

# 시설물측량에서의 무프리즘 토털스테이션 활용성 연구

## A study on the Application of Non Prism Totalstation to Facility Survey

박경식<sup>1)</sup> · 이현직<sup>2)</sup> · 함창학<sup>3)</sup>

Park, Kyeong Sik · Lee, Hyun Jik · Hahm, Chang Hahk

### Abstract

The entrance of non prism totalstation brought the application possibility to many fields including a topographic survey and a facility measurement. In this research we would try to examine the errors and the problems which will be happened in measuring object with non prism totalstation and to evaluate the accuracy and applicability. For this purposes, We checked accuracy change according to the observation angle and material of the object, and analyzed how much accuracy was effected with the color of the object surface and laser divergency which is proportional to the distance. By measuring the facility practically and analyzing it's results, We evaluated possibility of practical use of a non prism totalstation for a facility measurement. Consequently, We propose that the observation accuracy of non prism totalstation is not depend on the hardness or material of the object and can get a good result only when we use non prism totalstation with coaxial focusing system for a facility survey.

### 요 지

측량분야에 있어서 무프리즘 토털스테이션의 등장은 많은 분야에서 응용가능성을 가져왔고 지형측량을 비롯한 시설물 측량에서도 그 예외는 아니다. 본 연구에서는 무프리즘 토털스테이션을 이용하여 측량을 수행할 경우 발생할 수 있는 문제점이나 오차 등에 관해 실험을 수행하고 그 적용성과 정확도를 평가하고자 한다. 이를 위하여, 대상물의 재질과 관측각도에 따른 정확도의 변화를 점검하고 거리에 비례한 레이저의 확산과 대상물의 색상이 정확도에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 시설물을 대상으로 실측을 수행하고 그 결과를 분석함으로써 무프리즘 토털스테이션의 시설물 측량 활용성 여부를 판단하였다. 연구결과, 무프리즘 토털스테이션의 관측정확도는 대상물의 경도나 재질과는 관계없으며, 시설물 측량을 위해서는 합초동축시스템을 갖춘 무프리즘 토털스테이션을 이용해야 양호한 결과가 도출됨을 알 수 있었다.

핵심용어(Keywords) : 무프리즘토털스테이션(NPTS), 합초동축식, 시설물측량

## 1. 서 론

종래의 토털스테이션은 반사프리즘만을 시준하고 측량해야하는 제약이 있었다. 이러한 제약으로 인해 우수한 성능에도 불구하고 대상물의 형상이나 접근하기 곤란한 시설물 등에 응용하기에는 한계가 있었다.

광학과 전자기술의 발달은 반사프리즘이 필요없는 DR(Direct Reflex)기술을 개발하기에 이르렀다. 측량분야

에 있어서 무프리즘 토털스테이션의 등장은 많은 분야에서 응용가능성을 가져왔고 지형측량을 비롯한 시설물 측량에서도 그 예외는 아니다. 특히, 접근이 곤란하거나, 위험한 시설물의 경우 무프리즘의 응용성은 극대화 될 수 있으며, 이러한 관점에서 무프리즘 토털스테이션은 사진 측량이나 레이저 스캐너로만 가능하던 비접촉 연속관측이나 면의 표현까지도 가능하게 해준다.

그럼에도 불구하고 실제 현장에서 필요로하는 활용성이

- 1) 정회원 · 인하공업전문대학 지형정보과 전임강사(E-mail:pks@inhac.ac.kr)
- 2) 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 부교수(E-mail:hjiklee@mail.sangji.ac.kr)
- 3) 정회원 · 인하공업전문대학 지형정보과 교수(E-mail:chhahm@inhac.ac.kr)

나 여러 가지 조건에 대한 실험 및 평가자료는 아직까지 없는 실정이다. 각 제조사에서 관측가능거리와 정확도를 제시하고 있으나 이상적인 상태에서 실험한 자료일 뿐 직접 적용하기에는 무리가 있다.

따라서, 본 연구에서는 무프리즘 토털스테이션을 이용하여 측량을 수행할 경우 발생할 수 있는 문제점이나 오차 등에 관해 실험을 수행하고 그 적용성과 정확도를 평가하고자 한다.

이를 위하여, 대상물의 재질과 관측각도에 따른 정확도의 변화를 점검하고 거리에 비례한 레이저의 확산과 대상물의 색상이 정확도에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 시설물을 대상으로 실측을 수행하고 그 결과를 분석함으로써 무프리즘 토털 스테이션의 시설물 측량 활용성 여부를 판단하였다. 모든 실험은 현재 시판되고 있는 무프리즘 토털스테이션이 비조점식과 합초동축식으로 대별됨을 고려하여 두 가지 방식에 대하여 수행하였다.

다만, 타겟 재질에 따른 관측가능거리는 각 제조사에서 제공하고 있으므로 실험대상에서 제외하였다.

## 2. 무프리즘 토털스테이션의 원리

무프리즘 토털스테이션(NPTS)은 반사 프리즘을 이용할 수 없는 경우에도 대상물까지의 거리를 관측할 수 있는 장비로서, 펄스레이저(Pulsed Laser)를 사용하는 TOF (Time Of Flight) 방식과 위상변이(Phase Shift)방식으로 나눌 수 있다.(Barry, 1996 ; Jack, 1995)

두 가지 기술은 광학적원리가 다른 만큼 각각 장점과 단점을 동시에 가지고 있으며, 필요한 형태와 용도에 적합하도록 토털스테이션에 적용된다.

