

구조물 및 지형변위 모니터링을 위한 토탈스테이션의 활용

박준규¹, 엄대용^{2*}

¹서일대학교 토목공학과, ²한국교통대학교 토목공학과

Application of Total Station for Structure and Terrain Displacement Monitoring

Joon-Kyu Park¹, Dae-Yong Um^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Seoil University

²Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation

요약 최근 기상이변으로 인한 재해가 전 세계적으로 증가하고 있으며, 세계적으로 재해로 인한 피해가 커지고 있어 국내에서도 지진, 태풍, 지반침하 등 재해에 대한 관심이 높아지고 있다. 우리나라는 재난관리에 의한 특별법을 제정하고, 장대교량 및 초고층 복합건축물은 시설물의 변위상태 측정을 위해 정밀센서와 관련 시스템 등을 구축하여 개별 시설물 단위의 모니터링 시스템을 구축하도록 하고 있다. 하지만 사면이나 노천광산, 중, 소규모의 구조물에 대해서는 기상, 측정방법, 비용, 상시 모니터링의 어려움으로 인해 실시간 모니터링 시스템의 적용이 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 토탈스테이션을 활용한 변위 모니터링 방안을 연구하고, 실험을 통해 적용성을 제시하고자 하였다. 연구 결과 토탈스테이션을 이용하여 지형이나 구조물의 변위를 측정할 수 있는 모니터링 시스템의 개념과 운영 흐름을 제시하였다. 모니터링 시스템은 현장상황에 따라 장비를 설치할 수 있도록 장비의 위치 및 운용 방식을 선택하고, 대상물에 대한 관측 횟수, 주기, 관측범위 등을 설정할 수 있도록 하였다. 모니터링 시스템에 대한 실험을 통해 5mm 이내의 정밀도로 측정을 모니터링 하였으며, 토탈스테이션을 이용한 대상물의 변위 모니터링이 가능함을 제시하였다. 향후, 추가적인 연구를 통해 실제 사면이나 구조물에 대한 모니터링의 적용성을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract Recently, disasters caused by extreme weather and the damage caused by them are increasing worldwide. The interest in disasters, such as earthquakes, typhoons, and ground subsidence, is increasing in Korea. Korea has enacted a special law based on disaster management, and has built monitoring systems for individual facility units by building precision sensors and related systems to measure the displacement status of long bridges and high-rise composite buildings. On the other hand, the application of a real-time monitoring system is insufficient for slopes, open-pit mines, small and medium structures due to weather, measurement methods, cost, and constant monitoring difficulties. In this study, the displacement monitoring method using the total station was studied and the applicability was suggested through the experiment. Through the research, the concept and operation flow of a monitoring system that can measure the displacement of the terrain or the structure using the total station was presented. The monitoring system allows the user to select the location and operation method of the equipment so that the equipment can be installed according to the site situation, and set the number of observations, the period, and the observation range of the object. Using the experiment on the monitoring system, the station was monitored with precision within 5mm, and it was suggested that the displacement of the object can be monitored using the total station. Further research will be needed to assess the applicability of monitoring to real slopes and structures.

Keywords : Disaster, Displacement, Monitoring, Structure, Total Station

이 성과는 2018년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2018R1C1B6004021)

*Corresponding Author : Dae-Yong Um(Korea National University of Transportation)

email: dyum@ut.ac.kr

Received February 28, 2020

Revised March 11, 2020

Accepted April 3, 2020

Published April 30, 2020

1. 서론

우리나라는 국토의 70%가 산지이며, 여름철 집중호우 발생으로 인해 산사태에 의한 재해발생이 빈번하고, 최근에는 기상이변으로 인한 집중호우의 발생이 많아져 산사태에 대한 관심과 경각심이 커지고 있다[1-4]. 또한 일본, 아이티, 칠레, 터키, 뉴질랜드 등에서는 대규모 지진으로 수많은 인명과 재산피해가 발생하였으며[5-8], 세계적으로 재해로 인한 피해가 커지고 있어 지진, 태풍, 지반침하 등 재해에 대한 관심이 높아지고 있다[9-11]. 우리나라는 재난관리에 의한 특별법을 제정하고, 장대교량 및 초고층 복합건축물은 시설물의 변위상태 측정을 위해 정밀센서와 관련 시스템 등을 구축하여 개별 시설물 단위의 모니터링 시스템을 구축하고 있다[12-15]. 하지만 사면이나 노천광산, 중, 소규모의 구조물에 대해서는 기상, 측정방법, 비용, 상시 모니터링의 어려움으로 인해 실시간 모니터링 시스템의 적용이 미흡한 실정이다[16].

