



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

지형측량을 위한 무프리즘
토텔스테이션의 평가



부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

토 목 공 학 과

박 현 용

공 학 석 사 학 위 논 문

지형측량을 위한 무프리즘
토텔스테이션의 평가

지도교수 이 종 출

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2007년 2월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

토 목 공 학 과

박 현 용

박현용의 공학석사 학위논문을 인준함

2007년 2월 23일



주심 공학박사 손인식 (인)

위원 농공학박사 이영대 (인)

위원 공학박사 이종출 (인)

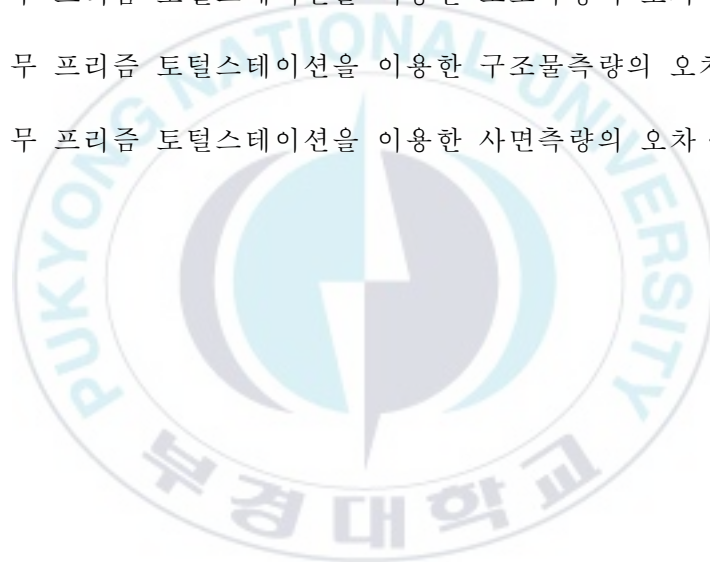
목 차

표 목 차	iii
그 립 목 차	iv
<i>Abstract</i>	v
1. 서 론	1
1.1 연구목적	1
1.2 연구동향	2
1.3 연구방법 및 범위	4
2. 이 론 연 구	6
2.1 전자기파 측정기	6
2.1.1 전자기파	6
2.1.2 전자파 거리측량기	7
2.1.3 EDM의 기본원리	9
2.1.4 광파 거리측량기	10
2.1.5 토털스테이션	12
2.2 무프리즘 토털스테이션	14
2.2.1 TOF(Time Of Flight)방식	14
2.2.2 위상변위(Phase shift)방식	15

2.3 회귀분석	18
3. 무프리즘 토털스테이션 평가	21
3.1 평가를 위한 관측	21
3.1.1 관측대상물 및 관측장비	21
3.1.2 평가를 위한 관측방법	23
3.2 평가를 위한 관측결과 및 분석	25
3.2.1 관측결과	25
3.2.2 관측결과 분석	27
3.2.3 관측거리에 따른 재료 및 반사각도 회귀분석	28
4. 무프리즘 토털스테이션의 지형측량 적용	32
4.1 도로측량에 적용	32
4.2 구조물 측량에 적용	34
4.3 사면측량에 적용	35
5. 결 론	37
참고문헌	38

표 목 차

표 3.1.1	관측장비 제원	23
표 3.2.1	관측결과	26
표 3.2.2	재료 및 반사각도별 RMSE	27
표 3.2.3	관측거리에 따른 재료및 반사각도별 상관계수	31
표 4.1.1	무 프리즘 토털스테이션을 이용한 도로측량의 오차	33
표 4.2.1	무 프리즘 토털스테이션을 이용한 구조물측량의 오차	35
표 4.3.1	무 프리즘 토털스테이션을 이용한 사면측량의 오차	36



그 립 목 차

그림 1.1.1	연구 흐름도	5
그림 2.1.1	전자기파 파장대	6
그림 2.2.1	Time of Flight	15
그림 2.2.2	Phase shift	16
그림 3.1.1	관측대상지역	21
그림 3.1.2	관측대상물(재료)	22
그림 3.1.3	관측장비	22
그림 3.1.4	관측하는 모습	24
그림 3.2.1	재료 및 반사각도별 RMSE	28
그림 3.2.2	관측거리에 따른 재료및 반사각도별 상관도	29
그림 4.1.1	지형측량 평가를 위한 대상지역(도로)	33
그림 4.2.1	지형측량 평가를 위한 대상지역(구조물)	34
그림 4.3.1	지형측량 평가를 위한 대상지역(사면)	36

Evaluation of Non Prism Total Station for Topographic Surveying

Hyun-Young, Park

*Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

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.



1. 서 론

1.1 연구목적

광학기기의 발달과 더불어 측량기기의 급속한 발전으로 인한 광파거리측정기와 디지털 데오도라이트를 병합한 토털스테이션의 등장으로 기준점측량의 효율성이 향상되었을 뿐만 아니라, 내장된 마이크로프로세서에서 수평거리, 연직거리, 좌표값 등을 자동으로 계산과 저장을 하는 토털스테이션(TS)이 널리 보급되어 기준점측량의 효율성이 향상되었을 뿐만 아니라 다양한 측량분야에 많이 사용되고 있다(양상오,2005).

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

일반적으로 토털스테이션을 이용하여 실무측량에 많이 적용하고 있으며, 연구 부분에서는 연구실험값의 검증측면에서 활용하고 있다. 특히 외국에서는 DTM을 구성하기 위하여 토털스테이션을 이용한 연구가 있었으며, 국내에서도 수치사진측량에서 검사점 측량에 많이 사용하였다(이종출,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 회귀분석하고, 그 분석된 결과로 일반적으로 측량에서 주가 되는 지형측량에서의 도로 및 건축물, 산사면의 대상물을 3차원위치를 결정하고, 타겟 토털스테이션의 관측값과 비교분석을 통하여 무 프리즘 토털스테이션의 활용성과 정확도를 평가 하고자 한다.

1.2 연구동향

지형측량을 위한 무 프리즘 토털스테이션의 활용에서 국내·외 연구동향을 연구하였다.

먼저 국외동향으로는 Bickel(1985)등은 광학센서를 이용한 삼각측량방법으로 측정거리를 증가시키는 연구를 하였으며, Costa(1993)는 마이크로 사진측량을 기법으로 광학적인 비접촉 시스템을 고안하여 개발에 성공하였다. 또한 Huiming(1990)등은 비접촉 레이저를 이용하여 대상물의 변위를 측정하는데 적용하였으며, Keim (1999)등은 운하의 작은흐름에 대하여 DTM을 추출할 때 토털스테이션을 이용하여 연구하였다. 그리고 Barry(1996)과 Jack(1995)는 무프리즘 토털스테이션의 측정방법에 따라 펄스레이저를 사용한 TOF방식과 위상변위 측정하여 사용하는 Phase Shift 방식을 연구하였다.