### 2.1 위상변이측정법

위상변이측정법은 관측신호를 연속되는 반송파(carrier wave)신호에 변조(modulation)시켜 발사하는 방법으로 EDM의 반송파가 광파장인 것을 제외하고는 라디오방송을 위해 음파를 반송파에 변조시키는 것과 같은 원리이다.(John, 1988)

즉, 송신된 반송파와 되돌아온 반사파 사이의 위상변위(phase shift)를 고정자(stator)와 회전자(rotor)로 구성된 분류기(resolver)로 측정하여 관측거리를 계산한다.(조규전, 2003)

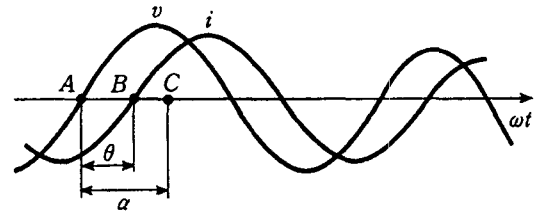


그림 1. Phase shift

그림 1은 동일 주파수에 대한 두 사인파의 상대적 위치를 표시한 것으로  $v$ 와  $i$ 는 각각 다른 순간에 영점 또는 최대점에 도달하므로 이 두 파는 위상이 어긋나 있다. 여기서  $v$ 는  $i$ 보다 각이  $\theta$ 만큼 앞서서 영점 또는 최대점에 도달하므로  $v$ 는  $i$ 보다  $\theta$ 만큼 위상이 앞서 있다.

이때, 점 A지점을 선택하면  $v$ 와  $i$ 는 식 (1)과 같이 되고

$$\begin{aligned} v &= V_m \sin \omega t \\ i &= I_m \sin (\omega t - \theta) \end{aligned} \quad (1)$$

B지점을 기점으로 선택하면 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} v &= V_m \sin (\omega t + \theta) \\ i &= I_m \sin \omega t \end{aligned} \quad (2)$$

보다 일반적으로 점 C를 기점으로 하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} v &= V_m \sin (\omega t + a) \\ i &= I_m \sin (\omega t + a - \theta) \end{aligned} \quad (3)$$

이 모든 경우에서  $v$ 의 위상각과  $i$ 의 위상각의 차는 항상  $\theta$ 만큼 변위된다. 위상변위는 상기한 식과 같이 위상비교를 통하여 취득되며, 초기에는 사이클모호정수를 알 수 없기 때문에 직접거리계산이 불가능하다.

다중 관측 변조파장은 오직 하나만의 사이클모호정수를 제공하므로 이를 이용하여 초기 사이클 모호정수를 계산할 수 있다. 일단 사이클모호정수가 취득되면, 타겟까지의 거리는 프리즘의 사용여부에 관계없이 계산이 가능하다.(박송배, 1996)

### 2.2 TOF 측정법

TOF(Time Of Flight) 방법은 거리관측을 위해 단파 적외선이나 레이저광 펄스를 이용하기 때문에 펄스레이저법이라 불리기도 한다.

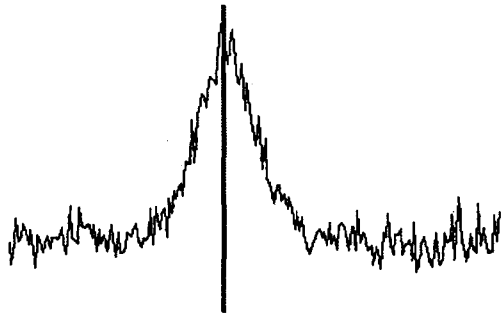


그림 2. 펄스레이저의 관측분포 및 평균

펄스화된 레이저는 망원경을 통해 발사되고 타겟에 반사되어 기계로 되돌아온다. 전자공학적으로 각 광펄스에 대한 왕복시간을 정밀하게 결정하고 매질을 통과하는 빛의 속도를 이용하여 기계와 타겟간의 거리를 계산한다.(이재기, 2002 ; Fritz, 1982)

그러나, 종래의 TOF는 펄스가 장파인 관계로 위상변위 측정법에 비해 정확도가 저하되는 단점이 있었다. 현재에는 이러한 단점을 보완하기 위해 수천, 수만개의 펄스를 일시에 발사하여 관측을 수행하고 평균함으로써 양호한 결과를 비교적 빠르게 취득한다.

그림 2는 매초 수행된 20,000여개의 펄스레이저대한 관측분포를 나타낸 것이다.

### 2.3 빔의 확산과 정확도

무프리즘 토털스테이션에 사용된 빔은 그림 3과 같이 광원으로부터 확산되며 나아간다. 이때 동일한 거리에 있는 타겟을 시준했을 때 나타나는 빔의 크기는 펄스레이저의 관측용 빔의 지름은 위상변이 빔의 지름보다 조금 크다.

이것은, TOF의 펄스레이저와 위상변이 장비의 레이저 확산성이 서로 다르기 때문이다.

