

터널계측을 위한 1인 무프리즘 측량시스템의 효율성 평가

The Efficiency Evaluation of One Person Non-Prism Surveying System for Tunnel Measurement

박경식* · 함창학** · 이재기***

Park, Kyeong Sik · Hahm, Chang Hahk · Lee, Jae Kee

要 旨

터널시공현장에서 중요한 요소가 되는 미굴량과 여굴량, 그리고 내공변위 및 천단침하에 대한 자료는 대부분 변위계와 토탈스테이션에 의해 취득되어진다. 그러나 이러한 장비들은 다수의 작업자를 필요로 하고, 대상지점에 직접 접근하여 타겟이나 계측기를 설치해야 되는 등 여러 가지 불편함과 위험요소를 안고 있다. 최근에 개발된 리모트컨트롤 무프리즘 토탈스테이션은 이러한 단점을 해소할 수 있는 여러 가지 기능을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 무프리즘 토탈스테이션과 제어용 노트북 컴퓨터 등을 조합하여 터널계측을 위한 1인 측량시스템을 구성하고 그 효율성을 평가하고자 하였다. 이를 위해 시공 중인 터널을 대상으로 기존의 측량방법과 본 연구의 측량방법으로 각각 관측을 수행하고 관측 소요시간, 정확도 등을 비교하였고 그 결과 본 연구의 1인 무프리즘 측량시스템이 기존의 방법에 비해 효율적임을 입증하였다.

핵심용어 : 1인 측량시스템, 토탈스테이션, 터널계측

Abstract

The tunnel measurement data such as deficiency quantity, outbreak quantity, inner displacement and crown settlement are very important elements in tunnel sites under construction and obtained mostly by displacement gauge and total station. However, it is difficult and dangerous to install targets or measurement equipments on the points in tunnel construction site and also we need several persons to work in the tunnel. Non-prism total station with remote control system which is developed recently has various efficient functions for tunnel measurement. Therefore, for efficient tunnel measurement, this study suggested one person surveying system which consisted of non-prism total station and notebook PC to control total station remotely, and we evaluated the suggested tunnel measurement system. In this study, the tunnel site under construction was chosen as the test field and tunnel surveying was done by existing surveying method and suggested method separately. As result of the test, we analyzed processing time and accuracy to demonstrate the superiority of suggested one person non-prism surveying system.

Keywords : One person non-prism surveying system, Total station, Tunnel measurement

1. 서 론

시공현장에서 발생할 수 있는 위험요소를 미리 발견하고 대비하기 위해서는 현장에 대한 정확한 계측이 필요하다. 구조물이나 시설물의 정확한 위치를 결정하거나 현황측량을 위해 각종 계측기나 사진측량, 레이저스캔 등 여러 가지 방법을 사용하고 있으나 현재까지 시공현장에서 가장 많이 사용되는 것은 토탈스테이션을 이용한

측량방법이다.

우리나라에서 토탈스테이션과 노트북 컴퓨터를 조합한 측량시스템은 1990년대 중후반에 국도(다릿재 터널), 고속도로(대관령 터널), 지하철(분당선) 현장 등에서 처음 소개되어졌다.

그러나, 토탈스테이션에 의한 측량은 대상이 되는 지점에 프리즘을 설치하기 위하여 2~3인의 인원이 필요하고, 위험한 지점에도 직접 사람이 접근해야 하는 특성을

2007년 11월 10일 접수, 2007년 12월 12일 채택

* 정희원·인하공업전문대학 항공지형정보시스템과 조교수 (pks@inhac.ac.kr)

** 교신저자·정희원·인하공업전문대학 항공지형정보시스템과 교수 (chhahm@inhac.ac.kr)

*** 정희원·충북대학교 토목공학과 교수 (leejk@chungbuk.ac.kr)

가지고 있다. 또한, 측량자의 숙련도와 개인오차 등으로 인해 결과값이 달라질 수 있으며, 시공 중에는 작업을 중단하거나 자료 취득후 분석 결과값을 얻기까지 시간이 소요되는 등 여러 가지 비효율적인 단점을 가지고 있다 (백기현 등, 2002; 이재기 등, 2005).

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 타겟 설치를 위해 관측지점에 접근하지 않아야 되며, 또한 측량자의 숙련도에 관계없이 개인오차가 없는 관측방법이 강구되어야 한다. 일부 산업현장에서는 무프리즘 토탈스테이션 또는 자동시준기능이 있는 무프리즘 토탈스테이션을 사용하여 관측을 행함으로써 매우 양호한 결과를 나타내고 있다(이재기 등, 2004; 박하동 등, 2006).