다음으로는 국내동향을 살펴보면, 박경식(2003)은 무프리즘 토털스테이션을 이용하여 측량을 수행할 경우 발생할 수 있는 문제점이나 오차 등에 관한 연구를 수행하고 그 적용성과 정확도를 평가하였으며 이를 위해, 대상물의 재질과 관측각도에 따른 정확도의 변화를 점검하고 거리에 비례한 레이저의 확산과 대상물의 색상이 정확도에 미치는 영향을 분석하였다. 박운용(2003)은 위성측위의 정확도를 평가하기 위해서 위성 데이

터 수신에 장애가 없는 개활지역, 신호차단과 다중경로 오차를 유발하는 고층구조물 및 차량통행과 전주 등이산재한 도심지역을 대상으로 GPS/GLONASS, 토털스테이션/RTK-GPS결합관측의 적용성을 제시하고, 기존 정지관측기법과의 정확도 비교와 결합관측방법의 활용성을 검토하였다. 또한 김감래(2003)는 기 구축된 데이터를 이용하여 현행 측량측량체계를 전자측량측량체계로 전환함으로써 도해지적에서 발생하는 제도오차, 축척오차 및 지적도면의 신축오차 등의 기술적인 오차와 측량을 할 때 측량사에 따른 개인오차가 제거됨은 물론 실측도에 대한 정확도를 분석하여 효율적인 측량방법을 제시하였으며 이를 위해 PBLIS 데이터를 복사한 Pen 컴퓨터와 토털스테이션을 결합한 토털측량시스템을 구성하였다. 박병욱(2003)은 GPS 측량과 토털스테이션측량을 대학교의 시설물 현황측량에 적용해 봄으로써 각각의 정확성, 경제성, 신속성을 비교분석하여 장단점을 파악하고자 하였으며, 아울러 이러한 측량방법을 현황측량에 적용하기 위한 구체적인 방법을 제시하였다. 최병길(2004)은 GPS와 PDA를 이용하여 사용자의 위치정보를 정확하고 신속하게 추적할 수 있는 시스템을 개발하였고 또한 시스템을 대상지역에 적용하여 효율성을 검증하였다. 이현직(2004)은 여러 가지 시설물중 도로시설물을 대상으로, DB구축 작업공정을 분석하여 PDA와 같은 Mobile GIS를 활용한 개선된 작업공정을 도출하였고 기존방법 및 개선된 방법에 의한 도로시설물 DB구축 과정을 비교, 분석함으로써 모바일 GIS를 활용한 도로시설물 DB구축의 효율성을 향상시키고자 하였다. 이재강(2005)은 대상해역의 표사이동에 영향을 미치는 해빈류의 분포 및 조류분포를 파악하여 해안 침식에 대한 영향을 분석하였으며 이를 위해 무프리즘 토털스테이션의 적용 가능성 및 효율성을 분석하였다. 송석진(2005)은 울산광역시 소재의 무제치늪을 대상으로 PDA를 이용하여 일반 좌표측량을 수행하여 절대좌표를 획득하고, DGPS 성과를 구할 수 있는 현장 DGPS를 개발하여 그 정

밀도를 GPS Static 측량과 광과거리측량기로 측정한 성과와 비교 분석하였다. 양상오(2005)는 PDA와 토털스테이션을 결합한 측량방법을 연구하여, 새로운 현황측량시스템을 개발하였다.

1.3 연구방법 및 범위

본 연구에서는 무프리즘 토털스테이션을 일반적인 지형측량을 위해 정확도평가를 실시하였으며, 연구의 흐름도는 그림 1.3.1과 같다.

먼저 연구의 계획을 수립하였으며, 다음으로는 이론연구로서 종래의 테오드라이트와 프리즘 토털스테이션의 장단점에 대한 연구를 하였다. 특히 프리즘 토털스테이션의 단점에 대하여 많은 이론연구를 하였고, 그리고 파이론에 대한 연구도 심층적으로 수행하였다. 실험대상지역은 경사가 거의 없는 거리 300m이상의 지역이 필요하여, 부산광역시 수영구에 위치한 해안 산책을 선택하였다. 실험대상물은 지형측량에서 흔히 대상물로 나타나는 대리석, 목재, 아스팔트, 적색벽돌, 철판, 콘크리트, 토사등의 7가지의 재료들로 실험하였다. 관측은 7가지의 대상물을 거리 0m~200m까지, 각도는 30°, 60°, 90°로를 설치하여 측량하였다. 위에서 각도를 다르게 한 이유는 레이저의 반사각도가 무프리즘토털스테이션의 정확도에 영향을 얼마나 미치는가를 분석하여 위해서이다. 그리고 거리는 변화는 실무에서 재료별로 측정거리를 선택할 때 필요한 회귀분석하기 위하여 선택하였다.

위와같은 측정이 한후 관측결과를 취득하였으며, 그 결과를 이용한 회귀분석을 통한 통계모형식을 산출하였다. 이러한 결과를 이용하여 지형측량을 실시하였으며, 그 결과도 분석하여 결론을 도출하였다.

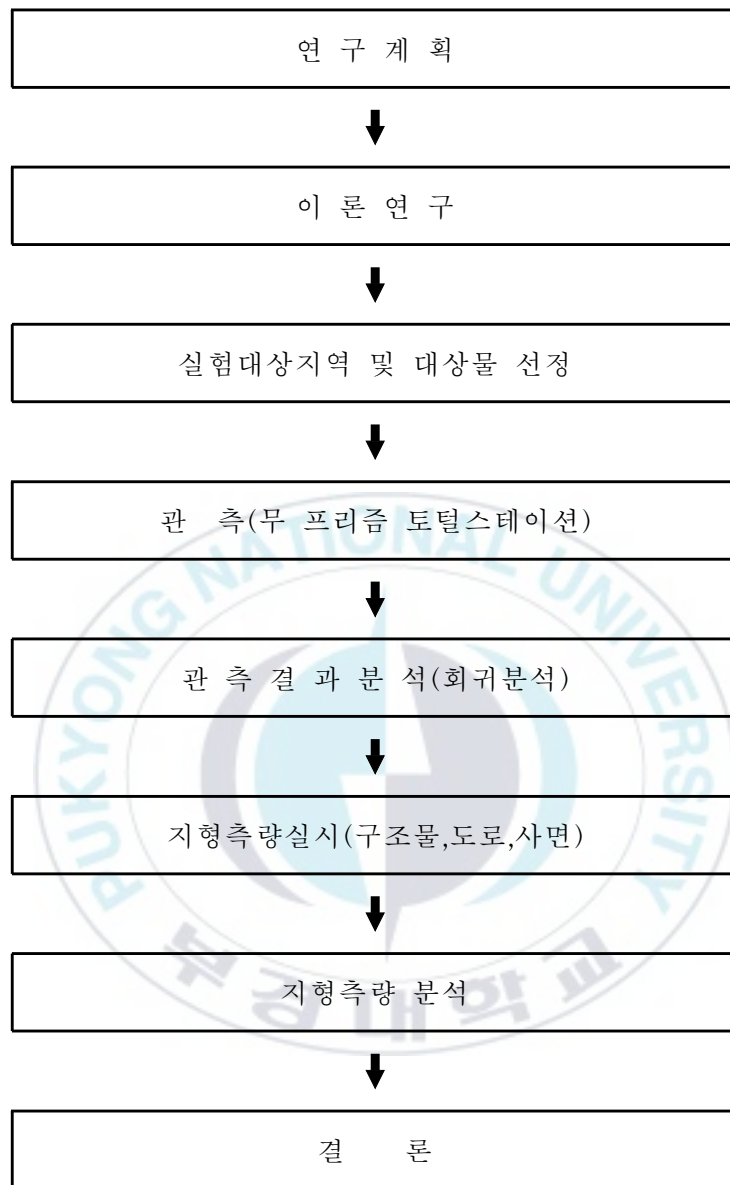


그림 1.3.1 연구 흐름도

2. 이론 연구

2.1 전자기파측량기

2.1.1 전자기파

전자기파는 주기적으로 그 세기가 변하는 전자기장이 공간을 통해 전파해 가는 현상을 일컫는다. 전파라고도 하며 전하가 급속하게 진동하거나 전류가 진동적으로 변화할 때 생기며, 빛과 같은 속도(진공 중에서는 매초 약 30만km)로 전파된다. 파의 성질로 보면 전기장과 자기장이 이동반하여 파가 진행하는 방향에 대해 수직으로 진동하는 전기적 종횡파이다.

전자기파는 가시광선, X선, 자외선, 적외선 등 그림 2.1.1과 같이 파장범위가 다르며, 측량기에 이용되는 전자기파는 비교적 파장이 긴(주파수가 낮은) 범위의 전자기파로서 적당한 전원과 진동회로를 사용하여 진동전류를 일으키고 그것을 안테나를 통해 흐르게 함으로써 일정한 파장을 가지는 것을 지속적으로 보낼 수 있도록 변조된 전자기파이다.

