

지형측량을 위한 무 프리즘 토털스테이션의 활용 Application of Non-prism Total Station for Topographic Surveying

이종출¹⁾ · 김희규²⁾ · 하대환³⁾ · 서재수⁴⁾

Lee, Jong Chool · Kim, Hee Kyu · Ha, Dae Hwan · Seo, Jae Su

¹⁾ 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)

²⁾ 경남정보대학 실내공간인테리어과 교수·공학박사(E-mail:kimhg51@hanmail.net)

³⁾ 창원전문대학 토목환경과 교수·공학박사(E-mail:dhdw@changwon-c.ac.kr)

⁴⁾ 부경대학교 대학원 토목공학과 석사과정(E-mail:geogisseo@pknu.ac.kr)

Abstract

Applications for developed non-prism total station which can decides three dimensional position without prism are increasing in variety survey fields. However, distance measurement using non-prism method is lower accurate than prism method because laser strength reflected from materials is varied by angle of reflection and materials.

Therefore, distance measured using non-prism total station by angle of reflection and materials is compared with that using prism method, and its characters are introduced applying non prism total station in topographic surveying.

1. 서론

광학기기의 발달과 더불어 측량기기의 급속한 발전으로 각과 거리를 동시에 측정할 수 있는 토털스테이션(TS)이 널리 보급되어 다양한 측량분야에 많이 사용되고 있다. 최근 전자기술의 발달로 기기에서 발사된 레이저가 측정대상물에 직접 반사되어 거리를 측정가능하게 하고, 3차원위치를 결정할 수 있는 무 프리즘 토털스테이션이 등장하여 도로, 공항, 항만 등의 토목분야 뿐 아니라 구조물변위, 계측 등의 건축분야에 그 활용이 증대되고 있다.

기존의 TS는 반사 프리즘에 의해서만 거리를 측정할 수 있기 때문에 반사 프리즘이 도달할 수 있는 범위로 그 측량범위가 한정되었지만, 무 프리즘 TS의 경우는 대상물에 직접시준 하여 거리의 측정이 가능하므로 시준가능한 대상물의 3차원 위치를 쉽게 측정할 수 있다. 그러나 레이저의 특성상 대상물에 반사된 레이저의 강도는 측정되는 재료의 특성 및 반사각에 따라 크게 변화하여 그 정확도는 프리즘을 이용한 측정 정확도에 미치지 못한다.

따라서 본 연구는 무 프리즘 TS를 활용하여 일반적인 측량에 적용되는 지형 및 지물을 대상으로 3차원위치를 결정하고 타깃을 이용하여 결정된 3차원위치와 비교분석을 통하여 무 프리즘 TS의 정확도와 활용성을 소개하고자 한다.

2. 무프리즘 토털스테이션의 원리

무프리즘 토털스테이션은 반사프리즘을 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). 그림1과 그림2는 각각 TOF방식과 위상변위방식의 광학원리를 보여준다.

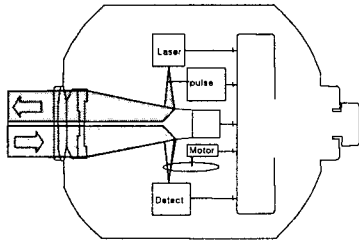


그림 1. TOF 방식의 광학원리

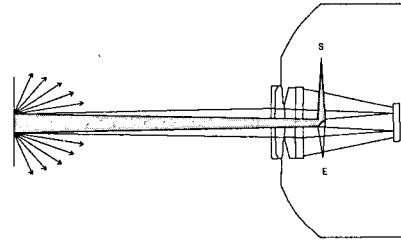


그림 2. 위상변위방식의 광학원리

2.1 위상변위측정법

위상변이측정법은 관측신호를 연속되는 반송파신호에 변조(modulation)시켜 발사하는 방법으로 EDM의 반송파가 광파장인 것을 제외하고는 라디오방송을 변조시키는 것과 같은 원리이다. 기계로부터 발사된 신호가 타겟에 반사되어 돌아 올 경우 발사된 신호와 수신된 신호간의 위상오프셋(constant phase shift)을 측정한다. 그림 3은 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 θ 만큼 앞서서 영점 또는 최대점에 도달하므로 v 는 i 보다 각이 θ 만큼 위상이 앞서있다. 이때, A지점을 선택하면, v 와 i 는 식 (1)과 같이 되고