사면, 구조물 등 대상의 특성에 따라 정밀하고 신뢰성 있는 변위의 변동측정이 필요하며, 변위를 실시간으로 관리할 수 있도록 하는 범용적인 센서를 활용한 공간정보 기반의 모니터링 체계 확립이 필요한 시점이다. 이에 본 연구에서는 토털스테이션을 활용한 변위 모니터링 방안을 연구하고, 실험을 통해 적용성을 제시하고자 하였다. 2장에서는 변위 모니터링 방안을 기술하며, 3장에서는 변위 모니터링을 위한 실험 및 결과를 분석한다. Fig. 1은 연구흐름도를 나타낸다.

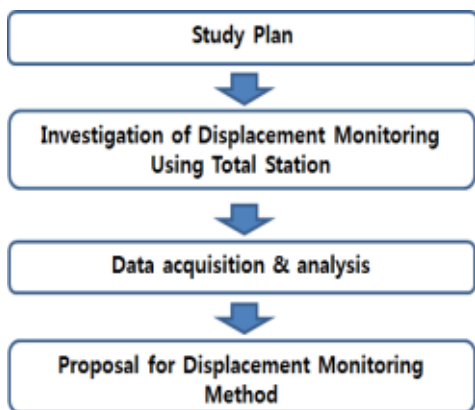


Fig. 1. Study flow

2. 변위 모니터링 방안 연구

본 연구에서는 토털스테이션을 이용하여 지형이나 구조물의 변위를 측정할 수 있는 모니터링 시스템을 구축하고자 하였다. 시스템은 대상지의 고정된 위치에 설치된 토털스테이션으로부터 설정된 모니터링 지점을 주기적으로 관측하고, 인터넷을 통해 결과를 사무실로 전송하는 개념으로 설계하였다. 토털스테이션으로부터 취득되는 대상물의 위치정보를 전송하는 모니터링 소프트웨어는 데이터의 관리, 시각화, 알람 등의 기능을 포함하도록 하였다. Fig. 2는 시스템의 개념을 나타낸다.



Fig. 2. System concept

변위 모니터링 시스템은 토털스테이션으로부터 서버 PC로 인터넷을 이용한 실시간 데이터 전송을 수행하고, 소프트웨어는 데이터 분석을 통해 모니터링 결과에 대한 시각화와 알람이 가능하도록 운영된다. 현장에 설치되는 토털스테이션의 경우, 지속적인 운영을 위한 전원장치 및 인터넷 연결이 필요하며, 모니터링을 위한 설정이 가능해야 한다. Fig. 3은 모니터링 시스템의 운영도를 나타낸다.

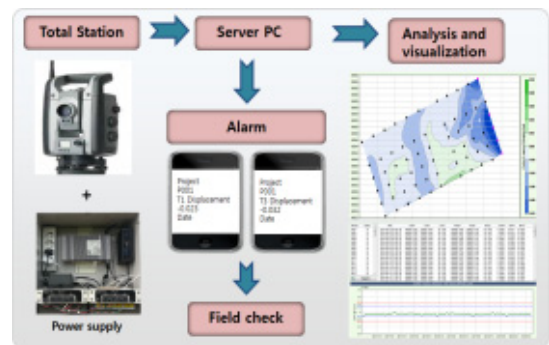


Fig. 3. Operation chart of the system

모니터링을 위한 설정은 현장상황에 따라 장비를 설치할 수 있도록 장비의 위치 및 운용 방식을 선택하고, 대상물에 대한 관측 횟수, 주기, 관측범위 등을 설정할 수 있도록 하였다.

토탈스테이션의 설치 위치는 정밀한 모니터링을 위해 변위가 발생하지 않아야 하므로 주기적으로 위치를 점검할 수 있도록 하였다. 점검 방식은 현장 여건에 따라 1개~3개의 기지점을 이용하는 방식으로 수행할 수 있도록 하였다. 각 기지점과의 거리측정을 통해 토탈스테이션의 위치를 관측 전 미리 확인하고, 위치가 설정한 값 이상으로 변하는 경우 알람을 할 수 있도록 하였다. Fig. 4는 토탈스테이션의 위치 점검을 위한 설정을 나타낸다.