일반적으로 펄스레이저가 위상변이보다 확산성이 크며,

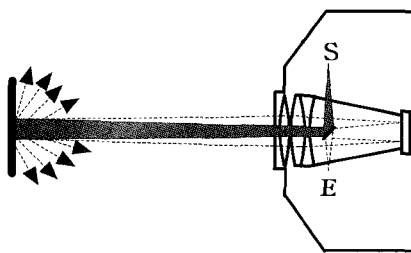


그림 3. 빔의 확산

빔의 크기는 관측 가능성 및 관측정도와 밀접한 관계가 있다. 보다 긴 거리에서 크게 나타나는 빔은 작은 대상물을 쉽게 인식하고 관측을 수행할 수는 있지만 정확도가 떨어진다. 즉, 높은 에너지 펄스가 폭넓게 퍼질 수 있기 때문에 좁은 타겟을 보다 쉽게 맞출수 있다.

반면에, 위상변이에서 사용하는 보다 작아진 빔의 크기는 매우 근접한 거리에서 측량을 수행할 때 작아진 빔의 크기로 인하여 오차가 감소되는 장점이 있다.(Hoglund, 2002)

### 2.4 합초동축 시스템

합초동축시스템(Coaxial Focusing System)이란 동일한 시준축에 거리가 다른 대상물이 있는 경우 초점이 일치하는 대상물에 대해서만 관측을 수행하는 방식이다.(Nikon, 2003)

즉 그림 4에서 타겟의 외각선을 따라 동시에 시준한 경우 좌측의 경우는 타겟에 그리고 우측의 경우는 뒷 벽면에 대한 거리가 구해지게 된다.



그림 4. 합초동축시스템의 시준과 초점

## 3. 비초점식 무프리즘 토털스테이션의 정확도 실험 및 분석

### 3.1 타겟의 재질별 정확도 실험

광학적 원리를 이용하는 토털스테이션은 기계로부터 발사된 레이저가 타겟에 반사되어 돌아오는 신호를 수신하여 타겟까지의 거리를 결정한다. 따라서, 모든 물체는 재질에 따라 반사율이 다르므로 대상물의 재질에 따라 정확도가 달라질 것임을 예측할 수 있다.

본 연구에서는 재질별 관측정확도를 실험하기 위해 20m와 40m 두 거리에서 프리즘을 이용하여 정확하게 관측을 수행한 후 무프리즘 모드로 전환하여 각각의 재질별로 관측을 수행하였다.

타겟의 재질은 목재, 적벽돌, 콘크리트, 타일, 대리석, 화

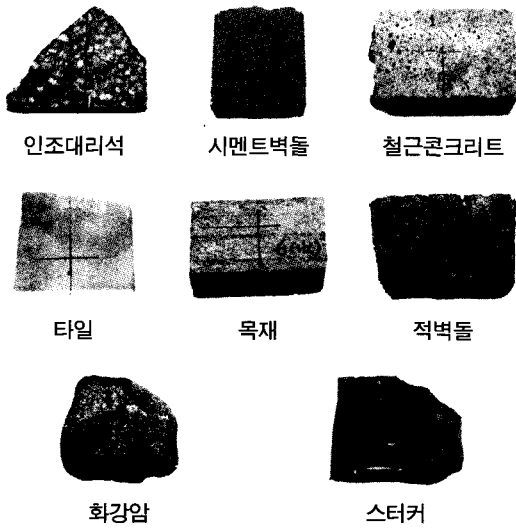


그림 5. 타겟으로 사용된 재료

강암 등 주변에서 문화재 또는 시설물 건축에 주로 사용되는 재료들을 선정하였다.

그림 5는 타겟으로 사용된 대상물들을 나타낸 것으로 동일한 지점을 정밀하게 시준하기 위하여 십자선으로 표시를 하였다.

관측시 설치오차를 최대한 줄이기 위해 십자선 중앙에 시트타겟을 부착하고 관측하여 정확한 거리를 설정하였으나 재질의 특성상 불규칙한 표면에 대해서는 약간의 오차가 수반 될 수도 있다.

표 1은 비초점식 토탈스테이션을 이용하여 재질별로 관측한 결과를 나타낸 것이다.

일반적으로 프리즘을 설치하여 관측한 결과보다 거리가 짧게 나타났으며, 시멘트 벽돌의 경우 40m 거리에서 프리즘보다 더 관측거리가 길게 나왔으나 관측오차로 추정된다.

가장 오차가 적게 나타나는 재질은 대리석 재질이었고, 화강암의 경우는 다른 재질보다 상대적으로 오차가 큰 것

표 1. 재질별 거리관측결과 (단위: m)

거리	대리석	벽돌	콘크리트	타일
19.963	19.960	19.958	19.958	19.958
40.006	40.004	40.008	40.000	40.001
거리	나무	적벽돌	화강암	스티커
19.963	19.958	19.960	19.956	19.955
40.006	40.004	40.001	40.000	40.001

으로 나타났다.

목재의 경우는 대리석과 비슷한 정도의 오차를 보이고 있으며, 시멘트벽돌과 콘크리트 벽돌은 오히려 시멘트벽돌에서 결과가 양호하게 나타나고 있다.

이러한 결과는 타겟의 재질이 지닌 경도와 관측정확도는 관계가 없음을 나타내고 있다.

### 3.2 타겟의 시준 각도별 실험

현장에서 관측을 수행할 때, 무프리즘 토탈스테이션으로부터 발사되는 빔이 항상 대상물에 직각으로 입사되고 반사된다는 보장이 없으므로, 입사각을 달리할 수 있도록 타겟을 30°에서 90°까지 회전시켜 관측을 수행하고 정확도를 비교하였다.