본 연구에서는 이상의 기능을 가지고 있으며 리모트컨트롤로 제어가 가능한 최신 무프리즘 토탈스테이션과 적외선 무선통신이 가능한 노트북 컴퓨터를 조합하여 측량자 혼자서 모든 관측과 결과처리가 가능한 1인 무프리즘 측량시스템을 구성하고 그 활용가능성과 효율성을 평가하고자 한다.

연구대상지로는 현재, 시공중인 과산~연풍 도로공사 터널 현장을 선정하였으며, 터널공사를 위해 미굴량과 여굴량을 실시간으로 확인하고 터널의 변형계측 항목인 내공변위 및 천단침하 계측을 실시하였다. 터널의 내공측량(미굴, 여굴)은 2m간격으로 총 8개 단면을 무프리즘 측량방식으로 1주일 간격으로 2회 측정하였으며, 변위량이 발생한 3개의 단면은 반사시트 타겟을 부착하여 2일 간격으로 총 4회 측정을 실시하였다. 실제 현장에서의 변위량 계측방법은 줄자나 데오돌라이트, 프리즘을 이용한 토탈스테이션 측량 등이 사용되고 있으나 본 연구에서는 기존의 변위량 계측방법으로 프리즘을 이용한 토탈스테이션을 사용하여 본 연구에서 제시한 계측방법과 비교·분석 하였다.

연구에 사용한 토탈스테이션은 국토지리정보원 지정 국가검교정기관에서 관측각과 거리에 대한 성능 검사를 실시하였으며, 측량 데이터를 처리하기 위하여 실시간 계측 소프트웨어를 사용하였다.

또한, 1인의 작업자가 노트북 컴퓨터에서 적외선무선통신(bluetooth)으로 토탈스테이션을 제어하는 1인 자동 측정방식으로 실험을 하였다.

1인 무프리즘 측량시스템의 효율성 분석을 위하여 기존의 터널측량 방법에 의한 실험을 동시에 실시하고 그 결과를 비교하여 정확성, 소요시간, 소요인원 등 효율성을 분석하였다.

2. 1인 무프리즘 측량 시스템

마이크로 컴퓨터의 발전으로 거리와 각을 동시에 관측

하는 것뿐만 아니라 내장된 마이크로프로세서에 의해 수평거리, 연직거리, 좌표값 등을 자동으로 계산할 수 있으며, 관측 데이터들을 내외부 저장매체에 자동 저장할 수 있는 토탈스테이션이 개발되어 각종 현장에서 이용되고 있다. 더욱이 2000년대 들어서면서 프리즘이나 반사타겟을 설치하지 않고 직접 시준으로 대상물의 위치를 결정할 수 있는 토탈스테이션이 개발되어 그 활용성을 더욱 높이고 있다(Paul 등, 2002; Høglund 등, 2002; 박경식 등, 2003).

본 연구에서는 연구 대상지의 터널을 관측하기 위해 토탈스테이션, 노트북 PC 그리고 계측 소프트웨어로 1인 무프리즘 측량시스템을 구성하였다.

토탈스테이션은 SOKKIA사의 SRX 1으로 리모트컨트롤로 제어가 가능한 무프리즘 토탈스테이션이다. 그림 1은 연구에 사용된 무프리즘 토탈스테이션을 나타낸 것이며, 그 제원은 표 1과 같다.



그림 1. Sokkia SRX 1 토탈스테이션

표 1. Sokkia SRX 1 토탈스테이션의 제원

| 구 분 | SRX 1 |
|----------|---|
| 최소표시 | 0.5"/1" |
| 각정밀도 | 1" |
| 거리정밀도 | 무타겟 ± (3 + 2ppm × D)mm 반사시트 ± (3 + 2ppm × D)mm 프리즘 ± (1.5 + 2ppm × D)mm |
| 측정범위 | 무타겟 0.3 ~ 500m 반사시트 1.3 ~ 500m 프리즘 1.3 ~ 5000m |
| 자동추적 | 프리즘 5 ~ 500m |
| 자동시준 | 프리즘 2 ~ 1000m 반사시트 5 ~ 100m |
| 적외선 무선통신 | 내 장 |
| 거리측정 방식 | 레이저광 변조식 위상차 측정방식 |

1인 측량시스템을 구성하기위해 사용되는 토탈스테이션은 반드시 무프리즘 기능, 자동추적기능, 자동시준기능, 적외선 무선통신기능 등을 포함하고 있어야 한다.

무프리즘 기능(non-prism function)은 현장 여건상 프리즘을 설치하기 곤란한 경우 0.5m에서 500m까지의 거리를 프리즘 없이 가시광선 레이저로 측정할 수 있는 기능이다. 연구에 사용된 토탈스테이션은 무프리즘 측정을 위해 빔 포인트의 정밀도를 높일 수 있도록 빔의 직경이 더욱 작게 설계되었으며 무프리즘 기능의 특징은 표 2와 같다.

