

## 터널측량의 효율성 향상을 위한 스캐닝 토탈스테이션의 활용

박준규<sup>1</sup>, 김민규<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>서일대학교 토목공학과, <sup>2</sup>(주)지오시스템 기술영업부

### Application of Scanning Total Station for Efficiency Enhancement of Tunnel Surveys

Joon-Kyu Park<sup>1</sup>, Min-Gyu Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Seoil University,

<sup>2</sup>Department of Technical Sales, Geosystem

**요약** 터널공사에서 굴착 시 발생하는 미굴 및 여굴은 공사의 비용을 증가시키는 요인으로 이에 대한 관리가 필수적이다. 기존의 터널측량에는 위성 수신에 어렵기 때문에 GNSS 보다 토탈스테이션이 많이 활용되어왔다. 하지만 이 방법은 터널 내부에 많은 기준점을 설치하고, 장비의 이동이 많기 때문에 자료 취득에 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 토탈스테이션과 3차원 레이저 스캐너가 통합된 스캐닝 토탈스테이션을 터널측량에 적용하고, 이에 대한 활용성을 평가하고자 하였다. 경기도 남양주시 일원의 터널공사 현장을 연구대상지로 선정하고 스캐닝 토탈스테이션을 활용하여 기존의 토탈스테이션이나 3차원 레이저 스캐너보다 자료 취득 시간을 단축할 수 있었으며, 터널 설계도와 비교한 각 단면의 미굴 및 여굴량을 효과적으로 산출할 수 있었다. 또한 스캐닝 자료를 활용하여 해당 단면에 대한 분석은 물론, 자료 취득 영역에 대한 연속적인 분석 결과를 효과적으로 생성할 수 있었다. 향후 스캐닝 토탈스테이션을 터널측량에 활용한다면 기존 토탈스테이션과 3차원 레이저 스캐너의 단점을 보완하여 작업의 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다.

**Abstract** Over- and under-excavation are factors that increase construction cost of tunnels, which makes management essential. Total stations have been used for tunnel surveying because GNSS is difficult to use in tunnels. However, it takes much time to acquire data using total stations. In this study, a total station was integrated with a 3D laser scanner and used for tunnel surveying in Namyangju-si, Gyeonggi-do. The scanning total station reduced the work time compared to the conventional method. Furthermore, reports were effectively generated for overbreak and underbreak for each section and compared with the design. In addition, we could analyze both the cross section and scanned area effectively by using the scanning data. This method can improve the efficiency of tunnel surveying work by combining the advantages of a conventional total station and a 3D laser scanner.

**Keywords** : 3D Laser Scanner, Over and under excavation, Scanning Total Station, Tunnel Surveys, Volume calculation

### 1. 서론

현재 산업현장에서 활용되는 측량장비는 GPS, 토탈스테이션, 레이저 스캐너 등이 있다. 토탈스테이션은 측

량하고자 하는 위치에 레이저를 발사하고 목표물에 반사되어 돌아오는 레이저의 위상차를 이용하여 거리를 측정 한 후에 측정된 거리와 레이저가 발사된 각도를 이용하여 목표물의 좌표를 계산한다[1,2]. GPS는 시준이 필요

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology(no. NRF-2015R1A1A1A05001366)

\*Corresponding Author: Min-Gyu Kim(Geosystem)

Tel: +82-2-707-9511 email: mgkim@geosys.co.kr

Received February 14, 2017

Revised March 6, 2017

Accepted April 7, 2017

Published April 30, 2017

한 토탈스테이션의 단점을 극복한 측량방법으로 위성에서 수신기까지의 거리를 측정하여 수신기의 3차원 위치를 결정하고 좌표를 획득한다[3,4]. 토탈스테이션 측량은 자료취득에 많은 시간이 소요되는 단점이 있으며, GPS는 위성 수신이 가능해야 한다는 단점이 존재한다.

토탈스테이션의 적은 자료양과 오랜 측정시간, GPS의 단점을 보완하기 위한 장비로써 최근 3차원 레이저 스캐너가 주목받고 있다. 3차원 레이저 스캐너는 다양한 분야에서 활용되고 있는데 토목분야에서는 3차원 레이저 스캐너를 활용한 연구 및 적용방안이 주를 이루고 있다[5,6].