$$v = V_m \sin \omega t \quad i = I_m \sin (\omega t - \theta) \quad (1)$$

B지점을 기점으로, 선택하면 식(2)와 같이 쓸 수 있다.

$$v = V_m \sin (\omega t + \theta) \quad i = I_m \sin \omega t \quad (2)$$

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

$$v = V_m \sin (\omega t + \alpha) \quad i = I_m \sin (\omega t + \alpha - \theta) \quad (3)$$

이 모든 경우에서 v 의 위상각과 i 의 위상각의 차는 θ 만큼 변위된다. 위상변위는 상기한 식과 같이 위상비교를 통하여 취득된다.(박송배, 1996)

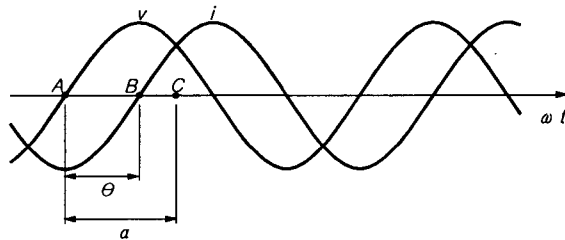


그림 3. Phase shift

위상비교를 통하여 단지 위상변위만을 취득하며 초기의 사이클모호정수는 구할 수 없기 때문에 총 거리를 산출하기는 어렵다. 사이클모호정수는 하나만의 사이클모호정수를 제공하는 다중측정변조과장을 이용하여 해결될 수 있다. 따라서 모호정수만 취득이 된다면, 타겟까지의 거리는 매우 정확하게 결정될 수 있다.(Hoglund and Large, 2005)

2.2 TOF(Time-of-Flight)측정법

Time of Flight(TOF)기법은 시간정보를 정확하게 측정하여 거리를 계산한다. EDM은 망원경을 통하여 타겟으로 전송되는 적외선 또는 광펄스를 생성하고, 이러한 펄스는 타겟으로 반사되어 각 광펄스의 왕복시간이 전자적으로 결정되는 기계로 돌아온다. 매질을 통한 빛의 속도가 정확하게 측정되기 때문에 왕복시간을 측정하여 기계와 타겟간의 거리를 계산할 수 있다.

각 펄스는 직접적인 거리관측으로서 측정이 이루어지는 동안 초단위로 수천, 수만개의 펄스가 보내어 진다면 비교적 빠르게 양호한 결과의 값을 취득할 수 있다. 일반적으로 무 프리즘 측정모드에서는 매초 20,000개의 펄스화된 레이저측정이 이루어진다. 그리고 이것은 정확한 거리측정값으로 산정될 수 있다.(Hoglund and Large, 2005)

3. 거리측정 및 결과

3.1 거리측정

무 프리즘 TS는 직접 측정 대상물에 레이저를 발사하고 반사된 레이저의 신호를 측정하여 거리를 계산한다. 레이저는 접촉면의 표면특성에 따라 반사된 레이저의 분산과 강도가 변화 할 수 있으므로 거리 관측의 정확도는 레이저가 반사되는 재료의 표면재질과 반사각에 따라 변화 할 수 있다. 따라서 무 프리즘 거리측정정확도를 평가하기 위해서 40m, 60m, 80m, 100m, 200m, 250m, 300m의 거리에 기준점을 선점하고 각 점의 거리는 프리즘을 이용하여 정확한 거리를 측정하였다. 그리고 무 프리즘 모드의 거리 측정에서 표면재질과 반사각에 따른 거리측정 값을 비교하기 위해 측정대상이 될 수 있는 재료를 선정 하였으며, 90°, 60°, 30°의 반사각에 따라 거리를 측정하였다. 그림 4는 거리측정에 사용된 재료를 나타내며, 그림 5와 표 1은 거리측정에 사용된 무 프리즘 토탈스테이션의 형상과 제원을 보여준다.

