measurement rate	26.6 kHz
Point spacing	6.25mm, 12.5mm, 25mm
Field-of-view	360° x 300°
Range	0.9m ~ 600m
Scanning Accuracy	5”
3D position Accuracy	2.5mm(@100m)

Fig. 4. 3D laser scanner(Trimble Inc.)

ICP 정합을 위해 연구대상지에 4개의 구형 타겟을 설치하였으며, 데이터는 2개의 측점에서 360° 방향에 대해 10분씩 총 2회에 걸쳐 취득되었다. Fig. 5는 3D 레이저 스캐너 설치 지점 및 구형타겟이며, Fig. 6은 3D 레이저 스캐너를 통해 취득된 원시 점군데이터를 나타낸다.

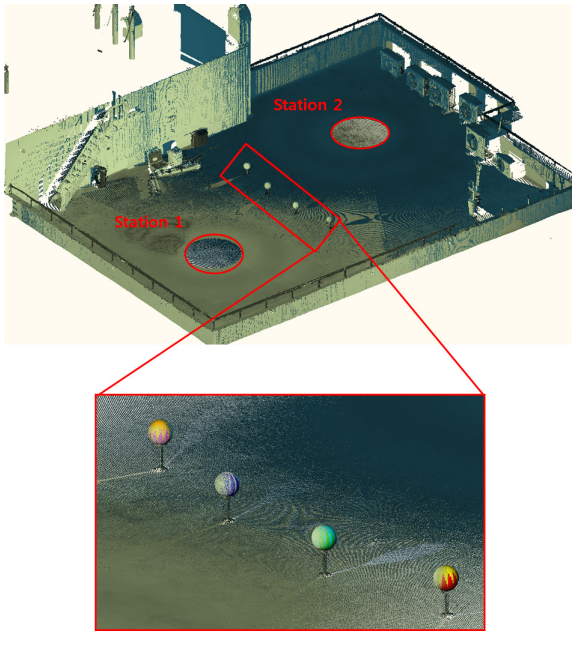

Fig. 5. Locations of 3D laser scanner and spear target for registration

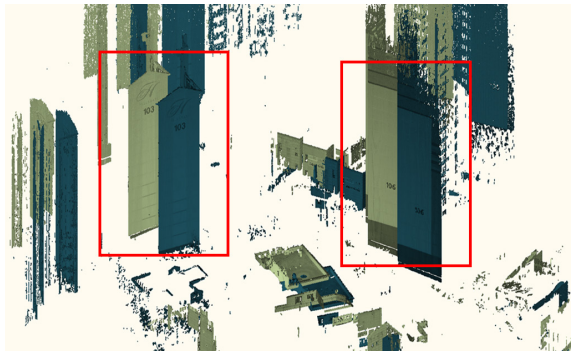

Fig. 6. Raw scanning data

Fig. 6에서 보는 것과 같이 3D 레이저 스캐너를 통해 취득된 원시데이터들은 각각의 국지 좌표계를 가지고 있어 서로 일치하지 않는 모습을 나타내고 있다. 정확도 평가를 위해 ICP와 형상정합 방법으로 각각 정합을 수행하였으며, Fig. 7은 정합 결과를 나타낸다.

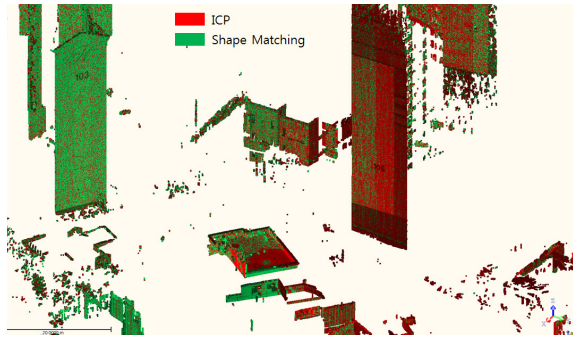

Fig. 7. Registration results

4. 정합 방법에 따른 정확도 평가

각각의 정합 방법에 따른 정확도 평가를 위해 연구 대상지에 약 6m~12m거리에 4개의 시트 타겟을 설치하고, 약 40m와 60m 거리에 각각 1개씩의 검사점을 선정하고, 토털스테이션을 통해 좌표성과를 취득하였다. Fig. 8과 Fig. 9는 각각 시트 타겟의 형상과 위치이며, Table 2는 검사점에 대한 좌표성과를 나타낸다.