터널측량은 현장 여건 상 GNSS 측량이 어렵기 때문에 기존에 토탈스테이션 측량이 주로 사용되어 왔다. 토탈스테이션을 이용하여 시공단면의 형상을 3차원 좌표로 관측하고, 이를 설계값과 비교하여 해당 터널 단면의 미굴 및 여굴량을 구하는 것으로 시공단계별로 다양하게 활용된다. 발파면의 여굴량을 분석하여 후속발파에 적용할 천공계획의 기초자료를 추출하고, 발파단면의 평면위치오차와 수직위치오차를 분석하여 터널의 굴진오차를 3차원으로 검측한다. 슛크리트 타설 후에는 슛크리트 시공 두께를 확인하고 향후 타설 될 라이닝콘크리트 두께의 확보여부를 판단함과 더불어 그 양을 산출하는데 활용되고 있다[7,8]. 토탈스테이션 측량은 자료 취득에 많은 시간이 소요되기 때문에 최근 3차원 레이저 스캐너를 터널측량에 활용하는 사례가 증가하고 있다[9,10]. 하지만 3차원 레이저 스캐너를 활용할 경우 취득되는 자료의 geo-referencing을 위해 터널 내부에 많은 숫자의 기준점을 설치해야 하는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 토탈스테이션과 3차원 레이저 스캐너가 통합된 스캐닝 토탈스테이션을 터널측량에 적용하고, 이에 대한 효율성을 판단하고자 한다. 그림 1은 연구 흐름도를 나타낸다.

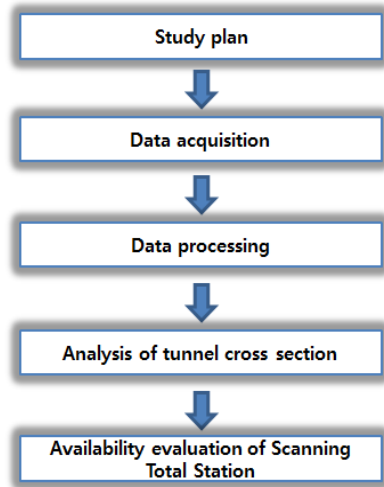


Fig. 1. Study flow chart



Fig. 2. Study area

자료 취득에 활용된 스캐닝 토탈스테이션은 T사의 SX10 모델이며, 토탈스테이션과 3차원 레이저 스캐너를 통합한 장비이다. 그림 3은 스캐닝 토탈스테이션이며, 표 1에 제원을 나타내었다[11].

## 2. 터널측량 및 자료 획득

본 연구에서는 스캐닝 토탈스테이션을 이용한 터널측량을 위해 경기도 남양주시 일원의 터널공사 현장을 연구대상지로 선정하고, 터널 내부 중 일부에 대한 자료를 취득하였다. 고속도로 터널 구간의 약 220m 연장에 대해 자료를 취득하였으며, 측정은 4회에 걸쳐 약 1시간 정도가 소요되었다. 그림 2는 연구대상지를 나타낸다.



Fig. 3. Scanning Total Station

Table. 1. Specification of scanning total station

Item	Description
Weight	7.5 kg
Angle Accuracy	1" (0.3 mgon)
Distance Accuracy	prism : 1 mm + 1.5 ppm
	DR : 2 mm + 1.5 ppm
Survey Range	prism : 5,500m
	DR : 800m
	Autolock : 300-800m
Scan Speed	26,600 point/second

자료 취득은 터널 입구의 기준점에서 시작하여 터널 내부로 기계점을 옮겨 가며 수행되었다. 자료 처리를 위한 중복도를 고려하여 1회 약 100m 구간에 대한 스캐닝을 수행하였으며 약 50%의 중복도를 주어 총 4회에 걸쳐 자료를 취득하였다. 자료 취득에 소요된 시간은 총 1시간 정도로 토털스테이션이나 3차원 레이저 스캐너를 활용하는 경우보다 측정시간을 약 30% 단축할 수 있었다. 그림 4는 자료 취득 모습이며, 그림 5는 취득된 자료 중 일부를 나타낸다.