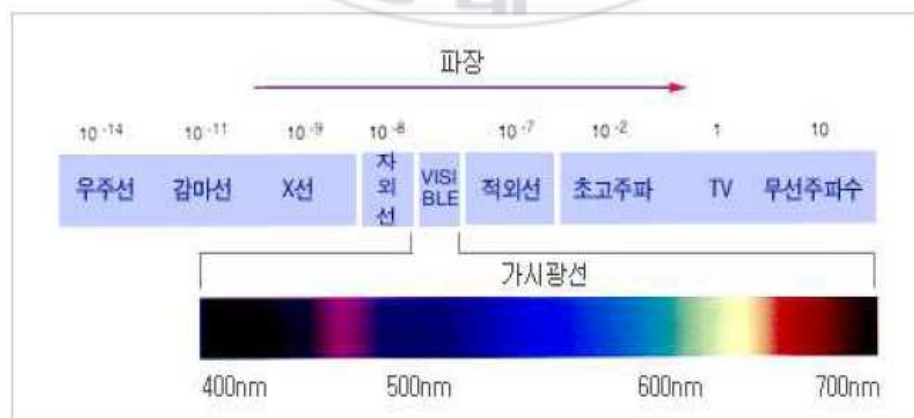


그림 2.1.1 전자기파 파장대

2.1.2 전자파 거리측량기

전자파에 의한 거리관측은 속도가 알려진 전자파 에너지가 두 점간을 진행한 시간을 측정하여 거리를 계산하는 방법을 사용한다. 이때 시간의 측정은 전자파의 파장을 이용하는 간접적인 방법을 사용한다. 즉, 파장이 알려진 전자파가 두 점간을 진행할 때 몇 개의 파장이 소요되었는지를 정확히 측정하여 전자파의 파장 길이로 곱하면 두 점간의 거리를 알 수 있다.

전자파 거리측정기는 원래 빛의 속도를 결정하기 위하여 사용된 기술로부터 시작된다. 1849년 프랑스의 물리학자 피조(Fizeau)는 톱니바퀴 변주기를 사용하여 17.26km의 직선 위에서 빛의 속도를 측정하는데 성공하였다. 피조는 720개의 톱니를 가진 바퀴가 고속으로 회전할 때 바퀴의 톱니사이를 통과한 빛이 8.63km 떨어진 반대편에 세워진 거울에 반사되어 되돌아와 그의 첫 번째 톱니에서 차단될 때, 바퀴의 회전각 속도가 12.6회전/초가 됨을 알았다. 이것은 바로 빛이 $18,144(12.6 \pm 2 \pm 744)$ 분의 1 초 동안에 17.26km(8.63km의 왕복거리)의 거리를 통과한 것을 의미한다. 이와같은 피조의 실험은 처음으로 고주파로 변조된 빛에 의하여 거리를 측정하는 원리를 제공하였으며 이 개념은 EDM(Electronic Distance Measurement)의 원리에도 사용되고 있다.

역사적으로 최초의 전자파거리측정기는 1948년 스웨덴의 물리학자 에릭 베르크스트랜드(Erik Bergstrand)가 개발한 지오디미터(Geodimeter : Geodetic Distance Meter)라 할 수 있으나 이 장치는 원래 거리관측을 목적으로 한 것이 아니라 빛의 속도를 결정하기 위하여 고안된 실험적 장치였으며, 그 후 스웨덴의 AGA사에 의하여 세계 최초의 상업용 전자파거리측정기인 지오디미터 NASM-2의 출현을 가져오는 계기가 되었다.

광파를 사용한 초기의 지오디미터는 매우 짧은 거리에서만 관측이 가능하였으나, 그 후 연속 전류방식인 헤테로다인(Heterodyne)의 이론이 적용됨으로써 위상차 측정에 의한 장거리의 정밀관측이 가능하게 되었다. 위상차 측정방법은 광파에서 뿐만 아니라 라디오파까지 이용되기 시작하였으며 마이크로파를 이용한 텔루로미터(Tellurometer)가 개발되기도 하였다.

텔루로미터는 1957년 남아프리카의 Wadley에 의하여 처음으로 고안되었다. 이 장비는 주-야간에 관계없이 80km 이상의 거리관측이 가능하였으며 개발된 직후에는 호주의 1등 측지망 구성(장거리 트래버스망)에 사용되기도 하였다. 이 장비는 1960년 헬륨 네온 레이저를 이용한 전자파 거리측정기가 개발되기 전까지 장거리의 거리관측에 가장 많이 사용되어 왔다.

1960년대 중반에 이르러 적외선을 이용한 단거리용 전자파 거리측정기가 개발되었으며, 근래에는 적외선과 레이저를 이용한 많은 단-중거리용 전자파 거리측정기가 개발되었다. 전자파 거리측정기는 서로 시통만 가능하면, 거리에 관계없이 보통의 줄자로는 관측이 불가능한 어떠한 지형이라도 쉽게 관측이 가능하다.

초기의 EDM은 개발된 직후부터 현장 측량에서 매우 중요하게 사용되고 있었으며 가격이 비싸며 부피가 크고 무게가 무거워 불편함이 있었다. 더욱이 관측시간이 길고 또 관측된 결과는 직접 거리로 읽을 수 있는 것이 아니고 수학적인 계산절차에 의하여 거리로 환산하여야 하는 불편함이 있었다. 그러나 지금은 초기의 불편함과 단점들이 모두 제거되어 빠르고 쉽게 그리고 정밀한 관측이 가능하다.

현재 EDM의 특징은 전자 테이돌라이트와 마이크로 컴퓨터의 조합으로 각과 거리가 동시에 관측되고 내장된 마이크로 프로세서에 의하여 수평거리, 연직거리 등 필요한 사항들이 실시간 동안에 계산되며 관측된

모든 데이터는 자동적으로 기록되어 야장이 필요 없으며 주 컴퓨터 등 다른 장치와 연결되어 후속작업을 할 수도 있다.

2.1.3 EDM의 기본원리

EDM의 기본원리는 거리는 속도에 시간을 곱한 것과 같기 때문에 전자파의 속도와 전자파가 두 점간을 진행한 시간을 안다면 두 점간의 거리를 알 수 있다. 전자파의 물리적 성질에 대해서 따라서 전자파의 전파 속도와 파장과의 관계는 식(2.1)로 표시된다.

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

(2.1)

여기서, λ : 전자파의 파장,
 V : 전자파의 전파속도,
 f : 전자파의 주파수

전자파의 속도는 진공 속에서는 299,792,458m/s이며 진공 속에서는 빛의

속도와 같다. 그러나 대기 중에서는 진공 속에서보다 약간 작으며 다음 식(2.2)으로 구한다.

$$\lambda = \frac{V_0}{n}$$

(2.2)

여기서, V_0 :진공 속에서의 전자파 속도,

n : 전자파의 굴절계수(Index of Refraction)

위상변화는 다음 식(2.3)과 같이 시간변화로 나타낼 수 있다.

$$\Delta\phi = \Delta t \times \omega, \quad \Delta t = \Delta \frac{\phi}{\omega} \quad (2.3)$$

정밀한 거리관측을 위해서는 매우 높은 정밀도의 시간측정이 필요한데 사실상 어렵기 때문에 두 점간을 왕복한 시간과 전자파의 전파속도를 이용하여 거리를 계산하는 방법 대신에 두 점간을 왕복한 전자파의 파장수와 그 전자파의 파장의 길이를 이용하여 두 점간의 거리를 계산하는 방법을 사용한다.

2.1.4 광파 거리측량기

광파 거리측정기(Optical Wave Distance Meter)는 수 m부터 수 Km까지의 단거리 측정용이 대부분이며 기준점 측량 및 일반적인 공사측량 등에 주로 사용된다. 광파를 이용한 EDM은 광파를 발생하는 광원, 광파변조기, 변조된 광파를 송신하고 수신하는 광학장치, 사진배율기(PhotoMultiplier), 읽음장치 등으로 구성되어 있다.