자동추적 기능(auto-tracking function)은 프리즘에 설치된 리모콘이 레이저 빔을 발사하여 측량시스템 핸들부에 장착되어 있는 수광부에서 레이저 빔을 감지하고 프리즘이 있는 방향으로 빠르게 회전시켜 800m까지의 거리를 자동으로 추적하여 측정을 할 수 있어서 어두운 터널 막장에서 중심선 측량을 하기가 편리한 장점을 가지고 있다.

자동시준 기능(auto-pointing function)은 망원경부에서 반사광 이미지를 감지하는 CCD 센서가 장착되어 타겟을 대략 시준하고 측정해도 정확히 타겟 중앙으로 자동 조준하여 1000m까지 측정하기 때문에 시준오차를 줄여서 정확도를 높일 수 있다.

그림 3의 좌측과 같이 프리즘에서 벗어난 위치를 시준할 때 우측 그림과 같이 자동 시준하여 타겟의 중앙을 측정한다.

적외선 무선통신 기능은 토탈스테이션과 노트북 PC 또는 전자야장과의 데이터송수신 및 제어를 위한 것이다. 그림 4와 같이 장거리 통신이 가능한 적외선무선통신(bluetooth class1)을 이용하여 무선으로 데이터 취득이 가능하고, 컴퓨터 또는 PDA에서 측량 시스템을 원격 제어 할 수 있으므로 1인의 작업자가 모든 측량작업을 수행할 수 있다.

1인 무프리즘 측량시스템의 구성은 그림 5와 같이 적외선무선통신이 가능한 노트북 컴퓨터, SOKKIA사의 SRX

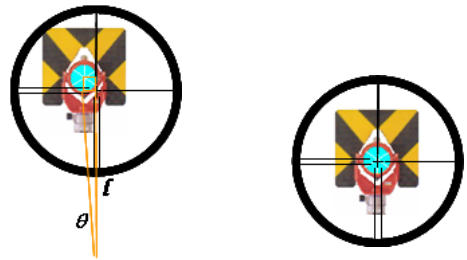


그림 3. 타겟의 자동시준

표 2. 무프리즘 기능의 특징

| 구 분 | 특 징 |
|-------|---|
| 측정거리 | 0.3~500m w/KODAK GC-White 0.3~250m w/KODAK GC-Grey |
| 정밀도 | 3mm + 2ppm(0.3~200m) 5mm + 10ppm(200~350) 10mm + 10ppm(350~500) |
| 빔의 직경 | 87.5×64.5mm@350 122.9×89mm@500 |

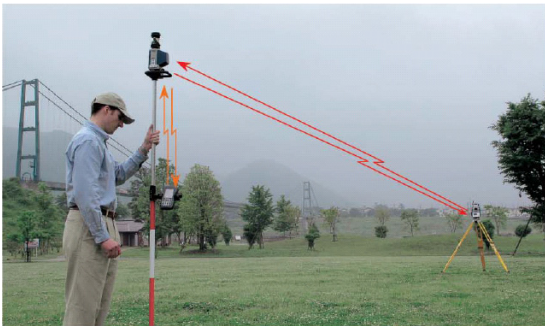


그림 2. 1인측량을 위한 자동추적기능



그림 4. 적외선무선통신에 의한 자료취득

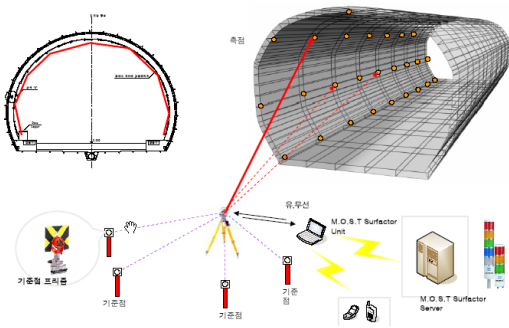


그림 5. 1인 무프리즘 측량시스템의 구성

1 토탈스테이션 및 1인 측위용 프리즘, 터널실시간 측량 프로그램인 POWER TUNNEL과 POWER MOS, 그리고 리모트 컨트롤 등으로 구성하였다.

3. 터널계측 실험 및 분석

본 연구에서는 현재 시공 중에 있는 괴산~연풍 도로 공사구간의 적석터널 현장을 대상지역으로 선정하여 현장에서 사용하고 있는 터널의 계측 방법과 1인 무프리즘 측량시스템을 이용하여 실험하고, 그 결과를 분석하였다.

