

지형측량을 위한 무 프리즘 토탈스테이션 정확도 평가

Accuracy Evaluation of Non-prism Total Station for Topographic Surveying

서동주¹⁾

Seo, Dong-Ju

Abstract

With a development of electrical technology in recent, it is possible to measure distance without direct contact to object using laser which launched at instrument and reflect from object. Furthermore, the advent of non prism total station brought the increment of application in many fields including not only road, airport, and harbors but also measurement and monitoring of structural displacement in construction fields. In this study, therefore, to evaluate accuracy of non prism total station, accuracy was analyzed by measuring certain distance which classified by both certain materials and angle of reflection. By this method, the derived values were applied to topographical survey for the efficient applicability. According to a study, result value of non prism total station was satisfactory regardless of material when the angle of reflection was 90 degrees. RMSE increased when the angle of reflection are gradually increased to acute angle. In result of regression analysis using certain distance which classified by both materials and angles of reflection, there is relationship between distance and angle of reflection, but material has no relevance to the result value. When carrying out general topographical survey, proper application of non prism total station will go far conducting safe and prompt survey at the dangerous site such a road which have lots of traffic flow and rock joint which have high angles of inclination.

Keywords : Non prism total station, Angle of inclination, Regression analysis, topographical survey

초 록

최근 전자기술의 발달로 대상물에 접촉하지 않고, 장비에서 발사된 레이저가 측정대상물에 직접 반사되어 거리를 측정가능하게 하였다. 더욱이 3차원위치를 결정할 수 있는 무 프리즘 토탈스테이션이 등장하여 도로, 공항, 항만 등의 토목분야 뿐 아니라 구조물변위, 계측 등의 건축분야에 그 활용이 증대되고 있다. 따라서 본 연구에서는 무 프리즘 토탈스테이션의 정확도를 평가하기 위하여 관측거리에 따른 재료 및 반사각도별로 관측하여 정확도를 분석하였고, 그 활용성을 위하여 지형측량에 적용하였다. 연구한 결과는 무 프리즘 토탈스테이션은 반사각도가 90°일 때는 재료와 상관없이 매우 양호한 값으로 분석되었다, 점차적으로 반사각도가 예각으로 증가할 때 RMSE는 높아지는 양상이 보였다. 그리고 관측거리에 따른 재료 및 반사각도별로 회귀분석 한 결과, 관측거리와 반사각도는 상관성이 있는 것으로 판단되며, 재료와는 상관성이 없는 것으로 분석되었다. 일반적인 지형측량에 있어서 무 프리즘 토탈스테이션을 적절히 활용한다면, 교통의 흐름이 많은 곳의 도로, 경사각이 높은 압벽의 절리면, 기타 위험지역에서 측량자의 안전과 신속한 측량작업을 제공할 것으로 판단된다.

핵심어 : 무 프리즘 토탈스테이션, 반사각도, 회귀분석, 지형측량

1. 서 론

광학기기의 발달과 더불어 측량기기의 급속한 발전으

로 각과 거리를 동시에 관측할 수 있으며, 내장된 마이크로프로세서에서 수평거리, 연직거리, 좌표값 등을 자동으로 계산과 저장을 하는 토탈스테이션(TS)이 널리 보급되

1) 정회원 · 부경대학교 공학연구원, 특별연구원(E-mail:dpsdj@pknu.ac.kr)

어 다양한 측량분야에 많이 사용되고 있다.

최근 전자기술의 발달로 대상물에 접촉하지 않고, 기기에서 발사된 레이저가 측정대상물에 직접 반사되어 거리를 측정가능하게 하고, 3차원위치를 결정할 수 있는 무프리즘 토털스테이션이 등장하여 도로, 공항, 항만 등의 토목분야 뿐 아니라 구조물변위, 계측 등의 건축분야에 그 활용이 증대되고 있다.