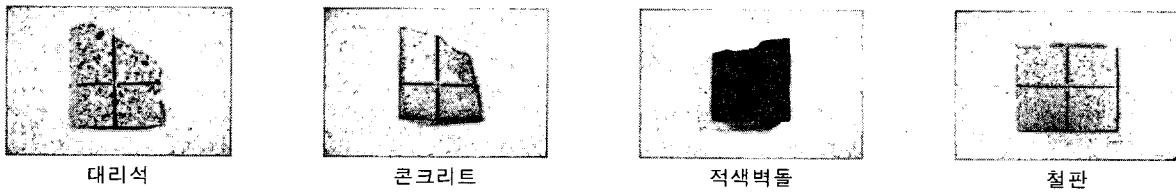


그림 4. 사용재료

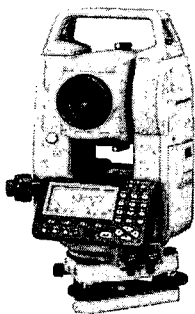


그림 5. 무 프리즘 토탈스테이션

표 1. 관측 장비의 제원

측 각 부		
최소표시/정도	1" / 2"	
이중측 보정범위	±3'	
측 거 부		
측 정 방 식	TOF	
Laser 출력범위	무타겟	class 3(최대 5mW)
	프리즘	class 1(최대 0.22mW)
측정범위	무타겟	0.3~350 m
	프리즘	1.3~5,000 m
정 확 도 (D=mm)	무타겟	±(3+2ppm×D) mm
	프리즘	±(2+2ppm×D) mm

3.2 결과

프리즘을 이용하여 측정한 거리를 재료와 반사각에 따라 측정한 결과의 차이는 표 2와 같이 나타내었 으며, 그림 6은 각각의 재료에 대하여 반사각과 거리에 따른 오차를 그래프로 나타내었다. 측정거리를 300m까지 설정하였으나, 300m의 거리에서는 거리측정이 이루어지지 못하였다. 그 이유는 본 실험에서

는 관측재료의 크기가 작아 측정이 되지 않은 것으로 판단된다. 모든 경우에서 100m 이내의 거리측정오차는 0에서 0.007m으로 나타났으며, 대부분 0.005m이내의 오차를 가지므로 근거리 측정에서 거리측정오차는 반사재료 및 반사각의 변화에 비례하여 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 하지만, 200m 이상의 측정거리에서 각각의 재료는 반사각에 영향을 받아 그 오차가 증가함을 알 수 있다. 특히, 철판의 경우는 정면에서 측정한 결과 모든 측정거리에서 0.005m이내의 오차를 가지지만, 200m이상의 거리에서 반사각이 변함에 따라 오차는 크게 증가하여 250m의 측정거리에서는 60도의 반사각에도 측정이 이루어지지 못함을 알 수 있다. 200m 이상의 측정에서 반사각이 30도일 경우는 모두 0.03m에서 0.08m의 거리측정오차를 나타냈다.

표 2. 재료와 반사각의 거리에 따른 오차

반사재료	반사각	측정거리 (m)					
		40 m	60 m	80 m	100 m	200 m	250 m
대 리 석	90	0.002	0.000	0.001	0.004	0.010	0.016
	60	0.002	0.000	0.000	0.003	0.013	0.027
	30	0.002	0.001	0.005	0.002	0.030	0.044
콘크리트	90	0.001	0.003	0.005	0.006	0.011	0.030
	60	0.002	0.001	0.006	0.003	0.013	0.024
	30	0.001	0.001	0.003	0.004	0.023	0.062
적색벽돌	90	0.002	0.002	0.003	0.007	0.036	0.029
	60	0.001	0.001	0.000	0.003	0.037	0.041
	30	0.000	0.004	0.005	0.003	0.035	측정불가
철판	90	0.001	0.002	0.007	0.005	0.006	0.001
	60	0.000	0.000	0.004	0.001	0.041	측정불가
	30	0.002	0.002	0.006	0.006	0.080	측정불가