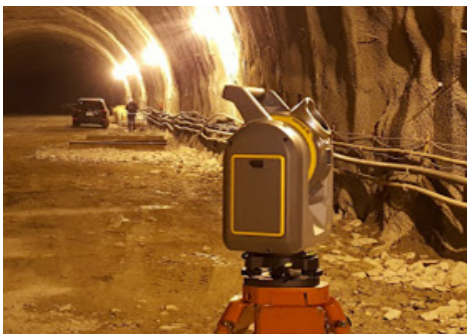
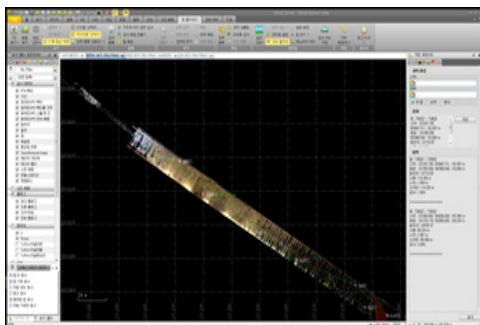


Fig. 4. Data acquisition



(a) Point cloud



(b) Camera image

Fig. 5. Acquired data

### 3. 자료 처리 및 분석

스캐닝 자료의 처리를 위해 RealWorks 소프트웨어에서 자료 정합을 수행하고, 설계단면에 대한 미굴 및 여굴량을 계산하였다. 정합은 스캐닝 토털스테이션의 트래버스 기능과 형상 정합 기법을 이용하여 자동으로 수행하였다. 그림 6은 정합이 완료된 자료를 나타낸다.



Fig. 6. Registration data

스캐닝 토털스테이션에 의한 터널측량 결과물의 활용성 평가를 위해 터널 설계도면을 기반으로 터널단면을 생성하고, 스캔 결과와 비교하였다. 그림 7은 설계자료에 의한 터널단면을 나타낸다.



Fig. 7. Cross section of tunnel by design data

설계자료에 의한 터널단면을 스캐닝 토탈스테이션 성과와 중첩하여 해당 단면에 대한 미굴 및 여굴량을 계산하였다. 그림 8은 설계도와 스캐닝 자료의 중첩을 나타내며 그림 9는 단면의 미굴 및 여굴량 계산결과를 나타낸다.

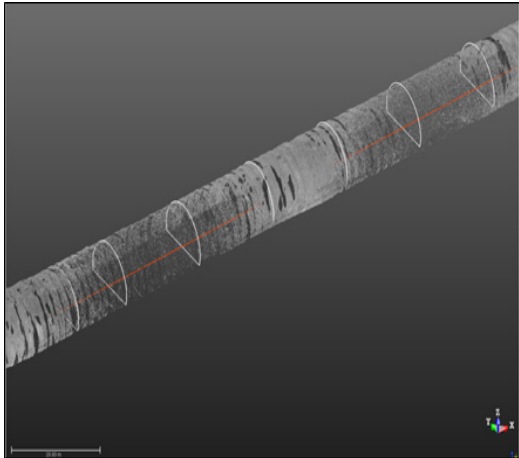


Fig. 8. Overlap of scanning data and designed data

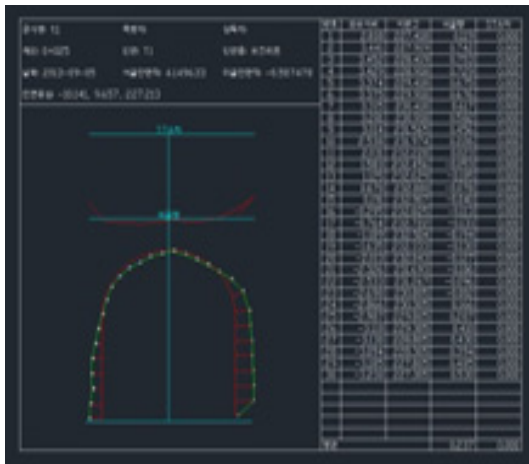


Fig. 9. Calculation result of over and under excavation

그림 9에서 보는 바와 같이 스캐닝 토탈스테이션 성과물을 이용하여 설계도와 비교한 각 단면의 미굴 및 여굴량을 효과적으로 산출할 수 있었다.