그림 6의 좌측은 타겟의 각도변환 장치이고 우측은 실험에 사용된 T사의 무프리즘 토탈스테이션으로 TOF 방식으로 관측을 수행한다. 사용된 TS의 세부사양은 표 2와 같다.

첫 번째 실험과 마찬가지로 토탈스테이션과 대상물간의 거리를 20m 및 40m로 설정하여 재료별, 각도별로 관측을 수행하였다.

표 3은 20m 거리에서 각 재질별로 입사각을 변화시켜 관측을 수행한 결과이다.

관측오차를 평균해 보았을 때, 모든 재질에서 0.013m 정도의 관측오차를 보이고 있다. 이것은 앞의 실험에서와 마찬가지로 타겟의 재질이 오차를 발생시키는 주요 원인

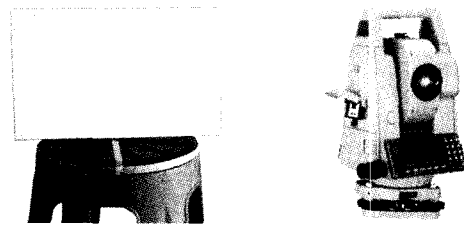


그림 6. 타겟의 각도변환장치 및 NPTS

표 2. 사용된 비초점식 NPTS의 사양

항목	사양	항목	사양
망원경배율	30×	최소독취	0.5"
분해력	2.5"	틸팅보정방법	2축
측정범위(NP)	3~150m	틸팅보정범위	±4'
측정정도(P)	±(3mm+2ppm)	측정정도(NP)	3~25m: ±10m 25m이상: ±(5mm+2ppm)

표 3. 재질별 각도변화 실험결과(20m)

단위(m)

각도	대리석	벽돌	콘크리트	타일
90	19.960	19.958	19.958	19.958
80	19.958	19.954	19.955	19.954
70	19.955	19.953	19.953	19.954
60	19.953	19.951	19.950	19.950
50	19.951	19.948	19.947	19.948
40	19.946	19.943	19.945	19.946
30	19.939	19.936	19.940	19.939

각도	나무	적벽돌	화강암	스티커
90	19.958	19.960	19.956	19.955
80	19.956	19.958	19.954	19.955
70	19.954	19.954	19.951	19.953
60	19.952	19.952	19.948	19.952
50	19.950	19.949	19.946	19.947
40	19.945	19.946	19.943	19.943
30	19.940	19.941	19.938	19.932

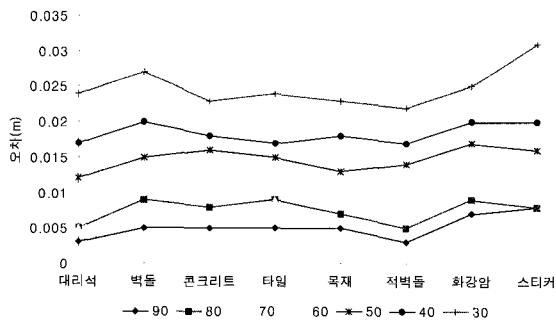


그림 7. 재질별 관측오차(20m)

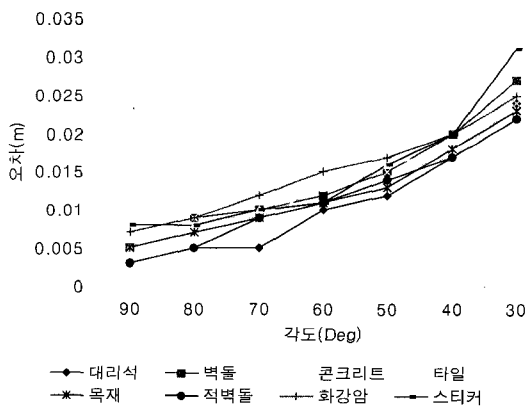


그림 8. 각도별 관측오차(20m)

은 아니다라는 것을 알 수 있다.

그림 7은 각도를 달리했을 때 재질별로 발생된 오차를 나타낸 그래프로 대리석과 목재가 다른 재질에 비해 오차가 적게 나타났으나 큰 차이는 보이지 않고 있다.

그림 8은 각도의 변화에 따른 오차분포를 나타낸 것으로, 빔과 직각일 경우 정도가 가장 좋고 예각으로 갈수록 오차가 증가함을 알 수 있다.

이러한 오차는 광학적 특성상 입사각이 점점 예각으로 될수록 반사되어지는 빔의 수가 줄어 들고, 레이저 빔의 직경에 따라 반사되는 모든 신호를 평균하여 거리를 결정하기 때문이다.

거리가 멀어져도 동일한 결과가 나오는지 알아보기 위하여 40m지점에 대해서도 동일하게 실험을 수행하였고 그 결과는 표 4 및 그림 9와 같다.