또한, 대상지역에서 터널의 변위구간에 대해서는 자동 시준 측정 기능을 이용하여 기존의 측량방법과 비교 분석하였다.

그림 6은 본 연구 대상지역의 평면도이다.

실험은 계측에 필요한 현장설계 데이터 값인 도로평면 선형, 도로중단선형, 설계단면, 구간별 단면타입과 중심선 및 지반고, 이격거리 등을 초기값으로 시스템에 입력하고 이를 이용하여 자동 계측을 실시한 후 여굴 및 미굴 데이터를 실시간으로 관측 및 모니터링하여 시공에 반영하는 흐름으로 하였다.

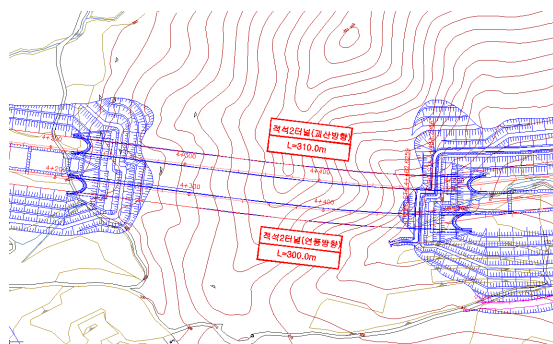


그림 6. 연구대상지

그림 8은 도로평면선형에 필요한 도로의 시점좌표와 IP좌표, R(반경), A(클로소이드 매개변수), 도로의 종점 좌표를 입력한 것이고, 그림 9는 설계단면에서 단면 타입 별로 설계된 단면의 데이터를 입력한 것이다.

무프리즘 측량시스템을 이용하여 STA. 4+435부터 STA. 4+449 까지 14m 구간을 2m간격으로 8 단면으로 구분하여 측정하였으며, 한단면 당 10지점 씩 7일 주기로 2회 무타겟으로 자동 계측을 실시하여 각 단면의 계측값을 취득하였다.

그림 10은 단면의 시점인 STA. 4+435 단면의 자동계

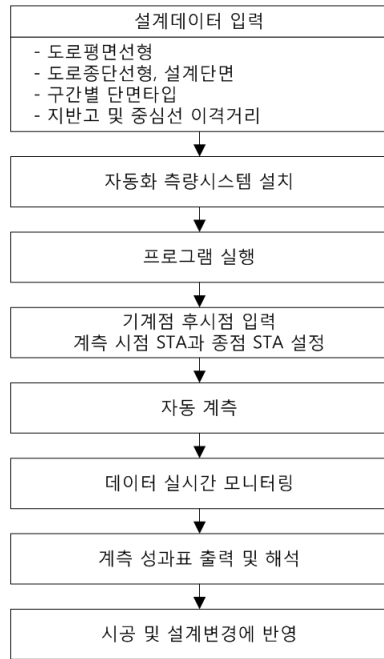


그림 7. 본 연구의 흐름

| Sta | N | E | Z | 방위각 | Code |
|------------|-------------|-------------|----------|-----------|----------|
| 4002 | 362904.8225 | 286291.8150 | 253.6370 | 114-32-36 | arc |
| 4004 | 362909.4345 | 286297.9956 | 253.6450 | 114-34-26 | arc |
| 4006 | 362908.6001 | 286286.8132 | 253.7200 | 114-44-15 | arc |
| 4008 | 362897.7695 | 286241.6285 | 253.8840 | 114-54-04 | arc |
| 4010 | 362896.9189 | 286244.4414 | 253.8820 | 115-03-54 | arc |
| 4012 | 362896.0661 | 286245.2519 | 253.9600 | 115-13-43 | arc |
| 4014 | 362896.2110 | 286247.0598 | 250.0080 | 115-23-32 | arc |
| 4016 | 362894.3658 | 286248.8654 | 250.1100 | 115-33-22 | arc |
| 4018, 1773 | 362894.2743 | 286248.8253 | 250.1229 | 115-34-14 | ECC |
| 4016 | 362893.4854 | 286250.6685 | 250.1938 | 115-43-07 | clothoid |
| 4018 | 362892.6150 | 286252.4691 | 250.2711 | 115-52-41 | clothoid |
| 4020 | 362891.7365 | 286254.2674 | 250.3478 | 116-02-05 | clothoid |
| 4022 | 362890.8584 | 286256.0633 | 250.4232 | 116-11-18 | clothoid |
| 4024 | 362889.9744 | 286257.8568 | 250.4980 | 116-20-21 | clothoid |
| 4026 | 362889.0947 | 286259.6480 | 250.5721 | 116-29-14 | clothoid |
| 4028 | 362887.2917 | 286263.2236 | 250.7179 | 116-46-27 | clothoid |
| 4030 | 362886.3698 | 286265.0061 | 250.7890 | 116-54-48 | clothoid |
| 4032 | 362885.4811 | 286266.7904 | 250.8606 | 117-02-58 | clothoid |
| 4034 | 362884.5986 | 286268.5706 | 250.9307 | 117-10-58 | clothoid |
| 4036 | 362883.6539 | 286270.3486 | 251.0001 | 117-18-47 | clothoid |
| 4040 | 362882.7242 | 286272.1245 | 251.0686 | 117-26-26 | clothoid |
| 4042 | 362881.8106 | 286273.8986 | 251.1364 | 117-33-54 | clothoid |
| 4044 | 362880.8832 | 286275.6706 | 251.2034 | 117-41-12 | clothoid |
| 4046 | 362879.9521 | 286277.4406 | 251.2697 | 117-48-19 | clothoid |
| 4048 | 362879.0174 | 286279.2088 | 251.3351 | 117-55-15 | clothoid |
| 4050 | 362878.0791 | 286280.9750 | 251.3997 | 118-02-01 | clothoid |
| 4052 | 362877.1374 | 286282.7395 | 251.4636 | 118-08-37 | clothoid |