대부분의 광파 거리측정기에서는 적외선과 레이저를 매개전자파로 사용하고 있다. 이것은 이들 광선들이 쉽게 그리고 직접적으로 변조가 가능하며 또 기계장치가 간단하기 때문이다. 초기의 모델은 텅스텐 전구 또는 수은 전구를 사용하였으나 부피가 크고 큰 용량의 전력이 필요하였다. 적외선을 사용한 거리측정기는 관측거리가 비교적 짧으며 적외선을 생성하는 다이오드의 전력의 크기에 좌우된다. 반면에 레이저를 이용한 EDM은상당히 먼 거리의 관측이 가능하다.

적외선을 이용한 거리측정기는 적외선 방출 반도체인 GAAS다이오드 (Gallium Arsenide Diode)의 개발과 더불어 생산되었다. 이 다이오드에 서발생되는 적외선은 방사되는 빛의 세기가 다이오드에 흐르는 전류의 크기에 비례하기 때문에 직접 변조할 수 있다.

적외선을 방출하는 송신장치는 GAAS다이오드를 사용한다. 반송파인적외선의 변조는 진폭변조 방법을 사용하고 주파수는 수정발진기에 의하여 정밀하게 조정된다. 송신장치의 다이오드로부터 방출된 광선은 2개의빔, 즉 측정용 외부빔과 내부 기준빔으로 분석된다. 외부빔은 목표를 향하여 조준되어 송신되고 송신된 신호는 목표물에 세운 반사경에 반사되어처음 송신된 곳으로 되돌아와 수신기에 수신된다. 내부 기준빔은 필터를 통과 하기 때문에 반사되어 되돌아오는 외부 신호빔의 세기와 비슷하게 조절 되고 외부 신호와 함께 간섭필터에 들어간다. 이때 간섭필터에서는 햇빛 과 같은 불필요한 에너지를 제거한다.

외부 측정용 빔과 내부 기준용 빔은 이들 광선을 전기에너지로 변환하는 변환장치를 통과하여 전기에너지로 변환된다. 이 때 2개의 전기신호는각 각 다른 경로를 통하여 들어왔기 때문에 일정한 위상변위가 발생하게되 고 이들 위상변위는 위상측정기에 의하여 측정된다.위상차 측정의 목적 은 전자파가 두 점간을 진행할 때 소요된 파장의총 수(단위파장의 정수 배)와 파장 하나의 길이가 되지 못하는 소수부분을결정하기 위함이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 보통 주파수가 각각다른 여러 개의 변조 된 주파수(일반적으로 10배의 배수)를 사용한다.하나의 예로 $F_1=14.984\text{MHz}$, $F_2 = 149.84\text{MHz}$, $F_3=1498.4\text{MHz}$, $F_4=14984\text{MHz}$ 4개의 주파수를 사용하고 굴절률 $n=1.0003$ 으로 하면 이들에 대한 파장의길이는 각각 20m, 200m, 2,000m, 20,000m가 된다. 좀 더 엄밀히 말하면거리 계산에서는 전자파가 왕복한 거리의 절반을 취하므로 거리계산을 위한 유효파장의 길이는 각각 10m, 100m, 1,000m, 10,000m가 된다.

실 예로 두 점간을 관측한 결과 거리 표시판에 3867.142로 나타났다고 할 때 위상차 측정결과를 오른쪽 끝수로 하는 4개의 수치로 표시된다고 가정하면, $F1(=10m)$ 을 사용하였을 때의 위상차는 7.142였고 다음에 $F2(=100m)$ 를 사용했을 때는 위상차 표시는 67.14, $F3(=1,000m)$ 를 사용했을 때는 위상차 표시는 3867.1, $F4(=10,000m)$ 를 사용했을 때는 3867이 표시될 것이다. 초기의 EDM에서는 위상측정에 사용하는 각 주파수마다 하나하나 독립적으로 적용시켜 위상차를 측정하였으나 지금은 기계 자체에 내장된 컴퓨터에 의하여 순간적으로 계산되어 그 거리가 표시되어 나타난다.

광파 거리측정기를 사용하여 거리를 관측하기 위해서는 목표점에 반사경을 설치하여야 한다. 이 때 반사경에 사용되는 프리즘의 수에 따라 관측되는 거리도 달라진다. 다시 말하면 1개의 프리즘을 사용할 때 보다 여러 개를 조합한 프리즘을 사용할 때가 최대거리를 관측할 수 있다는 것이다. 광파 거리측정기는 전파거리 측정기처럼 굴절에 따른 큰 영향을 받지 않는다. 두 거리 관측에서는 굴절에 영향을 주는 온도, 습도, 기압 등을 정밀히 측정할 필요가 없다. 그러나 안개, 비, 먼지 등에 의하여 시준이 불량할 때는 관측 거리에 심각한 영향을 준다. 또한 바람의 영향으로 인하여 시준선이 흔들림 같은 영향도 발생한다.

2.1.5 토털스테이션

전자식 테오도라이트가 갖는 측각기능과 EDM이 갖고 있는 거리 측정 기능을 동시에 가지고 있는 것을 Total Station이라 한다. 토털스테이션은 컴퓨터 시스템과 간단한 소프트웨어가 내장되어 있어 각과 거리가 측정되는 즉시 측점에 대한 좌표계산 등 필요한 사항이 계산되며 또한 입력자료를 포함한 모든 자료가 별도의 저장장치에 보관되어 주 컴퓨터에 의한 추가적인 계산에 활용할 수 있는 특징이 있다.

토텔스테이션은 지형측량과 같이 많은 점들의 평면 및 표고좌표가 필요하거나, 트래버스 측량 또는 노선측량의 중심말뚝 측량에서와 같이 인접 점들에 대한 좌표가 수시로 필요할 경우 매우 신속하게 효과적으로 작업을 할 수 있다. 따라서 토텔스테이션에 의한 측량은 정밀을 필요로 하는 기준점 측량보다는 높은 정밀도를 필요로 하지는 않지만 공사측량과 같이 비교적 정밀하고 복잡하며 신속한 측량 등에 많이 활용된다.

토텔스테이션의 측각장치는 측각방법과 정밀도 등이 정밀 전자 테오도라이트의 경우와 같으며 보통 최소 읽음 값이 초 단위로 되어 있으며 어느 것은 0.5초까지 읽을 수 있다. 거리측정장치는 보통의 전자파 거리측정기와 똑같이 적외선 또는 레이저광과 같은 광파를 매개 전자파로 사용하고 있다. 측정거리는 일반적으로 약 3~5km 정도이며 측정 정밀도는 제작 회사 및 장비의 종류에 따라 다르나 약 $\pm(2+2\text{ppm} \cdot D)\text{mm}$ 정도이다.

특히, 어떤 것은 내장된 2차원 경사 센서가 있어 시준측 방향(X)과 수평측 방향(Y)의 두 방향으로부터 기계 연직축의 경사도를 동시에 모니터하고, 보정값을 연산하여 수평각과 연직각을 자동으로 보정하여 주는 2축보정장치가 있다. 이러한 보정장치는 기계의 위치와 측점이 위치한 높이가 매우 큰 차가 있어 연직축의 오차가 수평각에 큰 영향을 줄 때 이를 보정해 줌으로서 높은 정밀도를 보장할 수 있는 이점이 있다.

각의 측정은 전자 테오도라이트에서와 같이 "0-setting", 즉 "0 눈금 맞추기"로부터 이루어지며 수평각과 연직각이 동시에 액정화면에 표시된다. 특히, 연직각의 경우 도, 분, 초에 의한 읽음 이외에 경사도를 %로 표시할 수도 있다.

최근에 개발된 토텔스테이션은 자동 시준장치가 있어 프리즘 타겟을 정확히 맞출 필요 없이 대략적으로 시준한 후에 "측정키"를 누름으로 고정밀도 측정을 시작할 수 있다. 망원경 중앙에서 자동 시준용 레이저를 주사하고 프리즘에서 반사되는 레이저광을 망원경 동축에 장착된 고도

및수평용 두 개의 CCD에 의해 시준위치를 보정하는 동시에 망원경 광축중심에서 벗어난 정도를 계산함으로써 시준축을 프리즘 중앙에 맞춘다. 특히 망원경에 안내 광선이 탑재되어 프리즘을 시준선에 신속히 맞출 수 있다.