일반적으로 토털스테이션을 이용하여 실무측량에 많이 적용하고 있으며, 연구부문에서는 연구실험값의 검증측면에서 활용하고 있다. 특히 외국에서는 DTM을 구성하기 위하여 토털스테이션을 이용한 연구가 있었으며(Richard 등, 1999), 국내에서도 수치사진측량에서 검사점 측량에 많이 사용하였다(서동주 등, 2003; 김진수, 2004). 그리고 위성측위의 정확도를 향상시키며, 효율적인 도근점의 전개를 위해서 위성측량과 토털스테이션의 결합에 의하여 연구하였으며(박운용 등, 2003), 지적측량에서 기존에 측량관측체계를 전자측량체계에 전환하는 연구에서 pen 컴퓨터와 토털스테이션을 결합하여 토털측량시스템을 연구하였다(김갑래 등, 2003).

무 프리즘 토털스테이션의 연구는 미흡한 상태이며, 앞으로 많은 측량분야에 활용될 것 이다. 이러한 활용성에 대비하여 먼저 측량을 할 경우에 발생하는 문제점이나 오차등에 관한 연구가 선행되어야한다(박경식 등, 2003). 무 프리즘 토털스테이션을 이용하여 대상해역의 표사이동에 영향을 미치는 해빈류의 분포 및 조류를 파악하여 해안침식에 대한 영향을 분석하는 연구도 있었으며(이재강 등, 2005), 지형측량을 위한 무 프리즘 토털스테이션의 활용에 대하여 발표하였다(이종출 등, 2006).

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 변화하므로 그 정확도는 프리즘토털스테이션보다는 정확도가 저하된다.

따라서 본 연구는 무 프리즘 토털스테이션의 정확도를 평가하기 위하여 측정대상물의 재질별, 반사각도별로 관측하여, 거리에 따른 각각의 재질과 반사각도별로 오차를 회귀분석하고, 그 분석된 결과로 일반적으로 측량에서 주가 되는 지형측량에서의 도로 및 건축물, 산사면의 대상

물을 3차원위치를 결정하고, 타겟 토털스테이션의 관측값과 비교분석을 통하여 무 프리즘 토털스테이션의 활용성과 정확도를 평가 하고자 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; 박경식 등, 2003; Wen 등, 2005).

2.1 TOF(Time Of Flight) 방식

TOF 방식은 그림 1에서와 같이 송신된 레이저가 대상물의 표면에서 반사되어 되돌아오는 시간적 차이를 이용하여 거리를 계산하는 방식으로 송신부, 수신부, 처리부로 구성되어진다.

송수신되는 경과시간 Δt 는 $\Delta t = t_2 - t_1$ 이다. 여기서, t_1 은 송신된 주파수가 f_1 에서 f_2 로 변할 때의 시간이며, t_2 는 수신된 주파수가 f_1 에서 f_2 로 변할 때의 시간이다. 따라서 경과된 시간에 빛의 속도(c)를 곱하면 왕복거리가 산출되며, 측정대상물까지의 거리는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$d = \frac{c \times (t_2 - t_1)}{2} \quad (1)$$

2.2 위상변이(Phase shift) 방식

주파수가 다른 파를 동시에 발산하여 생성된 두 파의 위상변위는 거리와 시간에 따라 그림 2와 같이 1p로 시작

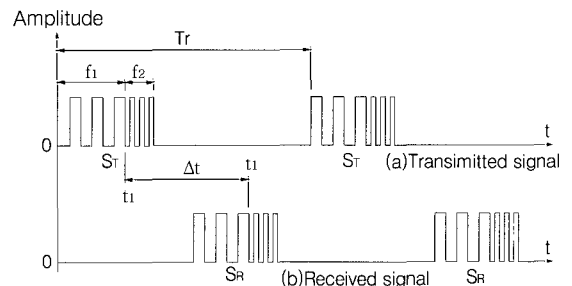


그림 1. Time Of Flight

하여 점진적으로 큰 위상변위를 생성한다. 동일한 거리에서 두 신호를 검출하고 두 파의 출발시간을 알면 위상변위 $n\lambda$ 는 1λ 로 나누어질 수 있다. 측정된 위상변위를 발생하기 위해 생성된 파의 수와 일정한 속도가 주어진다면, 측정거리는 계산될 수 있다.