표 4. 재질별 각도변화 실험결과(40m)

단위(m)

각도	대리석	벽돌	콘크리트	타일
90	40.004	40.008	40.000	40.001
80	40.002	40.002	39.999	40.001
70	39.998	39.998	39.997	40.000
60	39.995	39.995	39.995	39.998
50	39.989	39.992	39.993	39.995
40	39.980	39.987	39.988	39.991
30	39.976	39.981	39.983	39.985

각도	목재	적벽돌	화강암	스티커
90	40.004	40.001	40.000	40.001
80	40.002	39.999	39.998	39.999
70	40.002	39.995	39.995	39.998
60	40.000	39.991	39.992	39.995
50	39.999	39.988	39.988	39.991
40	39.995	39.984	39.984	39.985
30	39.991	39.981	39.978	39.979

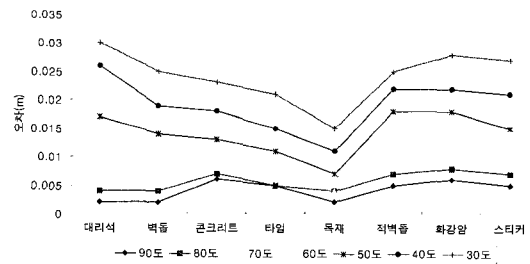


그림 9. 재질별 관측오차(40m)

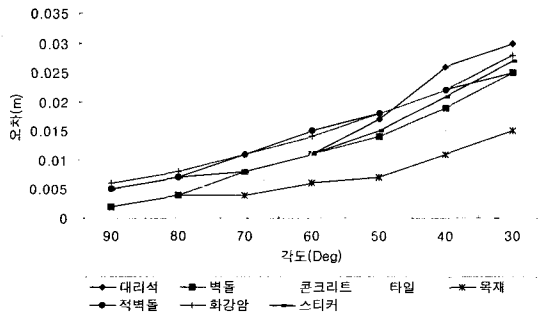


그림 10. 각도별 관측오차(40m)

20m 거리에서의 결과와 마찬가지로 평균 10mm 내외의 오차를 보이고 있으며, 그 차이는 크지 않다.

특히 목재의 경우는 그림 9에서 다른 재질에 비해 오차의 크기가 모든 각도에서 작게 나타나는 분포를 보이고 있다. 그림 10에서 역시 목재의 표준편차가 다른 재질에 비해 양호하게 나타남을 알 수 있다.

이상과 같은 결과를 종합해 볼 때, 무프리즘 토털스테이션의 오차는 시준선과 타겟의 면이 이루는 각도가 예각으로 될수록 증가하기 때문에 관측면이 가능한 직각이 되도록 기계의 위치를 결정하는 것이 좋을 것임을 알 수 있다.

### 3.3 타겟의 크기별 정확도 분석

빔의 직경과 이에 대응하는 타겟의 크기가 정확도에 영향을 미치는지 실험해 보았다.

타겟은 빔의 형상을 고려하여 원형으로 했으며, 반사타겟과 두께를 동일하게 한 후 반사타겟으로 정확한 거리를 관측하고 지름 1mm부터 200mm까지 원형타겟으로 관측을 수행하였다.

타겟의 형상과 설치방법은 그림 11과 같다.

우측 그림에서 타겟을 부착하고 있는 막대는 크기가 작은 타겟을 부착하였을 때 앞쪽 단면이 타겟 보다 작게 나타나는 15cm짜리 소형 삼각스케일을 이용하였다.

빔의 확산도를 보기위해 20m와 30m거리에서 각각 관측

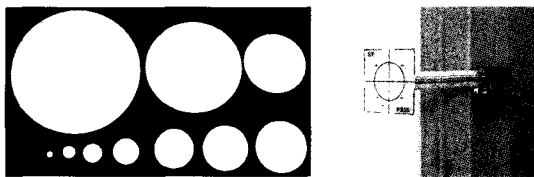


그림 11. 타겟의 형상과 설치방법

표 5. 타겟의 크기에 따른 관측결과

타겟재질	타겟크기(mm)	관측거리(m)	
		19.586	29.803
복사용종이	Ø10	19.699	29.925
	Ø20	19.684	29.918
	Ø30	19.656	29.893
	Ø40	19.623	29.869
	Ø50	19.597	29.847
	Ø60	19.587	29.827
	Ø70	19.585	29.816
	Ø80	19.584	29.807
	Ø100	19.584	29.804
	Ø150	19.584	29.803
Ø200	19.585	29.804	

을 하고 표 5와 같은 결과를 얻었다.

레이저의 크기를 눈으로 확인할 수는 없었으나 20m거리에서는 지름 60mm부터 주변의 간섭을 받지 않으며, 거리 30m에서는 지름 80mm부터 간섭을 받지 않는 것을 알 수 있다. 타겟의 크기가 작은 경우 뒷 부분에 있는 벽의 영향을 받은 것으로 판단된다. 참고로 타겟과 벽까지의 거리는 0.118m이다.

이러한 경우라면 시설물을 측량할 때 모서리 부분의 시준에 주변의 영향이 크게 되어 올바른 결과를 얻을 수 없게 된다. 실제로 모서리 시준을 가정하여 실험을 해 보았다.

기계로부터 뒷 배경인 벽과 타겟과의 거리는 각각 20.669m와 19.997m였다. 전방에 있는 타겟의 절반만을 정밀하게 시준한 경우 결과는 20.334m였다.

계산상으로 대략 두 지점의 중간거리 정도가 나온 것이다. 타겟쪽으로 더 많이 시준되면 거리가 짧아지고 반대로 되면 거리가 멀어지는 결과를 보이고 있으며, 이러한 결과는 레이저를 이용한 시준이 각 레이저 값의 평균임을 나타낸다.

따라서, 모서리 시준이 많은 시설물 측량에서는 매우 좋지 않은 결과가 나오리라 예상된다.