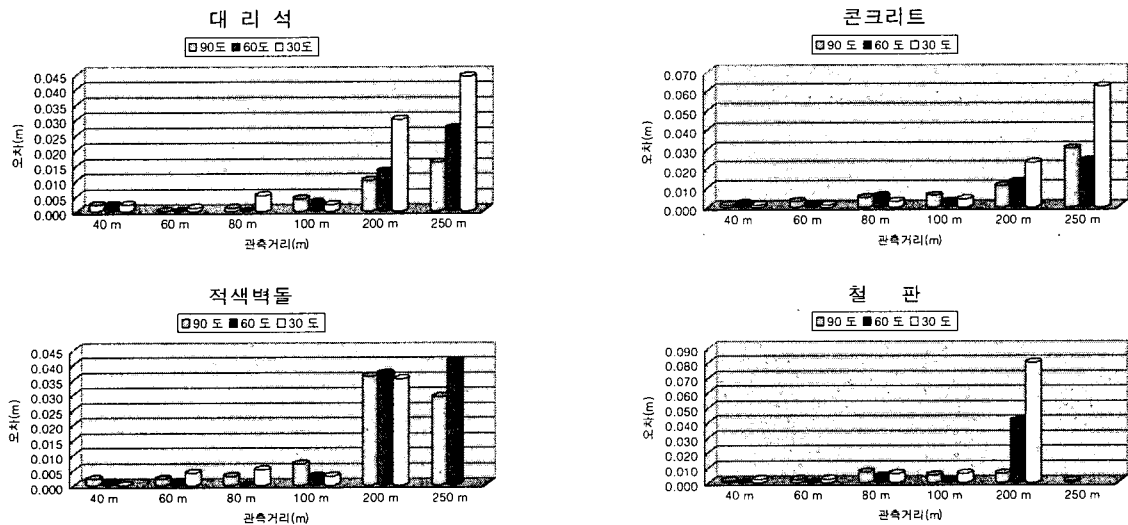


그림 6. 재료와 반사각의 거리에 따른 오차

4. 무 프리즘 TS의 활용 및 평가

TS는 대상공간의 3차원 위치를 결정하는데 그 활용도가 매우 높기 때문에 도로와 구조물을 포함한 지형을 대상으로 무 프리즘 TS의 활용성을 평가하였다. 시험대상지역은 부경대학교내의 도로, 구조물, 사면 등을 포함한 지역이며, 무 프리즘 TS의 특성을 시험하기에 적합한 장소이다. 도로, 구조물, 사면 등의 측정 대상물에 특정 점을 선정하여 프리즘을 이용한 3차원 위치를 결정하고 무 프리즘을 이용한 결과와 비교 분석함으로써 무 프리즘 TS의 활용성을 평가하였다.

4.1 도로 측량의 활용 및 평가

무 프리즘 TS를 이용하여 도로의 경계와 그 중심선의 위치를 측정 하기위해서는 긴 관측거리와 낮은 반사각을 요구하게 된다. 따라서 도로측량에 무 프리즘 TS의 활용성을 평가하기위해서 반사각에 따른 관측가능거리와 그 정도를 평가하였다. 표 3은 도로중심선을 측정할 경우 나타난 오차를 측정거리와 반사각과 함께 나타내었다. 모든 경우에서 1~9도의 낮은 반사각으로 측정되었으며, 대략 200m의 거리까지 측정 가능하였다. 표 3에서 알 수 있듯이 측정오차는 관측거리보다 반사각에 많은 영향을 받으며, 250m의 거리는 5도 이상의 반사각에도 측정 불가능한 것을 알 수 있다. 무 프리즘 TS를 이용한 도로중심측량은 200m이내의 거리와 2도 이상의 반사각을 갖는다면 $\pm 0.03m \sim \pm 0.05m$ 의 정도를 가진다.