위상변위의 검출은 TFCW(two frequency continuous wave)에 기반을 두고 있다. 첫 번째 주파수(f_1)의 CW가 송출되고, 송수신 신호에서 처음의 위상변위(ϕ_1)은 수치화된 위상정보로부터 계산된다. 처음 보내어진 파의 송신, 수신, 계산이 완료되면 두 번째 주파수(f_2)의 CW가 송신되고 위상변위(ϕ_2)가 계산된다. 두 위상변위의 비교를 통하여 거리 d 는 식 (2)와 식 (3)에 의해 계산될 수 있다.

$$d = \left(n_1 + \frac{\phi_1}{2\pi} \right) \times \lambda_1 \quad (2)$$

$$d = \left(n_2 + \frac{\phi_2}{2\pi} \right) \times \lambda_2 \quad (3)$$

여기서, λ 은 파장, n 은 정수, ϕ 는 위상변위이다. 파장(λ)이 다르기 때문에 위상변위의 차이는 식 (4)와 같이 표시할 수 있다.

$$d \times \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \quad (4)$$

여기서, 정수 n 은 $n_1 = n_2$, $n_1 = n_2 + 1$ 두 개의 값을 가진다. 따라서 위상변위의 차이는 다음의 조건식에 의해 정의된다.

$$\phi_1 > \phi_2 \text{ 이면, } \Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 \quad (5)$$

$$\phi_1 < \phi_2 \text{ 이면, } \Delta\phi = \phi_1 + 2\pi - \phi_2 \quad (6)$$

빛의 속도는 일정하기 때문에 $\lambda_1 = \frac{c}{f_1}$, $\lambda_2 = \frac{c}{f_2}$ 이고 이 값들을 식 (4)에 대입하면 아래의 식 (7)과 같이 정리

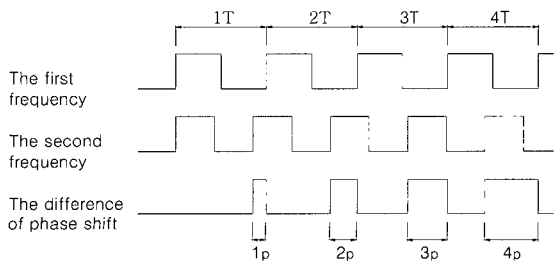


그림 2. Phase shift

될 수 있다.

$$d = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \times \frac{c}{f_1 - f_2} \quad (7)$$

3. 무 프리즘 토털스테이션의 정확도 평가

3.1 정확도 평가를 위한 관측

3.1.1 관측대상물 및 관측장비

무 프리즘 토털스테이션의 정확도를 평가하기 위하여 직선거리가 200m인 대상지역을 선택하였다. 대상지역의 모습은 그림 3과 같다. 그리고 관측대상물은 일반적으로 지형측량 할 때 쉽게 볼 수 있는 철관, 목재, 콘크리트, 아스팔트, 적색벽돌, 대리석, 토사를 사용하였으며, 그 재료의 모습은 그림 4와 같다. 관측장비로서는 SET-230RK3

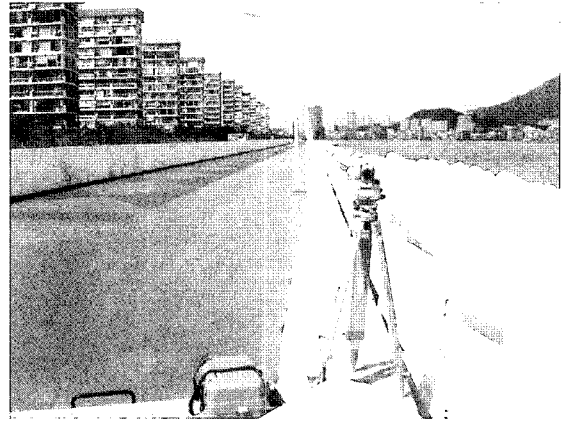


그림 3. 관측대상지역

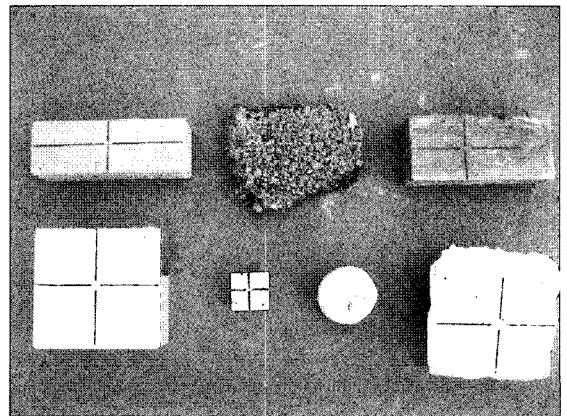


그림 4. 관측대상물(재료)