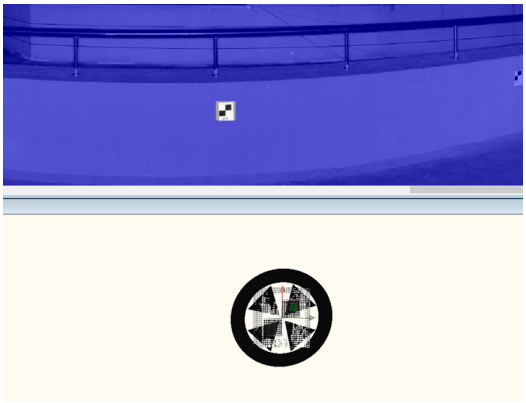

Fig. 8. Shape sheet target

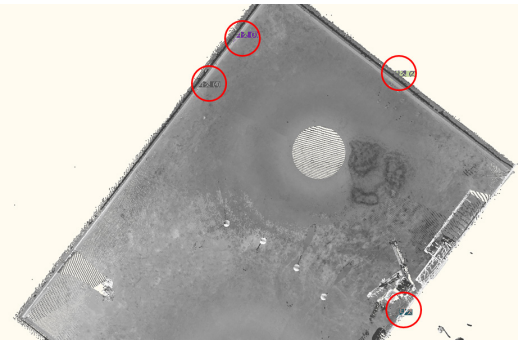

Fig. 9. Locations of sheet target

Table 2. Coordinate of check points

No.	X(m)	Y(m)	H(m)	D(m)*
CP1	449221.362	193845.357	41.529	12.284
CP2	449220.059	193843.658	41.471	10.704
CP3	449226.830	193844.011	41.545	12.090
CP4	449227.142	193835.828	41.965	6.203
CP5	449223.584	193799.088	68.695	43.9625
CP6	449255.55	193789.747	74.908	64.67562

* Distance from 1st station

토털스테이션 좌표성과를 기준으로 각 검사점의 편차를 계산하였으며, 그 결과는 Table 3에 나타내었다. 정확도 평가 결과 ICP 정합은 토털스테이션 성과와 0.002~0.005m, 형상정합 방법은 0.002~0.009m의 차이를 나타내었다. Table 3은 각각의 방법에 대한 측정점별 정확도 평가결과이며, Fig. 10은 검사점별 오차의 크기를 나타낸다.

각각의 정합 방법의 오차는 측정지점으로부터 거리가 멀어질수록 커지는 경향을 보였으나 모두 0.01m 미만으로 나타났으며, 이러한 결과는 대축척 수치지형도 제작의 허용정확도를 만족하는 것으로 ICP 및 형상정합을 이용한 점군데이터의 정합이 공간정보 구축에 활용 가능함을 나타낸다. 향후 추가적인 연구를 통해 다양한 조건에서의 분석이 필요할 것이며, 이

Table 3. Result of accuracy analysis

No.		dX(m)	dY(m)	dH(m)	Deviation
CP1	ICP	0.001	-0.003	0.001	0.003
	Shape Matching	-0.002	-0.001	-0.002	0.003
CP2	ICP	-0.001	0.001	0.002	0.002
	Shape Matching	0.002	0.001	-0.001	0.002
CP3	ICP	-0.001	-0.001	-0.001	0.002
	Shape Matching	0.001	0.002	0.002	0.003
CP4	ICP	0.001	-0.002	0.002	0.003
	Shape Matching	-0.001	0.002	-0.002	0.003
CP5	ICP	0.002	0.002	-0.002	0.003
	Shape Matching	-0.004	0.003	0.006	0.008
CP6	ICP	-0.002	0.003	0.004	0.005
	Shape Matching	0.004	0.006	-0.006	0.009

를 통해 활용성을 제시할 수 있을 것이다. 특히, 형상정합은 타겟의 설치 및 측량 과정을 줄일 수 있어 3D 레이저 스캐너를 활용한 공간정보 구축에서 작업의 생산성을 크게 향상시킬 수 있을 것이다. Table 4는 1:1,000 수치지형도의 허용정확도를 나타낸다.

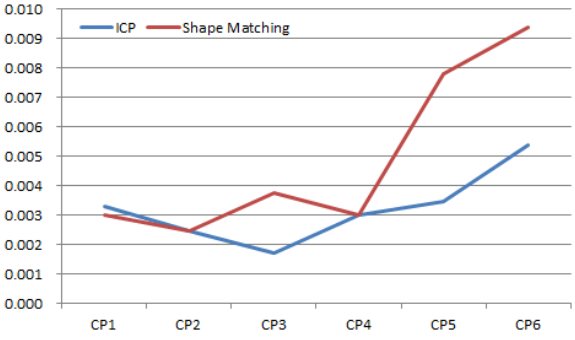

Fig. 10. Deviation of each checkpoints

Table 4. Permissible accuracy for numerical mapping (National Law Information Center)

Maximum error(m)		
Plane	**Contour**	**Height**
0.4	0.6	0.3

5. 결 론

본 연구에서는 3D 레이저 스캐너를 통해 취득되는 점군데이터의 정합 방법에 따른 정확도를 분석하고자 하였으며, 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 3D 레이저 스캐너를 통해 연구대상지의 점군데이터를 취득하고, 자료처리를 통해 ICP와 형상정합 방법에 의한 점군데이터의 정합을 수행하고, 토털스테이션 측량성과와 비교하여 정확도를 분석하였다.

2. 정확도 평가 결과 ICP와 형상정합 방법은 각각 토털스테이션 성과와 0.002~0.005m, 0.002~0.009m의 차이를 나타내었으며, 측정점과의 거리에 따라 편차의 크기가 증가하는 경향을 나타내었다.