측정된 모든 데이터는 메모리 카드와 같은 저장장치를 이용하거나 내장된 기억장치에 모두 저장되어 후속 작업에 활용된다. 이러한 저장장치는 보통 수천 점 또는 수만 점의 측점에 대한 측정기록을 저장할 수 있다.

2.2 무프리즘 토털스테이션

무 프리즘 토털스테이션은 반사 프리즘을 이용할 수 없는 경우에도 대상물까지의 거리를 관측할 수 있는 장비로서 펄스 레이저(Pulsed Laser)를 사용하는 TOF(Time of Flight)방식과 위상변이(Phase Shift)방식으로 나눌 수 있다. 두 가지 기술은 광학적 원리가 다른 만큼 각각 장점과 단점을 동시에 가지고 있으며, 필요한 형태와 용도에 적합하도록 토털스테이션에 적용된다.

2.2.1 TOF(Time Of Flight) 방식

TOF방식은 거리관측을 위해 단파 적외선이나 레이저광 펄스를 이용하기 때문에 펄스 레이저법이라 불리기도 한다. 펄스화 된 레이저는 망원경을 통해 발사되고 타겟에 반사되어 기계로 되돌아온다. 전자공학적으로 각 광 펄스에 대한 왕복시간을 정밀하게 결정하고 매질을 통과하는 빛의 속도를 이용하여 기계와 프리즘 간의 거리를 계산한다. 그림 2.2.1 에서와 같이 송신된 레이저가 대상물의 표면에서 반사되어 되돌아

오는 시간적 차이를 이용하여 거리를 계산하는 방식으로 송신부, 수신부, 처리부로 구성되어진다.

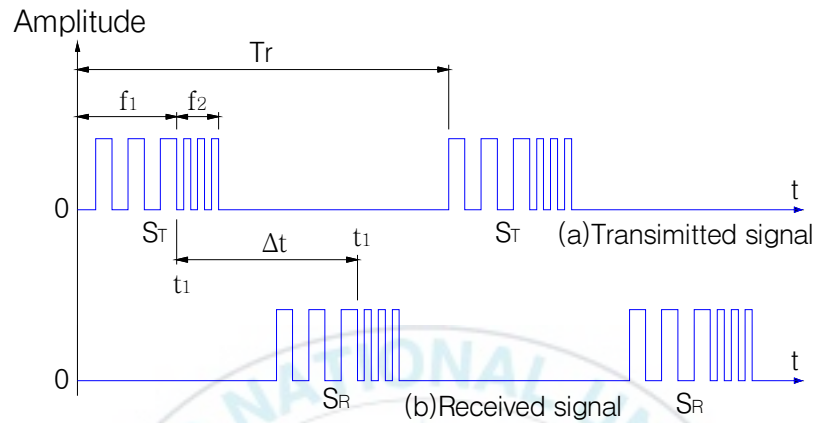


그림 2.2.1. Time Of Flight

송·수신되는 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(2.4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$d = \frac{c(t_2 - t_1)}{2} \quad (2.4)$$

2.2.2 위상변이(Phase shift) 방식

주파수가 다른 파를 동시에 발산하여 생성된 두 파의 위상변위는 거리와 시간에 따라 그림 2.2.2 와 같이 1p로 시작하여 점진적으로 큰 위상변위를 생성한다. 동일한 거리에서 두 신호를 검출하고 두 파의 출발

시간을 알면 위상변위 np는 1p로 나누어질 수 있다. 측정된 위상변위를 발생하기 위해 생성된 파의 수와 일정한 속도가 주어진다면, 측정거리는 계산될 수 있다.

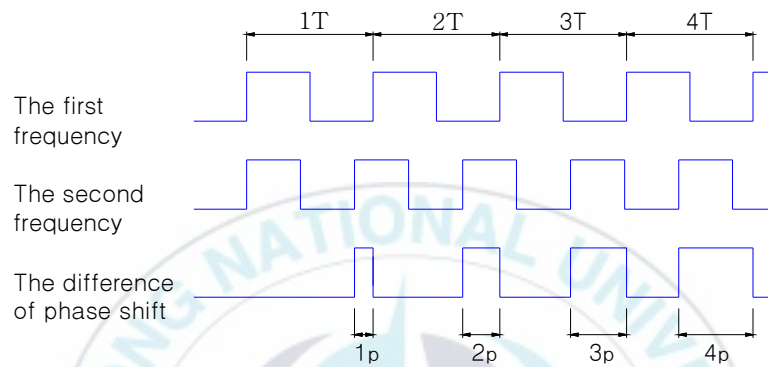


그림 2.2.2 Phase shift

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 d는 식 (2.5)와 식 (2.6)에 의해 계산될 수 있다.

$$d = \left(n_1 + \frac{\phi_1}{2\pi} \right) \times \lambda_1 \quad (2.5)$$

$$\delta = \left(n_2 + \frac{\phi_2}{2\pi} \right) \times \lambda_2 \quad (2.6)$$

여기서, λ 은 파장, n 은 정수, ϕ 는 위상변위이다. 파장(λ)이 다르기 때문에 위상변위의 차이는 식 (2.7)와 같이 표시할 수 있다.

$$\delta \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \quad (2.7)$$

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

$$\phi_1 > \phi_2 \text{ 이면, } \Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 \quad (2.8)$$

$$\phi_1 < \phi_2 \text{ 이면, } \Delta\phi = \phi_1 + 2\pi - \phi_2 \quad (2.9)$$

빛의 속도는 일정하기 때문에 $\lambda_1 = \frac{c}{f_1}$, $\lambda_2 = \frac{c}{f_2}$ 이고, 이 값들을 식 (2-4)에 대입하면 아래의 식 (2.10)과 같이 정리될 수 있다.

$$\delta = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \times \frac{c}{f_1 - f_2} \quad (2.10)$$

2.3 회귀분석

회귀분석은 변수들 간의 함수관계를 분석하고 모형화하는 통계적 기법이다. 회귀분석의 응용분야에는 공학, 자연과학, 경제학, 경영학, 생명과학, 사회과학 등 여러 분야에 적용되고 있으며, 최근에는 컴퓨터 통계 소프트웨어(SAS, SPSS, MINITAB, BMPD 등)의 활용으로 변수들 사이의 복잡한 함수관계 추정하는데 가장 널리 사용되어지는 자료분석 기법이다.

이러한 회귀분석을 사용하는 목적은 크게 세가지로 분류할 수 있는데, 첫째는 종속변수와 독립변수들 사이의 함수관계가 어떠한 형태(선형 또는 비선형)를 가지고 있는지를 파악하는 것이고, 둘째는 종속변수에 영향을 미치는 중요한 독립변수들의 영향을 추정, 검정하는 것이며, 셋째는 추정된 회귀함수를 인용하여 주어진 독립변수의 값에서 종속변수의 평균 변화를 추정 혹은 예측하는 것이다(남신,2004).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (2.11)$$

여기서,

Y_i : i 번째 Y 의 값

X_i : i 번째 X 의 값

β_0 : Y 절편

β_1 : 회귀직선의 기울기

ε_i : i 번째 측정된 Y 의 오차량

식(2.11)에서 보면 산점도로부터 함수관계가 선형이라면 단순회계모형 $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$ 을 설정 n개의 이변량 자료 $(X_i, Y_i), i = 1, 2, \dots, n$ 를 이용하여 미지의 모수인 회귀계수 β_0, β_1 를 추정하여 추정회귀직선 $\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i$ 을 구할 수 있다. 여기서 $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$ 는 β_0, β_1 의 추정량이고, $\hat{Y}_i$ 는 $E(Y_i)$ 의 추정량이다. 회귀계수를 추정하는 방법은 최소제곱법과 최우추정법이 있는데 본 절에서는 가장 많이 사용되는 최소제곱법(Least Squares Method)에 의한 추정 절차에 대하여 설명하고자 한다. 이 방법은 표본 자료에 의하여 신뢰성 있는 회귀직선을 추정하기 위하여 오차제곱의 합을 최소로 하는 회귀계수 β_0, β_1 를 추정하는 방법이다. i번째 추정된 오차는 $\varepsilon_i = Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i$ 이므로 오차제곱합을 S로 표시하면 식 (2.12)와 같다.