표 3. 무 프리즘 TS를 이용한 도로측량의 오차

측점	프리즘으로 측정된 좌표(m)			무 프리즘으로 측정된 좌표(m)			오 차(m)			관측거리 (m)	반사각
	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ		
1	508.646	493.473	99.654	508.597	493.472	99.670	0.049	0.001	-0.016	10.833	9도38분
2	490.799	513.325	99.962	490.845	513.322	99.975	-0.046	0.003	-0.013	16.193	6도03분
3	528.202	481.045	96.836	-	-	-	-	-	-	33.980	1도04분
4	471.251	532.093	100.084	471.251	532.093	100.097	0.000	0.000	-0.013	43.087	2도18분
5	559.849	464.316	92.414	558.416	465.170	92.638	1.433	-0.854	-0.224	69.680	0도28분
6	442.220	560.179	100.111	441.822	560.594	100.114	0.398	-0.415	-0.003	83.427	1도04분
7	587.030	453.016	89.630	586.996	453.035	89.654	0.034	-0.019	-0.024	98.903	1도28분
8	421.610	585.934	100.266	420.826	586.792	100.270	0.784	-0.858	-0.004	116.317	0도56분
9	612.923	437.435	89.386	612.885	437.455	89.404	0.038	-0.020	-0.018	129.097	4도57분
10	626.762	427.917	89.349	626.722	427.947	89.370	0.040	-0.030	-0.021	145.824	4도51분
11	380.364	626.150	100.072	-	-	-	-	-	-	173.858	0도19분
12	360.400	651.639	100.171	360.400	651.632	100.187	0.000	0.007	-0.016	206.113	6도13분
13	331.618	694.608	105.457	-	-	-	-	-	-	257.342	5도07분

4.2 구조물 측량의 활용 및 평가

건물과 같은 구조물의 측정에서는 그 경계가 중요한 요소가 된다. 따라서 구조물측량에서 그 측정 대상이 되는 건물의 모서리부분을 측정하여 정확도를 평가하였다. 표 4는 건물의 모서리부분을 측정한 결과와 오차를 나타낸다. 100m의 관측거리에서도 모두 0.01m이하의 오차를 가지는 것으로 나타났다. 하지만 4번 측정점의 경우는 상당히 큰 오차를 가지는 것을 볼 수 있다. 이렇게 큰 오차가 발생하는 이유는 반사각이 직각인 대상물의 모서리를 측정할 경우 측정기기로부터 발사된 레이저는 측정모서리부분과 그 후면의 대상물에서 반사되므로 거리측정에 큰 영향을 미치기 때문이다.

표 4. 무 프리즘 TS를 이용한 구조물측량의 오차

측점	프리즘으로 측정된 좌표(m)			무 프리즘으로 측정된 좌표(m)			오 차(m)			관측거리 (m)
	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ	
1	436.804	538.403	86.440	436.812	538.405	86.440	-0.008	-0.002	0.000	73.949
2	446.977	546.232	85.602	446.983	546.227	85.604	-0.006	0.005	-0.002	70.348
3	425.512	574.273	86.742	425.521	574.264	86.744	-0.009	0.009	-0.002	105.190
4	429.853	572.816	86.543	428.512	574.207	86.257	1.341	-1.391	0.286	101.108
5	449.697	588.108	86.717	449.702	588.098	86.720	-0.005	0.010	-0.003	101.456
6	450.042	587.695	86.665	450.040	587.697	86.664	0.002	-0.002	0.001	100.927
7	451.287	587.504	86.608	451.285	587.505	86.606	0.002	-0.001	0.002	100.149
8	454.141	589.748	87.117	454.145	589.740	87.121	-0.004	0.008	-0.004	100.786
9	454.285	590.972	87.135	454.278	590.986	87.131	0.007	-0.014	0.004	101.812
10	471.493	585.043	87.954	471.494	585.038	87.954	-0.001	0.005	0.000	89.694