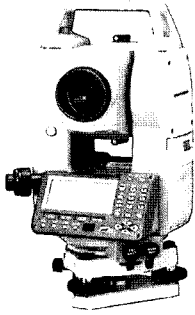


그림 5. 관측장비

표 1. 관측장비제원

측 각 부		
최소표시/정도	1" / 2"	
이중축 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	0.3~350m
	프리즘	1.3~5,000m
정확도 (D=mm)	무타겟	±(3+2ppm×D) mm
	프리즘	±(2+2ppm×D) mm

이며, 이 장비는 무 프리즘 토털스테이션으로 프리즘 및 무 프리즘을 같이 측정할 수 있다. 이장비의 모습은 그림 5와 같고, 제원은 표 1에 나타내었다.

3.1.2 정확도 평가를 위한 관측방법

무 프리즘 토털스테이션은 직접 측정 대상물에 레이저를 발사하고 반사된 레이저의 신호를 측정하여 거리를 계산하는 위상변이방식으로 관측을 하였다. 레이저는 접촉면의 표면특성에 따라 반사된 레이저의 분산과 강도가 변화할 수 있으므로 거리관측의 정확도는 레이저가 반사되는 재료의 표면재질과 반사각에 따라 변화할 수 있다. 따라서 무 프리즘 정확도를 평가하기 위해서 20m, 40m, 60m, 80m, 100m, 120m, 140m, 160m, 180m, 200m 의 거리에 기준점을 선점하고 각 점의 거리는 프리즘을 이용하여 30회 이상의 정확한 거리를 측정하였다. 그리고 무 프리즘 모드에서의 거리측정에서 표면재질과 반사각에 따른 거리측정 값을 비교하기 위해 측정대상이 될 수 있는 재료를 선정하였으며, 반사각도 90°, 60°, 30°의 재료를 측



그림 6. 관측하는 모습

정하였다. 반사각도는 토털스테이션과 일치할 때 90°로 설정하였으며, 재료를 60°, 30°로 회전시켜 거리를 30회 이상 관측하였다. 측정하는 모습은 그림 6에 나타내었다.

3.2 정확도 평가를 위한 관측 결과 및 분석

3.2.1 관측결과

무 프리즘 토털스테이션 정확도를 평가하기 위해서 20~200m 까지의 거리를 선정하고 재료를 90°, 60°, 30°를 변화하여 거리를 측정하였다. 그 결과는 표 2에 나타내었다. 관측결과를 보면 철판인 경우에는 반사각도가 30°일 때 120m이상은 관측 불가능한 것으로 나타났으며, 반사각도 60°일때는 180m이상은 관측할 수 없었다. 목재와 콘크리트재료는 200m범위내에서는 반사각도와 관계없이 관측이 되었다. 그리고 아스팔트재료인 경우에 측정거리 140m이상일때 반사각도와 무관하게 관측할 수 없었다. 또한 적색벽돌은 160m에서 반사각도 30°이상이면 관측이 불가능하였고, 대리석인 경우에는 반사각도 30°일 때 관측거리 100m이상은 관측할 수 없었으며, 200m일 때에는 관측거리에 상관없이 관측이 불가능하였다. 토사는 비교적 관측이 잘되었으며, 관측거리 180m이상 반사각도 30°일때 관측할 수 없었다. 따라서 지형측량에서 도로를 측량할 때 아스팔트인 경우에는 위의 결과로 보면 120m 이상은 관측할 수 없는 것으로 나타났으며, 만약 관측이 해야 할때는 120m에서 기계를 옮겨서 측량해야 한다고 판단되었다.