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2 \quad (2.12)$$

S를 최소로 하는 β_0, β_1 를 구하기 위해서는 우선 S를 β_0, β_1 에 대하여 각각 편미분하면 식(2.13)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial \beta_0} &= -2 \sum (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i) \\ \frac{\partial S}{\partial \beta_1} &= -2 \sum X_i (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i) \end{aligned} \quad (2.13)$$

위에서 $\sum$ 는 $\sum_{i=1}^n$ 을 의미한다. 식(2.13)의 편미분 값을 영(0)으로 하는 β_0 와 β_1 의 값을 각각 $\hat{\beta}_0$ 와 $\hat{\beta}_1$ 으로 대입하여 정리하면 식(2.14)와 같은 정규 방정식(Normal Equation)을 얻는다.

$$\begin{aligned} n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum X_i &= \sum Y_i \\ \hat{\beta}_0 \sum X_i + \hat{\beta}_1 \sum X_i^2 &= \sum X_i Y_i \end{aligned} \quad (2.14)$$

식(2.14)인 정규방정식을 $\hat{\beta}_0$ 와 $\hat{\beta}_1$ 에 대하여 풀면 그 결과는 식(2.15)와 같다.

$$\begin{aligned} \hat{\beta}_1 &= \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \\ &= \frac{\sum X_i Y_i - (\sum X_i \sum Y_i) / n}{\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 / n} \\ \hat{\beta}_0 &= \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} \end{aligned} \quad (2.15)$$

3. 무프리즘 토털스테이션 평가

3.1 평가를 위한 관측

3.1.1 관측대상물 및 관측장비

무 프리즘 토털스테이션의 정확도를 평가하기 위하여 직선거리가 200m인 대상지역을 선택하였다. 그 대상지역의 모습은 그림 3.1.1 과 같다. 그리고 관측대상물은 일반적으로 지형측량 할 때 쉽게 볼 수 있는 철판, 목재, 콘크리트, 아스팔트, 적색벽돌, 대리석, 토사를 사용하였으며, 그 재료의 모습은 그림 3.1.2와 같다. 관측 장비로서는 Sokkia 사의 SET-230RK3이며, 이 장비는 무 프리즘 토털스테이션으로 프리즘 및 무 프리즘을 같이 측정할 수 있다. 이장비의 모습은 그림 3.1.3와 같고, 제원은 표3.1.1에 나타내었다.



그림 3.1.1 관측대상지역



그림 3.1.2 관측대상물(재료)



그림 3.1.3 관측장비

표 3.1.1 관측장비 제원

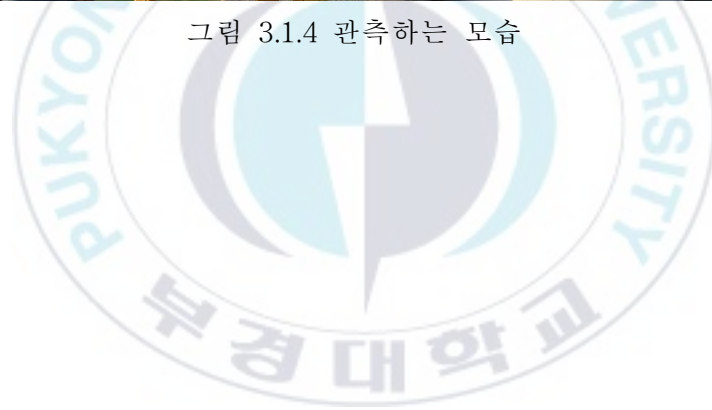
SET230RK3		
측 각 부		
최소표시 / 정도	1 " / 2 "	
이중측 보정범위	±3 '	
측거부		
변조직 근적외 레이저광, 레이저 다이오드, Coaxial optics		
측정 범위	무타겟	0.3 ~ 350m
	반사시트	1.3 ~ 500m
	반사타겟	1.3 ~ 6,000m
측정 정도	무타겟	±(3 + 2ppm X D)mm
	반사시트	±(3 + 2ppm X D)mm
	반사타겟	±(2 + 2ppm X D)mm

3.1.2 평가를 위한 관측방법

무 프리즘 토털스테이션은 직접 측정 대상물에 레이저를 발사하고 반사된 레이저의 신호를 측정하여 거리를 계산한다. 레이저는 접촉면의 표면특성에 따라 반사된 레이저의 분산과 강도가 변화 할 수 있으므로 거리관측의 정확도는 레이저가 반사되는 재료의 표면재질과 반사각에 따라 변화 할 수 있다. 따라서 무 프리즘 정확도를 평가하기 위해서 20m, 40m, 60m, 80m, 100m, 120m, 140m, 160m, 180m, 200m 의 거리에 기준 점을 선점하고 각 점의 거리는 프리즘을 이용하여 정확한 거리를 측정하였다. 그리고 무 프리즘 모드의 거리측정에서 표면재질과 반사각에 따른 거리측정 값을 비교하기 위해 측정대상이 될 수 있는 재료를 선정하였으며, 90°, 60°, 30°의 반사각에 따라 거리를 측정하였다. 측정하는 모습은 그림 3.1.4.에 나타내었다.



그림 3.1.4 관측하는 모습



3.2 평가를 위한 관측 결과 및 분석

3.2.1 관측결과

무 프리즘 토털스테이션 평가하기 위해서 20m, 40m, 60m, 80m, 100m, 120m, 140m, 160m, 180m, 200m 의 거리에 기준점을 선점하고, 각 점의 거리는 프리즘토털스테이션을 이용하여 정확한 거리를 측정하였으며, 각각의 관측재료를 90°, 60°, 30°의 반사각에 따라 거리를 측정하였다. 그 결과는 표 3.2.1에 나타내었다. 관측결과를 보면 철판인 경우에는 반사각도가 30°일때 120m이상은 관측 불가능한 것으로 나타났으며, 반사각도 60°일때는 180m이상은 관측할 수 없었다. 목재와 콘크리트재료는 200m 범위내에서는 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°일때 관측거리 100m이상은 관측할 수 없었으며, 200m일때에는 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 120m이상은 관측할 수 없는 것으로 나타났으며, 만약 관측이 해야 할때는 120m에서 기계를 옮겨서 측량해야 정확도가 확보된다고 판단한다.

표 3.2.1 관측결과

측점 (m)	반사각 (°)	관 측 거 리(m)								비고
		prism	철 판	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	-	-	-	-	

3.2.2 관측결과 분석

무 프리즘 토털스테이션으로 관측한 결과를 바탕으로 재료 및 반사각도별로 RMSE를 분석하였으며, 분석 결과는 표 3.2.1과 그림 3.2.1에 나타내었다. 그 결과 반사각도 90°에서는 재료별로 1.4mm~2.6mm까지의 RMSE가 분석되었으며, 90°의 반사각도에서는 무 프리즘 토털스테이션의 정확도는 재고와 상관없이 매우 양호한 값으로 분석되었다. 다음은 반사각도 60°에서는 재료별로 2.3mm~11.0mm까지의 RMSE가 분석되었으며, 60°의 반사각도에서는 철판인 경우만 높은 정확도가 나타났으며, 다른 재료는 비교적 오차가 많은 것으로 나타났다. 특히 아스팔트는 RMSE가 낮게 나타났는데 그것은 관측거리가 120m밖에 되지 않은 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°일 때 오차가 많이 발생할 것으로 판단된다.