### 3.4 비초점 TS에 의한 대상물 실측

비초점 무프리즘 토털스테이션을 이용하여 그림 12와 같은 시설물에 대한 실측을 수행하였다.

이 대상물은 장비를 두 번만 이동하여 관측이 가능할 뿐만 아니라 직선형으로 이루어진 단순한 형태와 입체적 요건을 모두 갖추어 실험대상으로 적합하였다.

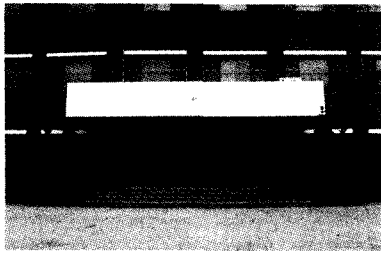


그림 12. 실측대상 시설물

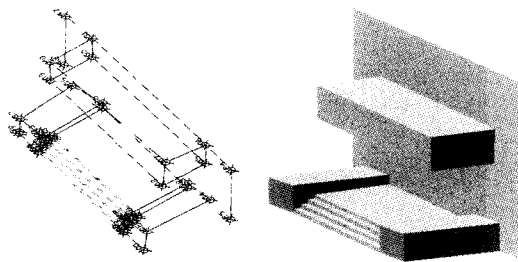


그림 13. 대상물 실측결과 및 면처리

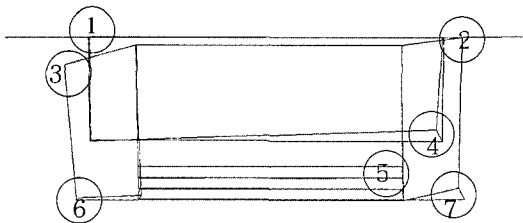


그림 14. 대상물의 평면도

그림 13의 좌측은 관측결과를 입체적으로 도화한 것이고, 우측은 면처리를 한 것이다. 그림 14는 대상물의 평면도로서 입체적으로 표현되었을 때 나타나지 않던 문제점들이 보여지고 있다.

계단과 벽면의 경우는 양호한 결과를 보이지만 계단 양 옆의 화단과 우측 테라스 부분은 상당히 왜곡되어 보여지고 있다.

이것은 대상물을 관측할 때 시준지점의 상황과 밀접한 관계가 있다. ①, ②, ⑤번 지점은 시준지점이 면상에 위치해 있기 때문에 주변환경의 영향을 받지 않지만 ③, ④, ⑥, ⑦번 지점은 모서리 부분으로 시준을 정확히 모서리에 할 경우 뒷 면의 영향을 받았기 때문이다.

현재, 국내에 판매되는 여러 무프리즘 토탈스테이션 중 이러한 문제점에 대해 언급하고 해결책을 제시한 제품은

N사의 합초동축방식(Coaxial Focusing System)이 유일하다. 따라서 본 연구에서는 합초동축 무프리즘 토탈스테이션에 대하여상기와 동일한 방법으로 실험을 수행하여 보았다.

#### 4. 합초동축식 무프리즘 토탈스테이션 정확도 실험 및 분석

##### 4.1 타겟의 재질별 각도별 실험

타겟의 재질별, 각도별 정확도 실험은 20m 거리에 대해서만 하였고, 재질에는 철근콘크리트, 화강암, 스티커 대신 유리, 쇠, 종이를 대체하였다.

그림 15는 실험에 사용된 각도별 변환장치 및 합초동축식 무프리즘토탈스테이션이고 세부적인 사양은 표 6과 같다.

모든 관측은 정확하게 초점이 맞는 상태에서 수행하였고, 각 재질마다 시트반사타겟으로 최확값을 얻은 후 무프리즘 모드로 전환하여 관측하였다.

표 7과 그림 16은 타겟의 재질과 시준각도를 변환하면서 실험한 결과를 표와 그림으로 나타낸 것이다.

정확도 측면에서 비초점식에 비해 상당히 양호한 결과를 보이고 있으며, 재질에 따라 차이는 있지만 전반적으로 입사각이 90도에서 60도 정도까지는 비교적 양호한 결과가 나오고 있다.

특히, 유리의 경우는 빔이 투과되어 관측자체가 불가능했고, 뒤에 다른 재질을 부착했을 때 관측은 되지만 그 결

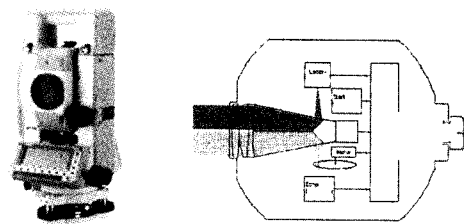


그림 15. 합초동축식 NPTS

표 6. 사용된 합초동축식 NPTS의 사양

항목	사양	항목	사양
망원경배율	30×	최소독취	0.5"
분해력	2.5"	틸팅보정방법	2축
측정방식	TOF	틸팅보정범위	±3'
측정범위(NP)	2~100m	측정정도 (NP정밀모드)	±(3+3ppm×D)mm

표 7. 타겟의 재질 및 각도별 실험결과 단위(m)

모드	각도	대리석	벽돌	적벽돌	타일
P	90	19.952	19.948	19.947	19.940
	90	19.953	19.948	19.948	19.941
	80	19.952	19.943	19.947	19.942
NP	70	19.952	19.941	19.947	19.942
	60	19.952	19.940	19.946	19.940
	50	19.950	19.937	19.946	19.937
	40	19.949	19.933	19.944	19.934
	30	19.946	19.926	19.941	19.927