3.2.2 관측결과 분석

무 프리즘 토털스테이션으로 관측한 결과를 바탕으로

표 2. 관측결과

측점(m)	반사각(°)	관 측 거 리(m)								비고
		prism	철관	목재	콘크리트	아스팔트	적색벽돌	대리석	토사	
20	90°	20.003	20.002	20.000	20.002	19.998	20.001	20.002	20.002	
	60°	20.003	20.002	20.001	20.002	20.000	20.002	20.002	20.001	
	30°	20.003	20.005	20.005	20.005	20.000	20.006	20.007	20.006	
40	90°	39.997	39.997	39.997	39.998	39.998	39.996	39.999	39.998	
	60°	39.997	39.998	39.999	40.000	39.998	39.998	40.003	39.998	
	30°	39.997	40.000	40.002	40.005	39.996	40.004	40.013	40.002	
60	90°	60.005	60.007	60.006	60.005	60.003	60.005	60.006	60.004	
	60°	60.005	60.008	60.008	60.008	60.003	60.007	60.008	60.005	
	30°	60.005	60.021	60.023	60.016	60.004	60.014	60.015	60.008	
80	90°	80.002	80.001	80.002	80.002	80.001	80.002	80.003	80.000	
	60°	80.002	80.004	80.007	80.007	80.003	80.004	80.008	80.004	
	30°	80.002	80.021	80.023	80.011	80.006	80.011	80.022	80.012	
100	90°	99.999	99.998	99.998	99.996	99.998	99.995	99.999	99.996	
	60°	99.999	100.001	100.002	100.001	100.002	100.001	100.003	100.003	
	30°	99.999	100.020	100.013	100.009	100.012	100.010	-	100.009	
120	90°	120.005	120.003	120.004	120.004	120.003	120.002	120.005	120.003	
	60°	120.005	120.017	120.008	120.008	120.009	120.008	120.013	120.004	
	30°	120.005	-	120.031	120.018	120.018	120.029	-	120.006	
140	90°	140.006	140.004	140.003	140.005	-	140.006	140.002	140.005	
	60°	140.006	140.014	140.014	140.012	-	140.019	140.014	140.010	
	30°	140.006	-	140.034	140.036	-	140.032	-	140.027	
160	90°	160.005	160.003	160.005	160.004	-	160.005	160.002	160.004	
	60°	160.005	160.023	160.011	160.012	-	160.016	160.008	160.003	
	30°	160.005	-	160.034	160.034	-	-	-	160.035	
180	90°	180.003	179.999	180.005	180.005	-	-	180.016	180.006	
	60°	180.003	-	180.022	180.015	-	-	180.023	180.023	
	30°	180.003	-	180.048	180.033	-	-	-	-	
200	90°	200.005	200.003	200.008	200.005	-	-	-	200.003	
	60°	200.005	-	200.029	200.015	-	-	-	200.021	
	30°	200.005	-	-	200.031	-	-	-	-	

표 3. 재료 및 반사각도별 RMSE

반사각도	RMSE(m)							비고
	철관	목재	콘크리트	아스팔트	적색벽돌	대리석	토사	
90°	0.002082	0.001944	0.001414	0.002683	0.002070	0.005012	0.001972	
60°	0.002360	0.011040	0.006549	0.002828	0.006687	0.008909	0.008832	
30°	0.003122	0.025778	0.020699	0.008544	0.016294	0.016042	0.015048	

재료 및 반사각도별로 RMSE를 분석하였으며, 분석 결과는 표 3과 그림 7에 나타내었다. 그 결과 반사각도 90°에서는 재료별로 1.4mm~2.6mm까지의 RMSE가 분석되었으며, 90°의 반사각도에서는 무 프리즘 토털스테이션의 정확도는 재료와 상관없이 매우 양호한 값으로 분석되었다. 다음

은 반사각도 60°에서는 재료별로 2.3mm~11.0mm까지의 RMSE가 분석되었으며, 60°의 반사각도에서는 철관인 경우만 높은 정확도가 나타났으며, 다른 재료는 비교적 오차가 많은 것으로 나타났다. 특히 아스팔트는 RMSE가 낮게 나타났는데 그것은 관측거리가 120m밖에 되지 않