표 3.2.1 재료 및 반사각도별 RMSE

반사각도	RMSE(m)							비고
	철판	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	

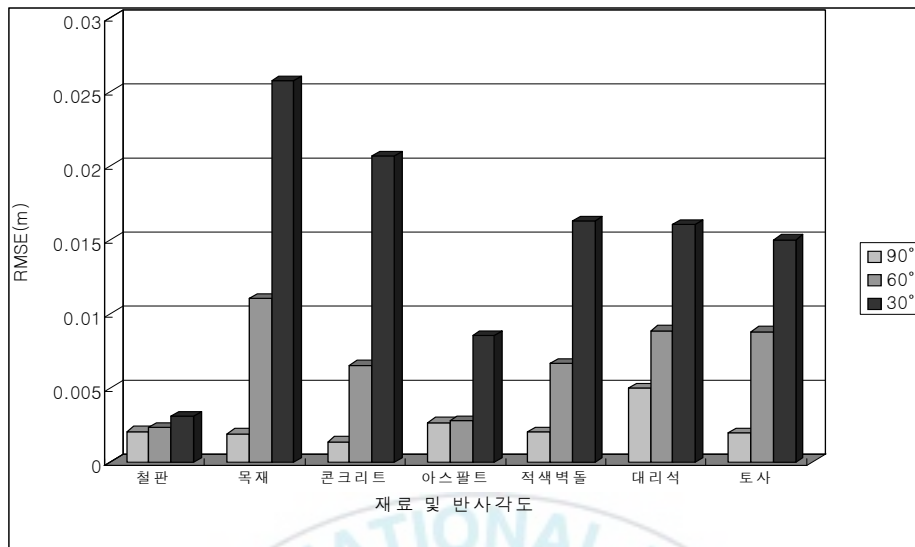


그림 3.2.1 재료 및 반사각도별 RMSE

3.2.3 관측거리에 따른 재료 및 반사각도 회귀분석

무 프리즘 토털스테이션의 활용성을 위하여 관측거리에 따른 재료 및 반사각도별로 회귀분석을 하였다. 회귀분석시 독립변수에 관측거리를 대입하고 종속변수에는 오차를 적용하여 재료 및 반사각도의 상관성을 분석하였다. 분석결과는 표 3.2.3이며, 그래프는 그림 3.2.2에 나타내었다. 회귀분석결과 관측거리에 따라서 반사각도와는 상관성이 있는 것으로 판단되나, 재료와는 상관성이 없는 것으로 분석되었다.

먼저 반사각도 90°일 경우에는 관측거리와는 상관성이 없으며, 다만 레이저파의 세기와 관측거리는 관계가 있다고 판단된다. 그러나 반사각도 30°일때는 관측거리에 따라 레이저파의 수신에 문제가 있어 관측거리와 상관성이 있었다. 따라서 무프리즘 토털스테이션으로 측량을 할때 관측대상물의 반사각도와 정확도에 영향을 미치는 것을 알게 되었으며, 반사각도가 약 60°이상이 되면 오차에 대한 부분들을 고려하여야 한다고 판단된다.

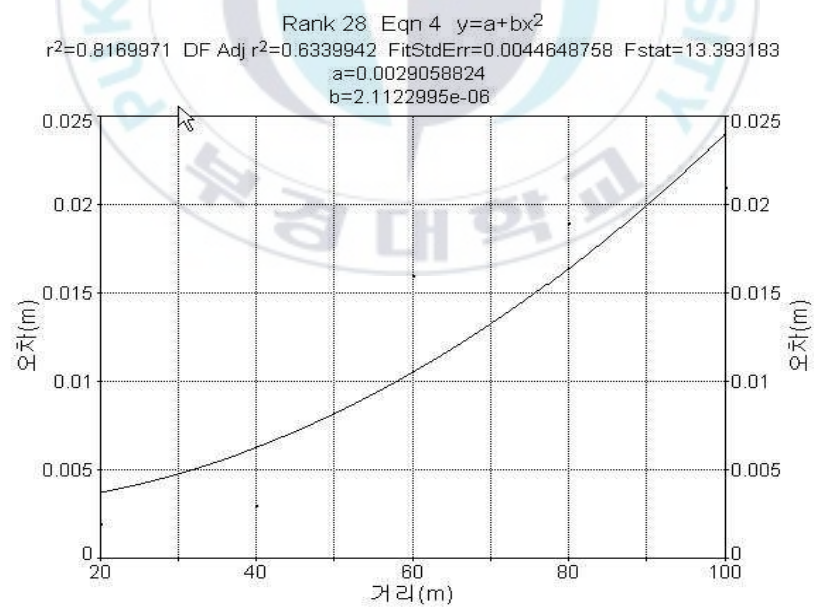
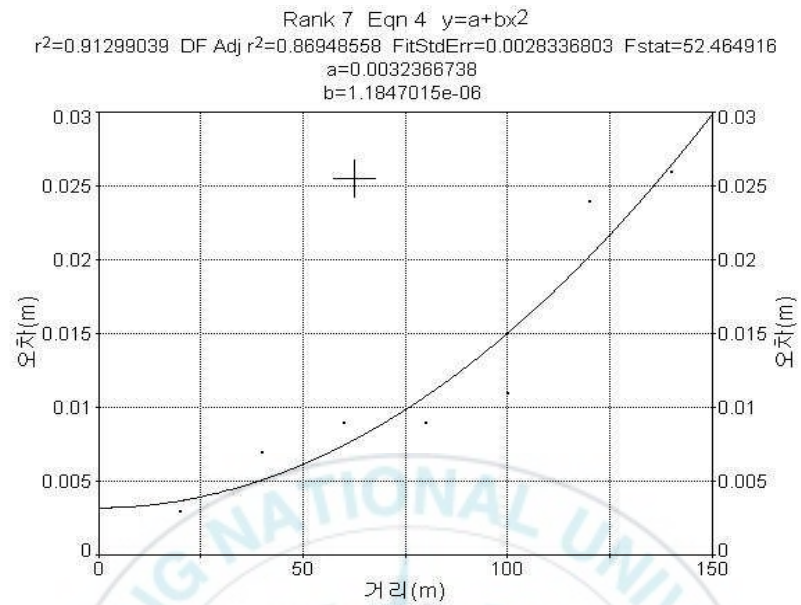


그림 3.2.2 관측거리에 따른 재료 및 반사각도별 상관도 (계속)