4.3 사면 측량의 활용 및 평가

수목을 포함하는 사면을 대상으로 무 프리즘 TS를 이용한 정확도를 평가하였다. 표 5는 사면을 측정 한 결과와 그 오차를 나타낸다. 측정거리와 반사각에 상관없이 대부분 0.05m~0.50m의 오차를 가지는 것을 알 수 있으며, 이는 사면에 포함된 수목 등의 영향으로 판단된다. 따라서 무 프리즘 TS를 이용하여 사면의 측량에서는 측정거리 및 반사각에 관계없이 $\pm 0.20m \sim \pm 0.50m$ 의 정도를 가진다.

표 5. 무 프리즘 TS를 이용한 사면측량의 오차

측점	프리즘으로 측정된 좌표(m)			무 프리즘으로 측정된 좌표(m)			오 차(m)			관측거리 (m)	반사각
	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ		
1	519.549	512.041	101.771	519.515	512.020	101.847	0.034	0.021	-0.076	22.960	26도17분
2	532.791	513.281	102.731	532.660	513.203	102.797	0.131	0.078	-0.066	35.378	16도42분
3	554.635	515.558	105.413	554.609	515.550	105.475	0.026	0.008	-0.062	56.807	9도57분
4	554.802	514.236	105.301	554.401	514.051	105.361	0.401	0.185	-0.060	56.621	12도02분
5	577.765	516.751	107.829	577.362	516.664	107.838	0.403	0.087	-0.009	79.549	9도12분
6	584.996	515.782	108.389	584.659	515.720	108.430	0.337	0.062	-0.041	86.449	7도33분
7	610.836	517.362	111.314	610.575	517.321	111.342	0.261	0.041	-0.028	112.188	5도24분
8	627.124	519.379	113.556	626.815	519.331	113.610	0.309	0.048	-0.054	128.593	1도37분

5. 결론

측정 대상물의 재료특성과 반사각에 따른 무 프리즘 TS의 정확도를 분석하고, 무 프리즘 TS를 도로, 구조물, 사면 등의 지형측량에 사용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 대리석, 석재, 적색벽돌, 철판 등의 재료에 대하여 90, 60, 30도의 반사각으로 측정한 결과 100m 이내의 거리에서는 정확하게 관측되는 것으로 나타났다. 하지만, 200m 이상의 거리에서 오차는 거리에 비례하여 증가하였으며, 반사각이 예각으로 될 수록 오차는 크게 증가하는 것으로 나타났다.

둘째, 도로에서는 반사각 2도 이상 200m이내의 측정거리에서 $\pm 0.03m \sim \pm 0.05m$ 의 측정정도로 나타났으며, 사면의 측량에서는 수목의 영향으로 측정거리와 반사각에 관계없이 $\pm 0.20m \sim \pm 0.50m$ 의 측정정도로 나타났다. 또한 구조물의 경계를 측정한 결과 $\pm 0.01m$ 의 측정정도로 가장 정밀한 측정결과를 얻을 수 있었다.

셋째, 지형측량에 있어서 무 프리즘 TS를 적절히 활용한다면, 교통의 흐름이 많은 곳의 도로, 경사각이 높은 암벽의 절리면, 기타 위험지역에서 측량자의 안전과 신속한 측량작업을 제공할 것으로 판단된다.

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.

Hoglund, R. & Large, R.(2005), *Direct Reflex EDM Technology for The Surveyor and Civil Engineer*, Trimble Survey, Westminster, Colorado, USA

박송배(1996), *신회로이론*, 문우당, pp. 93-99.

박경식, 이현직, 함장학(2003), *시설물측량에서의 무프리즘 토털스테이션 활용성 연구*, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제21권, 제2호, pp. 155-164.