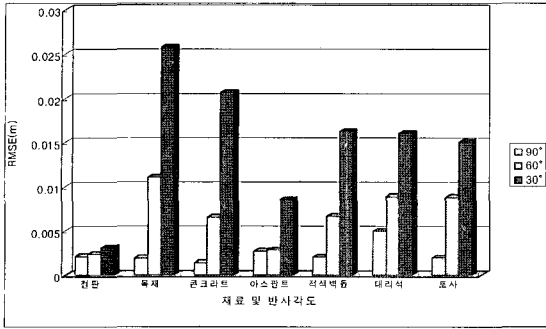


그림 7. 재료 및 반사각도별 RMSE

은 이유로 판단된다. 그리고 반사각도 30°에서는 재료별로 3.1mm~25.8mm까지의 RMSE가 분석되었으며, 30°의 반사각도에서는 철판인 경우는 반사각도 60°와 같은 이유이며, 다른 재료는 비교적 오차가 많은 것으로 나타났다. 특히 목재인 경우는 25.8mm이므로 지형측량시 반사각도 30°일때 오차가 많이 발생할 것으로 판단된다.

3.2.3 관측거리에 따른 재료 및 반사각도 회귀분석 무 프리즘 토털스테이션의 활용성을 위하여 관측거리

에 따른 재료 및 반사각도별로 회귀분석을 하였다. 회귀분석시 독립변수에 관측거리를 대입하고 종속변수에는 오차를 적용하여 재료 및 반사각도의 상관성을 분석하였다. 분석결과는 표 4이며, 그래프는 그림 8에 나타내었다. 회귀분석결과 반사각도 90°일 경우 각각의 재료에서 관측거리와 오차사이의 상관성은 매우 낮은 것으로 나타났으며, 반사각도 30°일 경우 각각의 재료에서 관측거리와 오차사이의 상관성은 높은 것으로 분석되었다. 따라서 무 프리즘 토털스테이션으로 측량을 할 때 관측대상물의 반사각도와 정확도에 영향을 미치는 것을 알게 되었으며, 반사각도가 약 60°이상이 되면 오차에 대한 부분들을 고려하여야 한다고 판단된다.

4. 무 프리즘 토털스테이션의 지형측량 적용

토털스테이션은 대상공간의 3차원 위치를 결정하는데 그 활용도가 매우 높기 때문에 도로와 구조물을 포함한 지형을 대상으로 무 프리즘 토털스테이션으로 측량을 하였다. 시험대상지역은 부경대학교내의 도로, 구조물, 사면 등을 포함한 지역이며, 무 프리즘 토털스테이션의 특

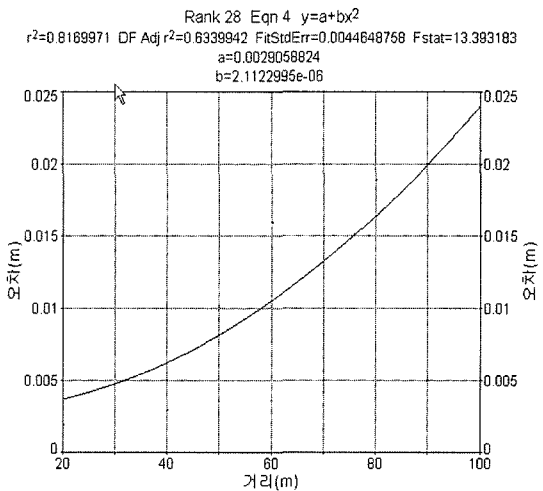
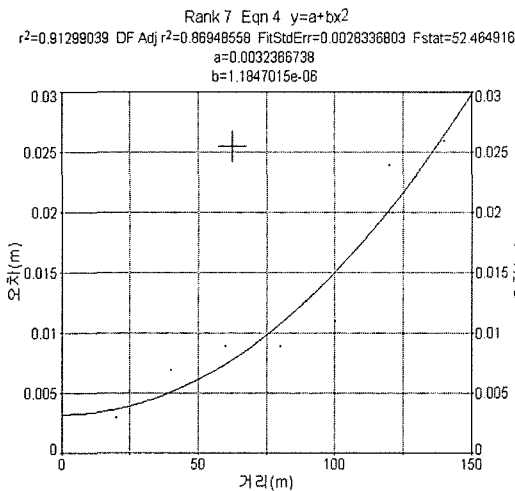