한편, 스캔 자료를 활용한다면 해당 단면에 대한 분석 뿐만 아니라 스캐닝 구간에 대한 형상의 연속적인 분석도 가능하다. 그림 10에 설계자료와 비교한 터널 형상에 대한 분석 결과를 나타내었다.

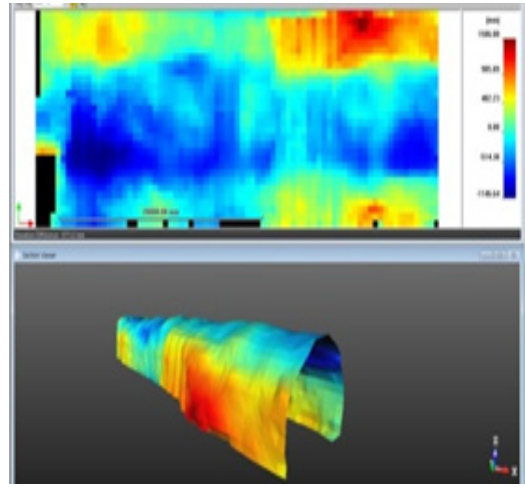


Fig. 10. Analysis result of tunnel shape

터널 단면에 대한 계산결과를 이용하여 미굴 및 여굴에 대한 체적을 계산하였으며, 스캐닝을 수행한 220m 구간에 대한 각 단면별 결과와 구간 전체에 대한 결과물을 생성하였다. 그림 11은 단면에 대한 체적 계산을 나타내며, 그림 12는 각 단면 및 스캐닝 구간에 대한 형상 분석 결과를 나타낸다.

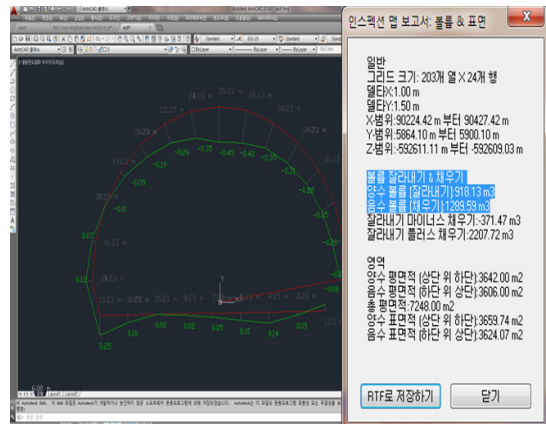


Fig. 11. Volume calculation about cross section

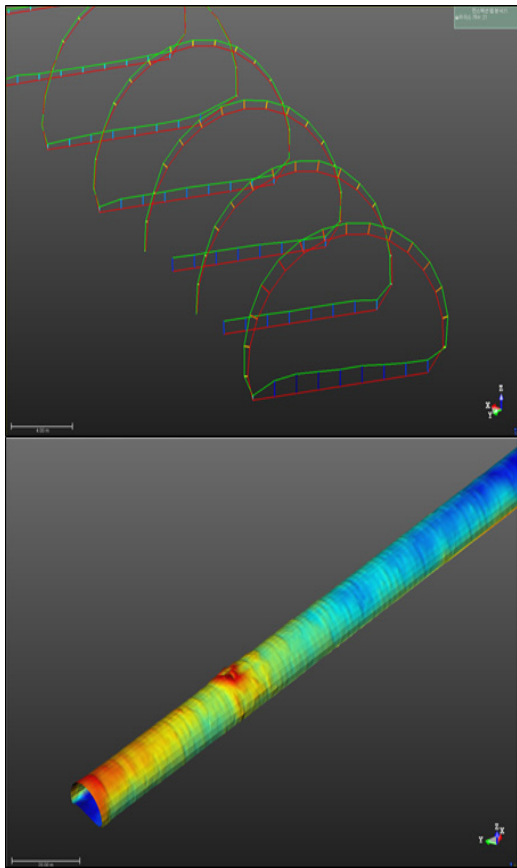


Fig. 12. Result of shape analysis

스캐닝 토털스테이션의 성과물을 이용해 터널의 설계 자료와 비교한 미굴 및 여굴량에 대한 분석이 가능하였으며, 작업 구간 전체에 대한 연속적인 성과물을 생성할 수 있었다. 스캐닝 토털스테이션은 토털스테이션과 3차원 레이저 스캐너의 단점을 보완하여 터널측량 업무의 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다.