Fig. 4. Location check of total station

대상물의 모니터링을 위한 주기적인 관측이 수행될 수 있도록 관측점을 지정하고, 각 관측점에 대한 관측횟수, 관측지연시간, 관측범위 등을 설정할 수 있도록 하였다. Fig. 4는 관측점에 대한 설정을 나타낸다. 관측횟수는 하나의 목표물에 대한 관측 횟수로 1회 이상 관측이 이루어지면 관측한 모든 값의 평균을 관측값으로 하도록 하였다.



Fig. 5. Settings for observation point

모니터링 결과는 실시간으로 서버 PC로 전송되어 기

록 및 분석되며, 시각화를 위한 대상지의 측정 위치도 및 그래프 생성이 가능하도록 하였다. Fig. 6은 측정위치도를 나타낸다.



Fig. 6. Position chart

측정위치도는 측정점들의 위치를 나타내며, 토탈스테이션으로 취득되는 3차원 위치정보를 이용해 지형에 대한 등고선을 나타낼 수 있도록 하였다. 주기적으로 취득되는 측정점 데이터는 텍스트 형태의 데이터로 기록되며, 가시성을 높이기 위해 측정별로 그래프 형태로 나타낼 수 있도록 하였다. Fig. 7은 변위 그래프를 나타낸다.



Fig. 7. Displacement graph

3. 변위 모니터링을 위한 실험

본 연구에서는 변위 모니터링 실험을 위해 실내에 토탈스테이션을 설치하고, 벽면의 측점에 타겟을 부착하여 토탈스테이션을 이용한 모니터링을 수행하였다. Fig. 8은 벽면에 설치한 타겟을 나타낸다.



Fig. 8. Target

실험에 사용된 토털스테이션은 T사의 S7 모델이다. 프리즘을 이용할 경우 최대 5,000m까지 관측이 가능하며, $(1\text{mm} \pm 2\text{ppm}) \times D$ (거리)의 정확도를 가진다[17]. 측점에 대해 10초 간격으로 2회씩 관측하며, 결과를 기록하고, 그래프를 생성하였다. Table 1은 토털스테이션의 성능이며, Table 2는 관측결과 중 일부이다. 모니터링 결과에 대한 그래프를 Fig. 9에 나타내었다.

Table 1. Specification of total station

Item	Description
Angle accuracy	1"
Distacne	5,000m
Range accuracy	$(1\text{mm} \pm 2\text{ppm}) \times D$

실험을 통해 Table 2와 Fig. 9에서 보는 바와 같이 토털스테이션을 이용한 대상물의 주기적인 모니터링이 가능하였다. 대상물에 대한 측정값의 분포는 5mm 이내로 나타났으며, 이는 토털스테이션의 거리정확도에 따른 것으로 판단된다. 효과적인 모니터링을 위해 현장의 여건에 맞는 성능의 장비 선택이 필요하며, 향후 추가적인 연구를 통해 실제 사면이나 구조물에 대한 모니터링의 적용성을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. Fig. 10은 노천광산 모니터링을 위한 측점배치의 예를 나타낸다.

Table 2. Observation result - sample

Point	X(N)	Y(E)	Z
D1-11	515457.482	209027.0383	95.7695
D1-12	515457.482	209027.0383	95.7695
D1-21	515457.4126	209027.3551	98.8358
D1-22	515457.4126	209027.3551	98.8358
D1-31	515457.0365	209029.0971	101.383
D1-32	515457.0365	209029.0971	101.383
D1-41	515455.9808	209032.9436	102.8995
D1-42	515455.9808	209032.9436	102.8995
D1-51	515455.3764	209036.9527	101.4057
D1-52	515455.3764	209036.9527	101.4057
D1-61	515454.96	209038.8146	98.7125
D1-62	515454.96	209038.8146	98.7125
D1-71	515454.8604	209039.1421	95.8751
D1-72	515454.8604	209039.1421	95.8751
D2-11	515563.7145	209056.2139	93.3999
D2-12	515563.7145	209056.2139	93.3999
D2-21	515554.599	209051.4616	93.6608
D2-22	515554.599	209051.4616	93.6608
D2-31	515544.2507	209051.6661	93.5667
D2-32	515544.2507	209051.6661	93.5667
D2-41	515535.1236	209047.0097	93.8281
D2-42	515535.1236	209047.0097	93.8281
D2-51	515534.514	209049.4168	93.6587
D2-52	515534.514	209049.4168	93.6587
D2-61	515505.7619	209040.3098	94.0713
D2-62	515505.7619	209040.3098	94.0713
D2-71	515505.2368	209042.7412	93.8945
D2-72	515505.2368	209042.7412	93.8945
D3-11	515476.5035	209033.7655	94.2977
D3-12	515476.5035	209033.7655	94.2977
D3-21	515475.98	209036.1845	94.1346
D3-22	515475.98	209036.1845	94.1346
D3-31	515447.1225	209027.3974	94.5735
D3-32	515447.1225	209027.3974	94.5735
D3-41	515446.6044	209029.812	94.4328
D3-42	515446.6044	209029.812	94.4328
D3-51	515417.8451	209021.1366	94.7702
D3-52	515417.8451	209021.1366	94.7702
∴	∴	∴	∴