그림 8. 도로평면선형 데이터 입력

측구간을 설정한 것이다. 계측구간을 설정한 후 현장에서 노트북 PC를 이용하여 적외선 무선통신으로 측량시스템을 원격 제어하여 각 단면에 대한 데이터를 취득함으로써 1인 측량에 의한 데이터취득 실험을 수행하였다.

그림 11은 원격제어에 의해 취득한 데이터를 이용하여 여굴량 및 미굴량을 실시간으로 확인하는 과정으로 초기에 입력한 데이터 값과 현장에서 취득한 데이터 값과의 차이를 즉각적으로 확인할 수 있어 오류에 대해 신속히 대처 할 수 있다.

본 연구를 통하여 취득한 8개 단면에 대한 각각의 지점에 대한 여굴량, 미굴량 및 그 차이값을 취득하였으며, 각 단면의 Δd 값은 최대 2.3mm로 나타났다.

표 3은 8개 단면중 STA 4+35번 단면에 대한 관측결과를 나타낸 것이다.

터널의 내공변위 및 천단침하에 대한 계측은 테이프식 내공변위계(tape extensometer)와 레벨을 이용하였다. 계

측 결과 변위량이 큰 구간에 대해서는 반사시트를 고정 설치하여 본 연구의 1인 무프리즘 측량시스템과 기존의 방법으로 이틀에 한번씩 총 4회 관측을 실시하였다. 표

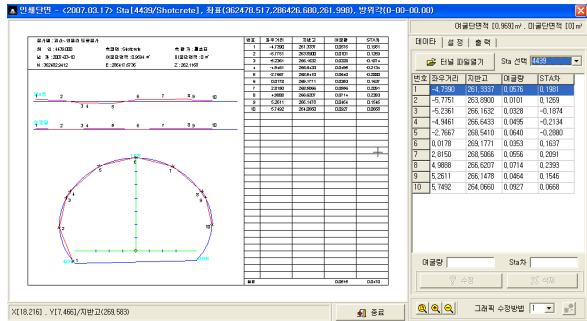


그림 11. 관측 결과의 확인

표 3. STA 4+35 관측 결과

| STA | NO | 여굴(+)/미굴(-) | | 차이값 |
|------|----|------------------|------------------|---------|
| | | 2007-03-12 d1 | 2007-03-17 d2 | |
| 4+35 | 1 | 0.0686 | 0.0664 | 0.0022 |
| | 2 | 0.0220 | 0.0223 | -0.0003 |
| | 3 | 0.0212 | 0.0221 | -0.0009 |
| | 4 | 0.0528 | 0.0528 | 0 |
| | 5 | 0.0491 | 0.0485 | 0.0006 |
| | 6 | 0.0708 | 0.0714 | -0.0006 |
| | 7 | 0.0490 | 0.0471 | 0.0019 |
| | 8 | 0.0562 | 0.0542 | 0.0020 |
| | 9 | -0.0044 | -0.0035 | -0.0009 |
| | 10 | 0.0138 | 0.0129 | 0.0009 |