그림 8. 관측거리에 따른 재료 및 반사각도별 상관도

표 4. 재료 및 반사각도별 관측거리와 오차와의 상관계수

반사각도	상관계수(r^2)							상관식
	철판	목재	콘크리트	아스팔트	적색벽돌	대리석	토사	
90°	0.488	0.135	0.000	0.164	0.027	0.485	0.139	$Y=a+bX^2$
60°	0.810	0.807	0.807	0.346	0.767	0.562	0.649	
30°	0.817	0.848	0.765	0.813	0.913	0.559	0.727	

성을 시험하기에 적합한 장소이다. 도로, 구조물, 사면 등의 측정 대상물에 특정 점을 선점하여 프리즘토탈스테이션을 이용한 3차원 위치를 결정하고 무 프리즘토탈스테이션을 이용한 결과와 비교 분석함으로써 무 프리즘 토탈스테이션의 적용하여 보았다.

4.1 도로 측량에 적용

무 프리즘 토탈스테이션을 이용하여 도로의 경계와 그 중심선의 위치를 측정 하기 위해서는 긴 관측거리와 낮은 반사각을 요구하게 된다. 따라서 도로측량에 무 프리즘 토탈스테이션의 적용을 하기 위해서 반사각에 따른 관측 가능거리와 그 정도를 관측하였다. 그림 9는 대상지역의 모습이며, 표 5는 도로중심선을 측정할 경우 나타난 오차

를 측정거리와 반사각과 함께 나타내었다. 모든 경우에서 1~9도의 낮은 반사각으로 측정되었으며, 대략 200m의 거리까지 측정 가능하였다. 표 5에서 알 수 있듯이 측정오차는 관측거리보다 반사각에 많은 영향을 받으며, 250m의 거리는 5도 이상의 반사각에도 측정 불가능한 것을 알 수 있다. 무 프리즘 토탈스테이션을 이용한 도로중심측량은 200m이내의 거리와 2도 이상의 반사각을 갖는다면 $\pm 0.03m \sim \pm 0.05m$ 의 정도를 가진다.

4.2 구조물 측량에 적용

건물과 같은 구조물의 측정에서는 그 경계가 중요한 요소가 된다. 따라서 구조물측량에서 그 측정 대상이 되는 건물의 모서리부분을 측정하였다. 그림 10은 대상지역의



그림 9. 지형측량 평가를 위한 대상지역(도로)



그림 10. 지형측량 평가를 위한 대상지역(구조물)

표 5. 무 프리즘 토탈스테이션을 이용한 도로측량의 오차

측점	프리즘(m)			무 프리즘(m)			오 차(m)			관측 거리 (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

모습이며, 표 6은 건물의 모서리부분을 측정한 결과와 오차를 나타낸다. 100m의 관측거리에서도 모두 0.01m이하의 오차를 가지는 것으로 나타났다. 하지만 4번 측정의 경우는 상당히 큰 오차를 가지는 것을 볼 수 있다. 이렇게 큰 오차가 발생하는 이유는 반사각이 직각인 대상물의 모서리를 측정할 경우 측정기로부터 발사된 레이저는 측정모서리부분과 그 후면의 대상물에서 반사되므로 거리측정에 큰 영향을 미치기 때문이다.

을 이용하여 사면의 측량에서는 측정거리 및 반사각에 관계없이 $\pm 0.20m \sim \pm 0.50m$ 의 정도를 가진다.