모드	각도	목재	유리	쇠	종이
P	90	19.944	-	19.957	19.940
	90	19.945	-	19.957	19.941
	80	19.945	-	19.954	19.942
NP	70	19.942	-	19.952	19.942
	60	19.939	-	19.950	19.940
	50	19.936	-	19.941	19.937
	40	19.933	-	19.936	19.934
	30	19.927	-	19.923	19.927

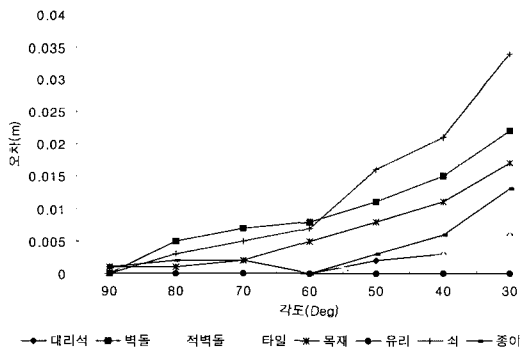


그림 16. 각도별 관측오차(40m)

과는 좋지 않았다.

대리석의 경우 토털스테이션의 종류에 관계없이 가장 양호한 결과를 보이고 있었고, 쇠의 경우는 각이 예각으로 됨에 따라 상당한 오차를 보이고 있다.

#### 4.2 타겟의 색상 및 크기별 실험

타겟의 색상이 정확도에 영향을 미치는지 확인하기 위하여 색종이를 사용하여 실험을 해 보았다. 표 8은 실험결과로서, 최확값 20.068m에 대하여 모두 양호한 결과를 보이고 있으며, 따라서 색상과 관측정확도와는 관계가 없음을

표 8. 타겟의 색상별 정확도 실험 단위(m)

타겟색상	관측거리	오차
빨강	20.068	0.000
주황	20.068	0.000
노랑	20.068	0.000
녹색	20.069	0.001
연두	20.068	0.000
파랑	20.069	0.001
하늘	20.068	0.000
하양	20.068	0.000
검정	20.068	0.000

표 9. 타겟의 크기별 정확도 실험

타겟 재질	타겟크기(mm)	관측거리(m)		
		20.135	30.207	40.083
복사용종이	Ø10	20.135	30.219	40.090
	Ø20	20.134	30.209	40.087
	Ø30	20.135	30.208	40.086
	Ø40	20.135	30.207	40.082
	Ø50	20.135	30.207	40.083
	Ø60	20.135	30.207	40.083
	Ø70	20.135	30.207	40.083
	Ø80	20.135	30.207	40.083
	Ø100	20.135	30.207	40.083
	Ø150	20.135	30.207	40.083
Ø200	20.135	30.207	40.083	

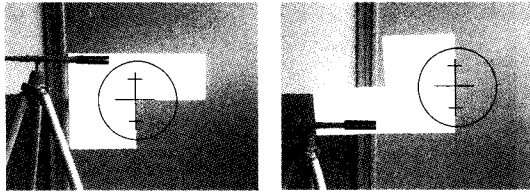
을 알 수 있다.

타겟의 크기별 실험은 앞절과 동일한 방법으로 수행하였고, 근소한 거리차이(20cm정도)가 나는 뒷배경이 관측 결과에 영향을 미치는지 판단하기 위해 뒷배경이 있는 상태와 없는 상태에서 각각 관측을 수행하였다.

표 9로부터, 20m 거리에서는 지름 10mm와 20mm에서 주변의 영향이 있었으나 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었고, 30mm 이상부터는 영향이 없었다. 30m 거리에서는 지름 10mm는 상당한 영향을 받았고 20mm와 30mm는 약간의 영향을, 40mm 이상에서는 영향이 없음을 알 수 있다.

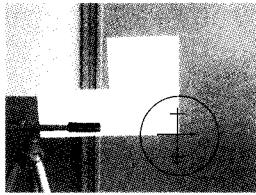
40m 거리에서는 지름 50mm 타겟부터 뒷배경의 영향을 받지 않았다. 이러한 결과로 보아 시준해야 하는 타겟이나 대상물의 크기가 시준거리에 비례하여 커져야 함을 알 수 있으며, 실험에 이용한 장비의 경우 10m마다 약 10mm 정도씩 빔의 크기가 증가하는 것으로 나타났다.





Case 1) 전면 3/4 시준

Case 2) 전면 1/2 시준



Case 3) 전면 1/4 시준

그림 17. 타겟의 모서리 시준 실험

표 10. 타겟의 모서리 시준실험 결과 단위(m)

	초점	P	NP	오차
Case1	전	13.303	13.302	0.001
	후	15.529	-	-
Case2	전	13.303	13.301	0.002
	후	15.529	-	-
Case3	전	13.303	13.310	0.007
	후	15.529	15.526	0.003

정확한 초점과 관측정확도와의 관계를 알아보기 위해 초점을 흐리게 해 보았다. 초점을 정확하게 맞추지 않은 상태에서는 그 결과가 정확하게 나오지 않았으나 약간의 어긋남 정도는 결과에 큰 영향을 미치지 않았다.

시설물 측량에서 무엇보다 중요한 것은 정확하게 그 형상을 표현하는 것이다. 이것은 주로 모서리 관측을 통하여 실현되며, 그림 17과 같이 세 가지 경우를 가정하여 실험해 보았다.