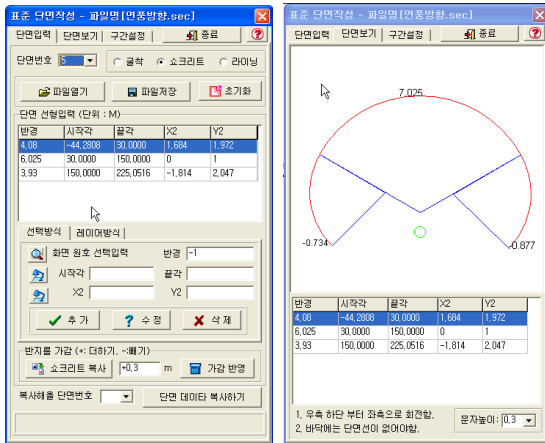


그림 9. 터널의 설계단면 입력

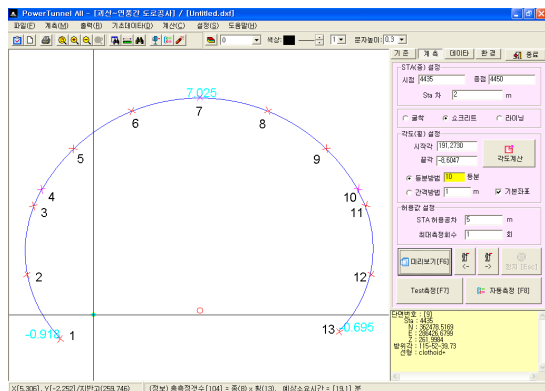


그림 10. 자동계측 구간의 간격 설정



그림 12. 타겟부착 토탈스테이션에 의한 변위 계측

표 4. 타겟부착 토탈스테이션과 1인 무프리즘측량시스템의 관측결과

| 구분 관측일 | 단면 | 기존측량방법에 의한 데이터 | | | 1인 무프리즘측량 시스템 데이터 | | | |
|-----------|----|----------------|------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | left | top | right | left | top | right | |
| 2007.3.2 | 1 | X | 362595.268 | 362600.208 | 362605.152 | 362595.268 | 362600.208 | 362605.152 |
| | | Y | 286264.815 | 286267.660 | 286270.497 | 286264.815 | 286267.660 | 286270.497 |
| | 2 | X | 362597.953 | 362602.721 | 362607.790 | 362597.953 | 362602.721 | 362607.790 |
| | | Y | 286260.226 | 286263.044 | 286266.030 | 286260.226 | 286263.044 | 286266.030 |
| | 3 | X | 362600.518 | 362605.464 | 362610.601 | 362600.518 | 362605.464 | 362610.601 |
| | | Y | 286255.827 | 286258.419 | 286261.198 | 286255.827 | 286258.419 | 286261.198 |
| 2007.3.4 | 1 | X | 362595.269 | 362600.207 | 362605.151 | 362595.269 | 362600.207 | 362605.151 |
| | | Y | 286264.815 | 286267.660 | 286270.497 | 286264.816 | 286267.660 | 286270.497 |
| | 2 | X | 362597.953 | 362602.723 | 362607.79 | 362597.953 | 362602.724 | 362607.798 |
| | | Y | 286260.226 | 286263.045 | 286266.03 | 286260.226 | 286263.045 | 286266.03 |
| | 3 | X | 362600.519 | 362605.465 | 362610.601 | 362600.519 | 362605.465 | 362610.601 |
| | | Y | 286255.828 | 286258.417 | 286261.197 | 286255.828 | 286258.417 | 286261.197 |
| 2007.3.6 | 1 | X | 362595.269 | 362600.209 | 362605.151 | 362595.269 | 362600.208 | 362605.151 |
| | | Y | 286264.817 | 286267.660 | 286270.496 | 286264.817 | 286267.660 | 286270.496 |
| | 2 | X | 362597.953 | 362602.722 | 362607.789 | 362597.953 | 362602.722 | 362607.789 |
| | | Y | 286260.226 | 286263.044 | 286266.030 | 286260.226 | 286263.044 | 286266.030 |
| | 3 | X | 362600.519 | 362605.465 | 362610.600 | 362600.519 | 362605.465 | 362610.600 |
| | | Y | 286255.830 | 286258.417 | 286261.196 | 286255.832 | 286258.414 | 286261.196 |
| 2007.3.8 | 1 | X | 362595.269 | 362600.208 | 362605.151 | 362595.269 | 362600.207 | 362605.151 |
| | | Y | 286264.817 | 286267.660 | 286270.496 | 286264.817 | 286267.660 | 286270.496 |
| | 2 | X | 362597.953 | 362602.721 | 362607.790 | 362597.953 | 362602.721 | 362607.790 |
| | | Y | 286260.229 | 286263.044 | 286266.030 | 286260.228 | 286263.044 | 286266.030 |
| | 3 | X | 362600.517 | 362605.464 | 362610.598 | 362600.517 | 362605.465 | 362610.597 |
| | | Y | 286255.829 | 286258.415 | 286261.196 | 286255.829 | 286258.412 | 286261.196 |

4는 두 가지 방법으로 관측된 결과를 나타낸 것이다.