4.3 사면 측량의 활용 및 평가

수목을 포함하는 사면을 대상으로 무 프리즘 토털스테이션으로 측정하였다. 그림 11는 대상지역의 모습이며, 표 7은 사면을 측정한 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 토털스테이션



그림 11. 지형측량 평가를 위한 대상지역(사면)

표 6. 무 프리즘 토털스테이션을 이용한 구조물측량의 오차

측점	프리즘(m)			무 프리즘(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

표 7. 무 프리즘 토털스테이션을 이용한 사면측량의 오차

측점	프리즘(m)			무 프리즘(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. 결 론

지형측량을 위하여 무프리즘 토털스테이션의 정확도를 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 반사각도 90°에서는 재료별로 1.4mm~2.6mm, 60°에서는 2.3mm~11.0mm, 3.1mm~25.8mm까지의 RMSE가 분석되었으며, 90°의 반사각도에서는 무 프리즘 토털스테이션의 정확도는 재료와 상관없이 매우 양호한 값으로 분석되었다. 점차적으로 반사각도가 예각으로 증가할 때 RMSE는 높아지는 양상이보였다.

둘째, 관측거리에 따른 재료 및 반사각도별로 거리오차를 회귀 분석한 결과는 반사각도 90°일 경우 각각의 재료에서 관측거리와 오차사이의 상관성은 매우 낮은 것으로 나타났으며, 반사각도 30°일 경우 각각의 재료에서 관측거리와 오차사이의 상관성은 높은 것으로 분석되었다. 따라서 무 프리즘 토털스테이션으로 측량을 할 때 관측대상물의 반사각도와 정확도에 영향을 미치는 것을 알게 되었으며, 반사각도가 약 60° 이상이 되면 오차에 대한 부분들을 고려하여야 한다고 판단된다.

셋째, 지형측량에 적용한 결과, 도로에서는 약 200m이 내의 관측거리에서 $\pm 0.03m \sim \pm 0.05m$ 의 측정정도로 나타났으며, 사면의 측량에서는 수목의 영향으로 관측거리와 반사각에 관계없이 $\pm 0.20m \sim \pm 0.50m$ 의 정도로 나타났다. 또한 구조물의 경계를 측정한 결과 $\pm 0.01m$ 의 관측정도로 가장 정밀한 결과를 얻을 수 있었다.

넷째, 일반적인 지형측량에 있어서 무 프리즘 토털스테이션을 적절히 활용한다면, 교통의 흐름이 많은 곳의 도로, 대절토 급경사 사면, 기타 위험지역에서 측량자의 안

전과 신속한 측량작업을 제공할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김갑래, 라용화, 박준 (2003), PBLIS 데이터를 이용한 토발측량 시스템의 정확도 분석, 한국측량학회지, 제21권, 제3호, pp. 209-214.
- 김진수, 서동주, 이종출 (2004), 수차사진측량기법을 이용한 토랑 환산계수 산정, 한국측량학회지, 제22권, 제4호, pp. 339-347.
- 박경식, 이현직, 함창학 (2003), 시설물측량에서의 무프리즘 토털스테이션 활용성 연구, 한국측량학회지, 제21권, 제2호, pp. 155-164.
- 박운용, 광두호, 김용보, 백기석 (2003), GPS/GLONASS와 TS 결합에 의한 도근점 측위의 정확도 분석, 한국측량학회지, 제 21권, 제3호, pp. 199-207.
- 서동주, 이종출 (2003), 수차사진측량을 이용한 도로평면선형정보체계 개발, 한국측량학회지, 제21권, 제4호, pp. 347-353.
- 이재강, 박운용, 정창식, 윤경철, 문두열 (2005), 무프리즘 토털스테이션을 이용한 해빈류 관측, 한국측량학회지 2005 춘계 학술발표회 논문집, pp. 49-53.
- 이종출, 김희규, 하대환, 서재수 (2006), 지형측량을 위한 무 프리즘 토털스테이션의 활용, 한국측량학회지 2006 춘계 학술 발표회 논문집, pp. 27-32.
- 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.
- Richard, F. K. and Arne, E. S. and Douglas, S. B. (1999), Digital terrain modeling of small stream channels with a total-station theodolite, *Advances in Water Resources*, Vol. 23, pp. 41-48.
- Wen, Y. T. and Chih, F. H. and The, L. L. (2005), New implementation of high-precision and instant-response air thermometer by ultrasonic sensors, *Sensors and Actators A*, Vol. 177, pp. 88-94.

(접수일 2006. 11. 17, 심사일 2006. 11. 28, 심사완료일 2006. 11. 30)