#### 4. 결론

본 연구는 토털스테이션과 3차원 레이저 스캐너가 통합된 스캐닝 토털스테이션을 터널측량에 적용하고, 이에 대한 활용성을 평가하고자 한 것으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 스캐닝 토털스테이션을 활용하여 기존의 토털스테이션이나 3차원 레이저 스캐너보다 자료 취득 시

간을 약 30%단축할 수 있었다.

2. 터널측량 성과물을 이용하여 설계도와 비교한 각 단면에 대한 미굴 및 여굴량을 효과적으로 산출할 수 있었다.
3. 스캐닝 자료를 활용하여 해당 단면에 대한 분석뿐만 아니라 자료 취득 영역에 대한 연속적인 분석결과를 산출할 수 있었다.
4. 스캐닝 토털스테이션을 활용한다면 기존 토털스테이션과 3차원 레이저 스캐너의 단점을 보완하여 터널측량 업무의 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다.

#### References

- [1] M. H. Kim and T. S. Bae, "Preliminary Analysis of Network-RTK for Navigation", *Journal of the Korean Society of Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, vol. 33, no. 5, pp. 343-351, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2015.33.5.343>
- [2] J. K. Park, M. G. Kim and J. S. Lee, "Construction of Expert Service for GPS Relative Positioning Data Processing", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 14, no. 5, pp. 2481-2486, 2013.  
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.5.2481>
- [3] J. K. Park and K. Y. Jung, "Availability Evaluation of DGPS and Smart Device for Field Survey", *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, vol. 6, no. 12, pp. 631-638, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.14257/AJMAHS.2016.12.37>
- [4] D. Y. Um and J. S. Lee, "Analysis of Target Area to Construct the Urban Forests for Carbon Offset using GIS in Daejeon", *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, vol. 6, no. 12, pp. 621-630, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.14257/AJMAHS.2016.12.36>
- [5] Y. J. Choung, "Development of a Dike Line Selection Method Using Multispectral Orthoimages and Topographic LiDAR Data Taken in the Nakdong River Basins", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, vol. 33, no. 3, pp. 155-161, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2015.33.3.155>
- [6] Y. R. Choi, J. S. Lee and H. C. Yun, "Extraction of Forest Resources Using High Density LiDAR Data", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, vol. 33, no. 2, pp. 73-81, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2015.33.2.73>
- [7] I. S. Kim and S. B. Choi, "A Study on 3D Section Profiling Surveying in Tunnel Excavation Using a Laser Scanner", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 27, no. 4D, pp. 541-546, 2007.

- [8] S. P. Choi, J. H. Ham, M. S. Kim, I. T. Yang and U. N. Kim, "Slope Terrain Analysis According to Geographical Feature and Survey Place Based on Terrestrial LiDAR Data", *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, vol. 18, no. 2, pp. 63-68, 2010.
- [9] Y. S. Jwa, G. H. Sohn, J. U. Won W. C. Lee and N. H. Song, "Railway Track Extraction from Mobile Laser Scanning Data", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, vol. 33, no. 2, pp. 111-122, 2015.  
DOI: <http://doi.org/10.7848/ksgpc.2015.33.2.111>
- [10] S. W. Shin, K. I. Bang and W. S. Cho, "Planar Patch Extraction from LiDAR Data Using Optimal Parameter Selection", *Journal of the Korea Society For Geospatial Information System*, vol. 19, no. 1, pp. 97-103, 2011.
- [11] Trimble Inc., SX10 datasheet[Internet]. Trimble Inc., 2017, Available From: <http://www.trimble.com/Survey/Total-Station-SX10.aspx>. (accessed Feb.02, 2017)

**박 준 규(Joon-Kyu Park)**

[중신회원]



- 2001년 2월 : 충남대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 토목과 조교수

<관심분야>

지형공간정보공학

**김 민 규(Min-Gyu Kim)**

[정회원]



- 2006년 2월 : 충남대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 2008년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2012년 8월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2013년 1월 ~ 현재 : ㈜지오시스템 차장

<관심분야>

지형공간정보공학