그림 12는 기존의 토탈스테이션에 의한 변위계측 방법과 본 연구의 1인 무프리즘 측량시스템을 이용하여 동시에 관측을 실시하는 장면이다.

4. 결과분석

여굴 및 미굴량을 조사하기 위한 실험결과 기존의 측량 방법을 이용한 경우 측량 기술자가 1단면을 측정하는데 평균 12분이 소요되어 8개 단면을 측정하는데 약 100분이 소요되었다. 무프리즘 측량시스템을 이용한 경우 타겟 설치를 하지 않고 초기 장비 설치 시간을 제외한 1단면에 10점씩 8개의 단면을 측정하는데 약 15분이 소요되었다.

또한, 무프리즘 측량시스템을 사용할 경우 타겟 설치작업이 불필요하고 관측자 혼자 노트북에 의해서 토탈스테이션을 제어하고 실시간으로 데이터를 처리할 수 있었다.

변위량이 큰 지점의 내공변위와 천단침하량에 대하여 두 가지 방법으로 측정된 결과 그림 13~15와 같이 나타났다.

1인 무프리즘 측량시스템에 의해 측정된 경우 내공변위와 천단침하에 대한 관측값은 내공변위가 좌·우가 각각 최대 3mm로 나타났으며 천단침하는 최대 4mm로 나타났으나 더 이상 변위량이 증가하지 않고 안정되게 수렴됨을 알 수 있었다. 또한, 이것은 변위량의 현장 1차 기준값이 내공변위 24mm 천단침하 12mm를 만족하므로 추가적인 진단 없이 본 연구에서 제시한 방법만으로 변위를 확인하였다.

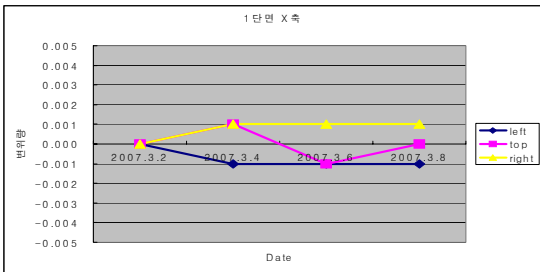
기존의 측량방법에 의해 변위량을 관측한 값이 1단면의 3월 6일 관측한 x축 값과 2단면의 3월 4일 관측한 x축의 값에서 변위의 성분이 일괄적으로 수렴하지 않고 불규칙한 모습을 보이는 것은 재측량을 통하여 관측자의 오측으로 판명 되었다. 이를 통해 본 연구의 방법에 의해 이루어진 관측이 정밀함을 확인 할 수 있었으며, 자동시준에 의한 변위계측이 가능함을 확인 할 수 있었다.

변위량 관측에 소요된 시간은 최초 1회 관측의 경우 두 가지 방법이 비슷하였으나 주기적인 관측을 위해 2, 3, 4회 관측횟수를 늘릴수록 기존의 방법에 더 많은 시간이

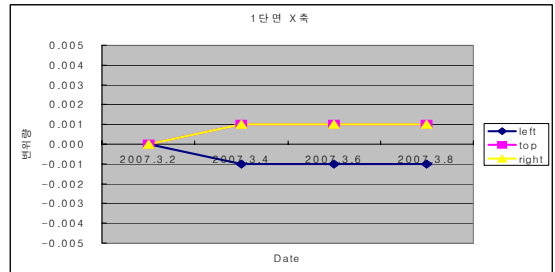
소요되었다.

이것은 1인 무프리즘 측량시스템을 이용하였을 경우 최초에 관측한 3단면의 9점의 데이터가 저장되어 타겟 중앙을 정확히 시준을 하고 자동으로 관측을 수행하므로 2회 이상의 소요시간이 절반이상 감소하기 때문이다.

터널 내공변위 및 천단침하 측정이 정해진 빈도로 반복적으로 이루어져야 함을 고려할 때 1인 무프리즘 측량시스템이 기존의 방식보다 더 신속하고 정밀하게 계측을 수행할 수 있다.