첫 번째 경우는 시설물의 직각 모서리 안쪽면을 가정한 것으로서 전면부에 3/4, 후면부가 1/4 정도의 면적으로 시준되는 것이다.

두 번째 경우는 전면부와 후면부가 각각 절반씩 시준되는 경우, 세 번째는 전면부가 1/4 후면부가 그 나머지면적을 차지하는 경우를 가정한 것이다. 세 가지 경우에 대하여 전면부와 후면부에 각각 초점을 맞추어 실험해 보았다.

표 10은 관측결과를 나타낸 것으로, 첫 번째 경우는 전면

부에서 양호한 결과를 보이고 있으나 후면은 관측이 불가능했다. 두 번째 경우 역시 업계에서 제시한 자료와는 달리 후면부 관측이 불가능했고, 세 번째 경우는 전면과 후면의 관측이 모두 수행되었으나 전면에 많은 오차가 포함되어 있고 후면부에도 약간의 오차가 나타나고 있다.

초점의 오차범위를 고려하여 전면과 후면과의 거리를 더 멀게 하여 실험을 해 보았으나 결과는 동일하게 나타났다.

이러한 결과로 보아 두면이 전후로 중복될 경우 적어도 절반이상 시준되는 면에 초점을 맞출 경우에 한해서 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

### 4.3 합초동축식 TS에 의한 대상물 실측

실제 시설물측량에서 합초동축식 토탈스테이션의 활용 가능성을 평가하고자 그림 18과 같은 시설물에 대하여 실측을 하였다.

모든 관측은 해당 지점에 정확하게 초점을 맞춘 상태에서 수행되었고, 관측자료의 도화결과는 그림 19와 같다.

원으로 표시된 지점들은 비초점식 토탈스테이션을 이용하였을 경우 상당히 많은 오차를 보였던 지점들이었으나, 합초동축식에서는 양호한 결과를 보이고 있다.

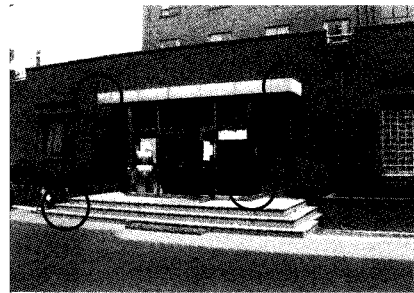


그림 18. 실측대상 시설물

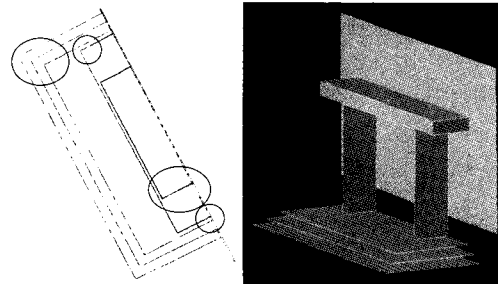


그림 19. 실측자료 도화 결과

## 5. 결 론

이상과 같이 무프리즘 토털스테이션의 시설물측량 활용성을 평가하기 위해 타겟의 재질, 크기, 시준각도별로 정확도를 점검하고, 실제 시설물에 대하여 실측을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 무프리즘 토털스테이션의 정확도는 대상물의 재질이나 색상에 영향을 받지 않으며, 유리와 같이 투명한 재질에서는 관측이 불가능하다.
  2. 레이저빔이 타겟에 90°로 정확하게 입사했을 때 가장 좋은 결과를 얻을 수 있으며, 예각으로 갈수록 실제보다 거리가 짧게 관측된다.
  3. 무프리즘 토털스테이션을 시설물측량에 활용할 수 있으나, 소요의 정확도를 얻기 위해서는 합초동축시스템을 갖춘 장비를 이용해야 한다.
  4. 시설물의 작은 부분을 시준할 때는 레이저빔의 확산 비율을 계산해서 시설물과 장비와의 관측거리를 결정해야 양호한 결과를 얻을 수 있다.
- 실험결과 관측정확도에 영향을 미치는 것은 대상물의

색상이나 경도보다는 표면의 조도에 의한 난반사가 원인인 것으로 유추된다. 본 연구에서는 조도와 관련하여 연구를 계속 진행하고자 한다.

## 참고문헌

- Barry F. Kavanagh, S. J. Glenn Bird (1996), *Principles and Applications* : Fourth edition, Prentice Hall, pp. 257-275.
- Jack McCormac (1995), *Surveying* : Third Edition, Prentice Hall, pp. 240-247.
- John Muskett (1988), *Site Surveying*, BSP Professional books, London, pp. 64-67.
- 조규전 (2003), 측량정보공학, 양서각, pp. 124-136.
- 박송배 (1996), 신회로이론, 문운당, pp. 93-99.
- 이재기, 최석근, 박경식 (2002), 측량학 I, 형설출판사, pp. 134-137.
- Fritz Deumlich (1982), *Surveying Instruments*, Walter de Gruyter, Berlin · NewYork, pp. 255-257.
- Hoglund, R. & Large, R. (2002), *Direct Reflex EDM Technology for the Surveyor and Civil Engineer*, Trimble integrated Surveying Group, Westminster, Colorado, USA, pp. 1-10.
- Nikon (2003), <http://www.nikongeo.co.kr>

(2003년 4월 29일 원고접수)