3. 각각의 정합 방법은 실험결과 모두 0.01m 미만의 편차를 나타내어 1:1,000 수치지형도의 허용정확도를 만족하였으며, 이러한 결과는 연구에서 검토한 점군데이터의 정합 방법이 공간정보 구축에 충분히 활용 가능함을 나타낸다.

4. 향후 형상정합 방법은 3D 레이저 스캐너를 활용한 공간정보 구축 과정에서 타겟의 설치 및 측량 과정을 줄임으로써 생산성 향상에 기여할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2018R1C1B6004021)

References

Agarwal, S. and Bhowmick, B. (2017), 3D point cloud registration with shape constraint, *2017 IEEE International Conference on Image Processing*, September, Beijing, China, pp. 17-20.

Besl, P. and McKay, N. (1992), A method for registration of 3-d shapes, *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 14, No. 2, pp. 239–256.

He, Y., Liang, B., Yang, J., Li, S., and He, J. (2017), An Iterative Closest Points Algorithm for Registration of 3D Laser Scanner Point Clouds with Geometric Features, *Sensors*, Vol. 17, No. 8.

Horn, B. (1987), Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions, *Journal of the Optical Society of America A*, Vol. 4, No. 4, pp. 629-642.

Kang, T.W., Kim, J.E., and Jung, T.S. (2016), Study on 3D Reverse Engineering-based MEP Facility Management Improvement Method, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 17, No. 8, pp. 38-45. (in Korean with English abstract)

Kim, C.H., Kim, H.W., Kang, G.M., Kim, G.Y., Kim, W.H., Park, C.H., Do, J.D., Lee, M.H., Choi, S.Y., and Park, H.Y. (2017), Shipborne Mobile LiDAR(Light Detection and Ranging) System for the Monitoring of Coastal Changes, *Journal of the Korean Society of Economic and Environmental Geology*, Vol. 49, No. 4, pp. 281-290. (in Korean with English abstract)

Kim, J., An, S.Y., Min, J.H., and Bae, K.S. (2017), Analysis of Traversable Candidate Region for Unmanned Ground Vehicle Using 3D LIDAR Reflectivity, *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 41, No. 11,

pp. 1047-1053. (in Korean with English abstract)

Kim, J.G., Lee, J.H., park, S.M., and Ko, K.H. (2018), A Modified Method for Registration of 3D Point Clouds with a Low Overlap Ratio, *Journal of the Korea Computer Graphics Society*, Vol. 24, No. 5, pp. 11-19. (in Korean with English abstract).

Kim, J.U., Lee, W.H., and Shin, H.S. (2018), A Study on Landscape Management Techniques of Cultural Heritage Designated Area Using 3D Mapping Method, *Journal of the Korean Institute of Traditional Landscape Architecture*, Vol. 36, No. 1, pp. 97-108. (in Korean with English abstract)

Lee, H.H., Lee, J.I., Oh, M.K., and Lee, K.D. (2016), Experimental Comparative Analysis of Terrestrial Lidar Data and Cadastral Data for the Calculation of the Slope Area of Highland Agriculture Region, *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, Vol. 46, No. 2, pp. 137-153. (in Korean with English abstract).

Lee, K.W. and Park, J.K. (2016), Application of Terrestrial LiDAR for Displacement Detecting on Risk Slope, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 20, No. 1, pp. 323-328.

Lee, K.W. and Park, J.K. (2019), Comparison of Characteristics of 3D Laser Scanner for Construction of Indoor Geospatial Information, *International Journal of Advanced Science and Technology*, Vol. 129, pp. 151-160.

Liu, J., Shang, X., Yang, S., Shen, Z., Liu, X., Xiong, G. and Nyberg, T.R. (2017), Research on Optimization of Point Cloud Registration ICP Algorithm, *Image and Video Technology*, pp.81-90.

National Law Information Center (2019), Regulation of Technology Service enterprise, *National Law Information Center*, http://www.law.go.kr/ (last date accessed: 10 February 2020).

Park, H.K. (2018), 3D Measurement Method Based on Point Cloud and Solid Model for Urban SingleTrees, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 33, No. 6-2, pp. 1139-1149. (in Korean with English abstract)

Seo, J.P., Lee, C.W., Kim, D.Y., and Woo, C.S. (2016), Estimating of Annual Sediment Yield at Mountain Stream in Fire/landslide Damaged Forest by using Terrestrial LiDAR Spatial Analysis, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigration*, Vol. 16, No. 6, pp. 219-227. (in Korean with English abstract).

Son, M.H. and Yoon, H.C. (2015), An Accuracy on the Analysis of Terrestrial LiDAR in recordation of culture properties, *Journal of the Korean CadastreInformation Association*, Vol. 17, No. 3, pp. 3-10. (in Korean with English abstract)

Trimble Inc. (2019), SX10 Datasheet, *Trimble Inc.*, https://www.trimble.com/ (last date accessed: 10 February 2020).

Xin, W. and Pu, J. (2010), An Improved ICP Algorithm for Point Cloud Registration, 2010 International Conference on Computational and Information Sciences, 17-19 December, Chengdu, China, pp. 565-568.