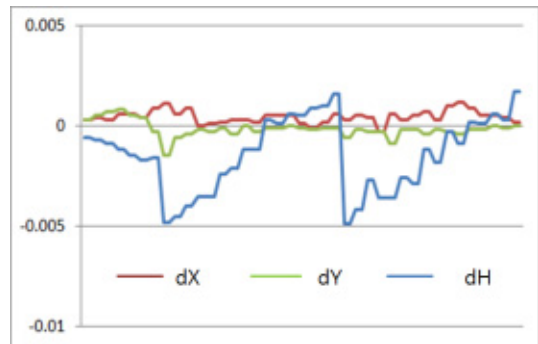


Fig. 9. Graphs of observation result

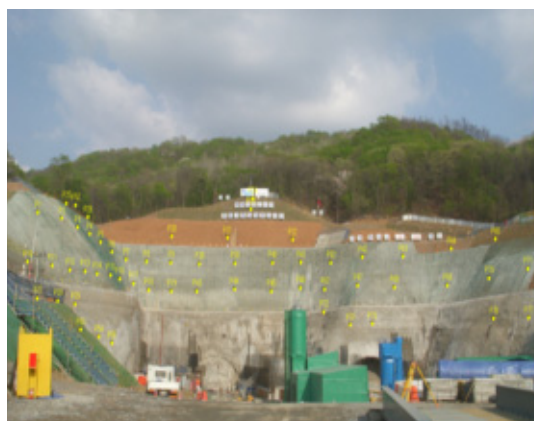


Fig. 10. Example of target locations for open-pit mine monitoring

4. 결론

본 연구는 토털스테이션을 활용한 변위 모니터링 방안을 연구하고, 적용성을 제시하고자 한 것으로 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 토털스테이션을 이용하여 지형이나 구조물의 변위를 측정할 수 있는 모니터링 시스템의 개념과 운영 흐름을 제시하였다.
2. 모니터링 시스템은 현장상황에 따라 장비를 설치할 수 있도록 장비의 위치 및 운용 방식을 선택하고, 대상물에 대한 관측 횟수, 주기, 관측범위 등을 설정할 수 있도록 하였다.
3. 실험을 통해 5mm 이내의 정밀도로 측점을 모니터링 하였으며, 토털스테이션을 이용한 대상물의 변위 모니터링이 가능함을 제시하였다.
4. 향후, 추가적인 연구를 통해 실제 사면이나 구조물에 대한 모니터링의 적용성을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] S. H. Ju, S. H. Yoon, S. Y. Park, J. Heo, "Simulation based Target Geometry Determination Method for Extrinsic Calibration of Multiple 2D Laser Scanning System", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.36, No.6, pp.443-449, Dec. 2018.
- [2] J. S. Lee, M. G. Kim, H. I. Kim, "Camera and LiDAR Sensor Fusion for Improving Object Detection", *JOURNAL OF BROADCAST ENGINEERING*, Vol.24, No.4, pp.580-591, Aug. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2018.36.6.443>
- [3] S. Y. Kim, J. H. Yu, Y. G. Yu, H. J. Lee, "Database Enhancement for Development of Open-pit Mine Monitoring System in Open Source Environments", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.34, No.1, pp.21-32, Jan. 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7848/ksgpc.2016.34.1.21>
- [4] C. S. Jeong, M. R. Swon, "A study on Safety Management of Day care Center using disaster management system", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol.18, No.1, pp.29-35, Feb. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.1.29>
- [5] J. K. Park, K. Y. Jung, "Application of Laser Scanner for Mine Management and Mining Plan", *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol.7, No.6, pp.693-700, Jun. 2017.
DOI: <http://doi.org/10.35873/aimahs.2017.7.6.064>
- [6] M. S. Lee, J. H. Park, Y. S. Park, "Analysis of Characteristics using Geotechnical Investigation on the Slow-moving Landslides in the Pohang-si Area", *JOURNAL OF KOREAN SOCIETY OF FOREST SCIENCE*, Vol.108, No.2, pp.233-240, May 2019.
DOI: <https://doi.org/10.14578/jkfs.2019.108.2.233>
- [7] Y. S. Song, C. O. Lee, H. J. Oh, J. H. Pak, "Application of Terrestrial LiDAR to Monitor Unstable Blocks in Rock Slope", *The Journal of Engineering Geology*, Vol.29, No.3, Jun. 2019, pp. 251-264.
DOI: <https://doi.org/10.9720/kseg.2019.3.251>
- [8] Y. D. Joo, "A Study on the Construction of Near-Real Time Drone Image Preprocessing System to use Drone Data in Disaster Monitoring", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol.18, No.3, pp.143-149, Jun. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.3.143>