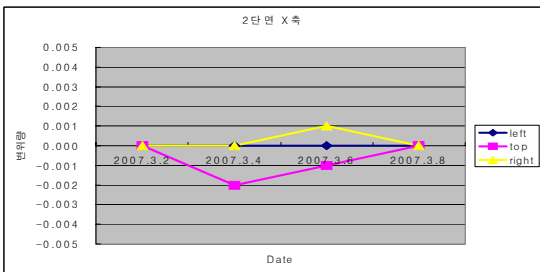


(a) 타겟부착 토탈스테이션에 의한 관측결과

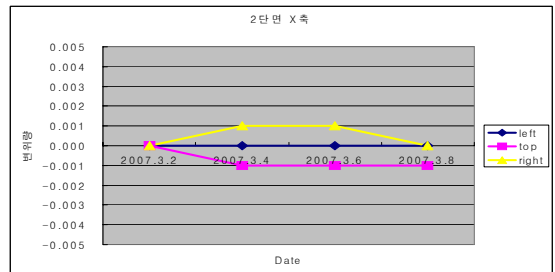


(b) 1인 무프리즘 측량시스템의 관측결과

그림 13. 타겟부착과 1인무프리즘 측량시스템의 1단면 관측결과

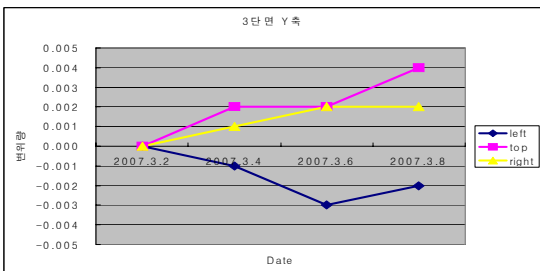


(a) 타겟부착 토탈스테이션에 의한 관측결과

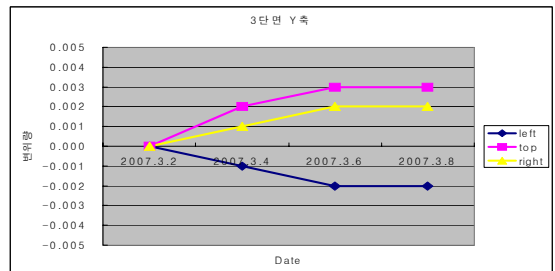


(b) 1인 무프리즘 측량시스템의 관측결과

그림 14. 타겟부착과 1인무프리즘 측량시스템의 2단면 관측결과



(a) 타겟부착 토탈스테이션에 의한 관측결과



(b) 1인 무프리즘 측량시스템의 관측결과

그림 15. 타겟부착과 1인 무프리즘 측량시스템의 3단면 관측결과

5. 결 론

본 연구에서는 1인 무프리즘 측량 시스템을 이용하여 터널 단면계측 및 터널의 내공변위와 천단침하 계측방법을 기존의 계측방법과 비교·분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 터널의 여굴량 계측을 위해 1인 무프리즘 측량시스템을 이용하여 취득한 데이터 값은 현재 터널 현장에서의 허용 기준값과 비교하여 허용범위 내에 충분히 만족함으로서 터널계측에 활용이 가능함을 알 수 있다.

2. 본 연구에서 제시한 1인 무프리즘 측량 시스템을 사용하여 여굴 및 미굴량을 조사한 결과 기존방법에 비해 시간을 약70% 단축할 수 있었으며 관측자 혼자 노트북으로 토털스테이션을 원격 제어할 수 있어 1인만으로 모든 측정이 가능하였다.

3. 터널의 내공 및 천단변위량을 1인 무프리즘 측량시스템으로 지속적으로 관측한 결과 최대변위량 발생 이후 동일한 결과를 나타내었다. 이것으로부터 본 연구의 시스템 관측결과에는 개인오차가 없음을 알 수 있다.

참고문헌

1. 박경식, 이현직, 함창학, 2003, "시설물측량에서의 무프리즘 토털스테이션 활용성 연구", *한국측량학회지*, 제21권, 제2호, pp. 156-157.
2. 박하동, 임현량, 정성혁, 최석근, 2006, "터널공사의 효율성 향상을 위한 측량시스템 개발", *한국측량학회지*, pp. 125-130.
3. 백기현, 오영석, 김용전, 김용근, 2002, "터널 유지관리계측의 효율화 방안 연구", *터널기술*, 제4권, 제2호, pp. 355-369.
4. 이재기, 최석근, 박경식, 2005, "측량학 I", 형설출판사, pp. 141-156.
5. 이재기, 정성혁, 2004, "사진측량을 이용한 터널의 천단 및 내공 변위측정", *한국측량학회지*, 제22권, 제3호, pp. 209-216.
6. Høglund R. & Large, R., 2002, Direct Reflex EDM Technology for the Surveyor and Civil Engineer, Trimble integrated Surveying Group, Westminster, Colorado, USA, pp. 1-10.
7. Paul R. Wolf, Charles D. Ghilani, 2002, "Elementary Surveying An Introduction to Geomatics tenth edition", pp. 143-162.