- [9] M. H. Ahn, D. W. Ko, U. Ji, J. G. Kang, "Experimental Study on Levee Monitoring System for Abnormality Detection Using Fiber Optic Temperature Sensing", *Ecology and Resilient Infrastructure*, Vol.6, No.2, Apr. 2019, pp. 251-264.
DOI: <https://doi.org/10.17820/eri.2019.6.2.120>
- [10] T. Bibek, H. T. Lim, J. H. Jin, S. H. Jang, Y. S. Kim, "Soil Volume Computation Technique at Slope Failure Using Photogrammetric Information", *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol.19, No.12, Dec. 2018, pp. 65-72.
DOI: <https://doi.org/10.14481/jkges.2018.19.12.65>
- [11] B. H. Lee, B. J. Lee, S. H. Oh, W. S. Jung, K. S. Kim, "Extraction of Disaster link Matrix Considering Flood

Damage of Low-rise Structures due to Typhoon Effects”, *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol.18, No.5, pp.209-214, Oct. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIIBC.2018.18.5.209>

- [12] Y. R. Park, Y. O. Kang, D. E. Kim, J. Y. Lee, N. Y. Kim, “Analysis of Seoul Image of Foreign Tourists Visiting Seoul by Text Mining with Flickr Data”, *Journal of the Korean Society For Geospatial Information Science*, Vol.27, No.1, Jan. 2019, pp. 11-23.
DOI: <http://doi.org/10.7319/kogsis.2019.27.1.011>
- [13] Y. S. Kim, M. I. Kim, T. Bibek, J. H. Jin, “Slope Behavior Analysis Using the Measurement of Underground Displacement and Volumetric Water Content”, *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol.19, No.9, Sep. 2018, pp. 29-36.
DOI: <https://doi.org/10.14481/jkges.2018.19.9.29>
- [14] H. L. Park, J. W. Choi, J. H. oh, “Seasonal Effects Removal of Unsupervised Change Detection based Multitemporal Imagery”, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.36, No.2, Apr. 2018, pp. 51-58.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2018.36.2.51>
- [15] G. S. Lee, J. J. Lee, “The analysis of Photovoltaic Power using Terrain Data based on LiDAR Surveying and Weather Data Measurement System”, *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, Vol.49, No.1, Jan. 2019, pp. 17-27.
DOI: <https://doi.org/10.22640/lxsiri.2019.49.1.17>
- [16] J. H. Moon, J. J. Yun, “Development of a Boat Operator Computer Scoring System Based on LiDAR and WAVE”, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol.25, No.4, Aug. 2019, pp. 119-126.
DOI: <https://doi.org/10.7837/kosomes.2019.25.4.504>
- [17] Trimble Inc., Trimble S7, [Internet]. Trimble. Available From: <https://www.trimble.com/> (accessed January, 20, 2020)

엄 대 용(Dae-Yong Um)

[정회원]



- 1997년 2월 : 충남대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2004년 4월 ~ 현재 : 한국교통대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

지형공간정보공학, 사진측량학

박 준 규(Joon-Kyu Park)

[종신회원]



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

<관심분야>

지형공간정보공학