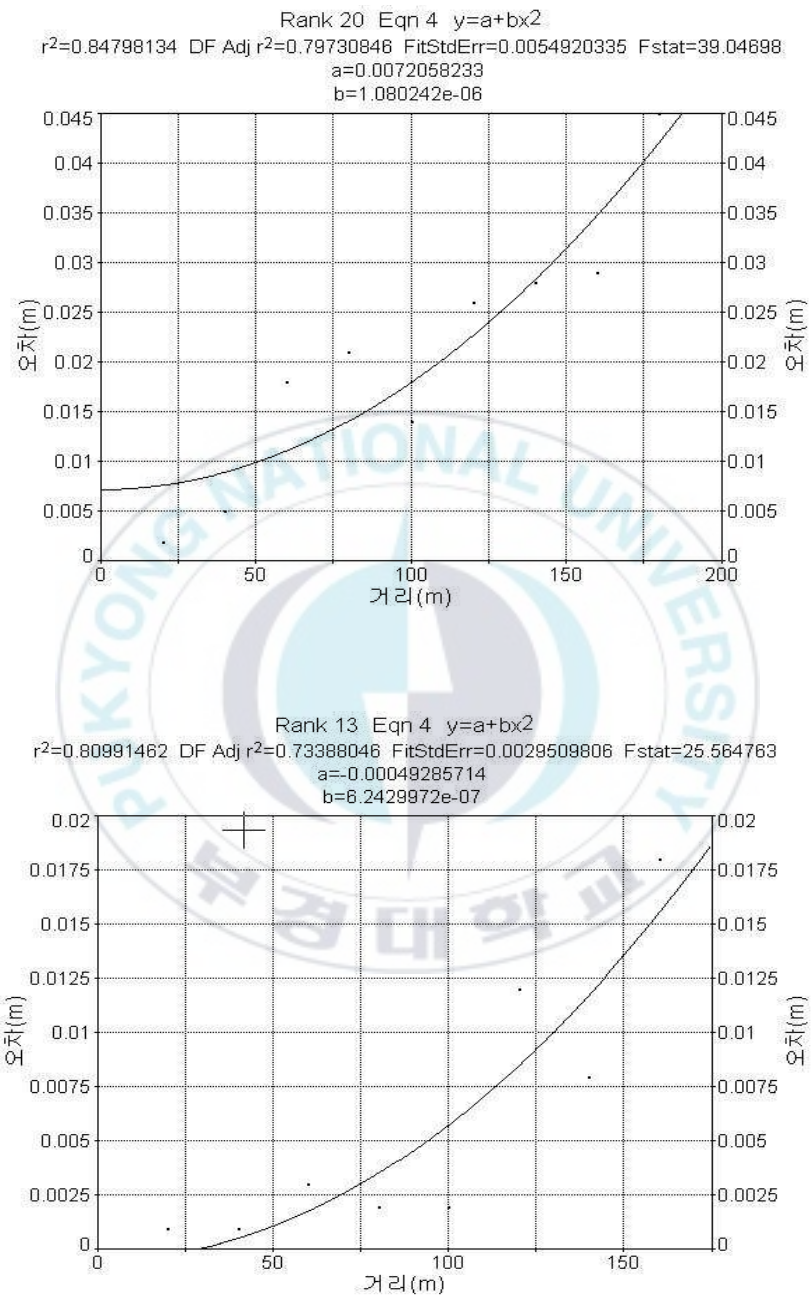


그림 3.2.2 관측거리에 따른 재료 및 반사각도별 상관도 (계속)

표 3.2.3 관측거리에 따른 재료 및 반사각도별 상관계수

반사 각도	상관계수 (r^2)							상관식
	철 판	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	



4. 무프리즘 토털스테이션의 지형측량 적용

4.1 도로측량에 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 특성을 시험하기에 적합한 장소이다. 먼저 도로 측정 대상물에 특정 점을 선점하여 프리즘토털스테이션을 이용한 3차원 위치를 결정하고 무 프리즘토털스테이션을 이용한 결과와 비교 분석함으로서 무 프리즘 토털스테이션의 적용하여 보았다.

무 프리즘 토털스테이션을 이용하여 도로의 경계와 그 중심선의 위치를 측정 하기위해서는 긴 관측거리와 낮은 반사각을 요구하게 된다. 따라서 도로측량에 무 프리즘 토털스테이션의 적용을 하기위해서 반사각에 따른 관측가능거리와 그 정도를 관측하였다. 그림 4.1.1은 대상지역의 모습이며, 표 4은 도로중심선을 측정할 경우 나타난 오차를 측정거리와 반사각과 함께 나타내었다. 모든 경우에서 1~9도의 낮은 반사각으로 측정되었으며, 대략 200m의 거리까지 측정 가능하였다. 표 4에서 알 수 있듯이 측정오차는 관측거리보다 반사각에 많은 영향을 받으며, 250m의 거리는 5도 이상의 반사각에도 측정 불가능한 것을 알 수 있다. 무 프리즘 토털스테이션을 이용한 도로중심측량은 200m이내의 거리와 2도 이상의 반사각을 갖는다면 $\pm 0.03\text{m} \sim \pm 0.05\text{m}$ 의 정도를 가진다.



그림 4.1.1 지형측량 평가를 위한 대상지역(도로)

표 4.1.1. 무 프리즘 토털스테이션을 이용한 도로측량의 오차

측 점	프리즘(m)			무 프리즘(m)			오 차(m)			관측 거리 (m)
	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
2	490.799	513.325	99.962	490.845	513.322	99.975	-0.046	0.003	-0.013	16.193
3	528.202	481.045	96.836	-	-	-	-	-	-	33.980
4	471.251	532.093	100.084	471.251	532.093	100.097	0.000	0.000	-0.013	43.087
5	559.849	464.316	92.414	558.416	465.170	92.638	1.433	-0.854	-0.224	69.680
6	442.220	560.179	100.111	441.822	560.594	100.114	0.398	-0.415	-0.003	83.427
7	587.030	453.016	89.630	586.996	453.035	89.654	0.034	-0.019	-0.024	98.903
8	421.610	585.934	100.266	420.826	586.792	100.270	0.784	-0.858	-0.004	116.317
9	612.923	437.435	89.386	612.885	437.455	89.404	0.038	-0.020	-0.018	129.097
10	626.762	427.917	89.349	626.722	427.947	89.370	0.040	-0.030	-0.021	145.824
11	380.364	626.150	100.072	-	-	-	-	-	-	173.858
12	360.400	651.639	100.171	360.400	651.632	100.187	0.000	0.007	-0.016	206.113
13	331.618	694.608	105.457	-	-	-	-	-	-	257.342

4.2 구조물 측량에 적용

구조물과 같은 구조물의 측정에서는 그 경계가 중요한 요소가 된다. 따라서 구조물측량에서 그 측정 대상이 되는 구조물의 모서리부분을 측정하였다. 그림 4.2.1은 대상 구조물의 모습이며, 표 4.2.1은 구조물의 모서리부분을 측정한 결과와 오차를 나타낸다. 100m의 관측거리에서도 모두 0.01m이하의 오차를 가지는 것으로 나타났다. 하지만 4번 측점의 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.



그림 4.2.1 지형측량 평가를 위한 대상지역(구조물)

표 4.2.1 무 프리즘 토털스테이션을 이용한 구조물측량의 오차

측점	프리즘(m)			무 프리즘(m)			오 차(m)			관측 거리 (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 토털스테이션으로 측정하였다. 그림 4.3.1은 대상사면의 모습이며, 표 4.3.1은 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 토털스테이션을 이용하여 사면의 측량에서는 측정거리 및 반사각에 관계없이 $\pm 0.20\text{m} \sim \pm 0.50\text{m}$ 의 정도를 가진다.



그림 4.3.1 지형측량 평가를 위한 대상지역(사면)

표 6. 무 프리즘 토털스테이션을 이용한 사면측량의 오차

측 점	프리즘(m)			무 프리즘(m)			오 차(m)			관측거 리 (m)
	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
2	532.791	513.281	102.731	532.660	513.203	102.797	0.131	0.078	-0.066	35.378
3	554.635	515.558	105.413	554.609	515.550	105.475	0.026	0.008	-0.062	56.807
4	554.802	514.236	105.301	554.401	514.051	105.361	0.401	0.185	-0.060	56.621
5	577.765	516.751	107.829	577.362	516.664	107.838	0.403	0.087	-0.009	79.549
6	584.996	515.782	108.389	584.659	515.720	108.430	0.337	0.062	-0.041	86.449
7	610.836	517.362	111.314	610.575	517.321	111.342	0.261	0.041	-0.028	112.188
8	627.124	519.379	113.556	626.815	519.331	113.610	0.309	0.048	-0.054	128.593

5. 결 론

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

1. 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.

2. 관측거리에 따른 재료 및 반사각도별로 회귀분석한 결과는 관측거리와 반사각도는 상관성이 있는 것으로 판단되며, 재료와는 상관성이 없는 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.

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

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

참 고 문 헌

김감래, 라용화, 박준 (2003), PBLIS 데이터를 이용한 토탈측량시스템의 정확도 분석, 한국측량학회지, 제21권, 제3호, pp. 209~214.

김진수, 서동주, 이종출 (2004), 수치사진측량기법을 이용한 토량환산계수 산정, 한국측량학회지, 제22권, 제4호, pp. 339~347.

남신 (2004), 근접수치사진측량의 촬영위치에 따른 정밀도 해석, 석사학위논문, 부경대학교 대학원, pp. 20~22.

박경식, 이현직, 함창학(2003), 시설물측량에서의 무프리즘 토털스테이션 활용성 연구, 한국측량학회지, 제21권, 제2호, pp. 155~164.

박병욱(2003), GPS 및 토털스테이션을 이용한 토탈측량시스템 결합에 의한 도근점 측위의 정확도 분석, 한국측량학회 2003 춘계학술발표회 논문집, pp. 43~48.

박운용, 곽두호, 김용보, 백기석 (2003), GPS/GLONASS와 TS결합에 의한 도근점 측위의 정확도 분석, 한국측량학회지, 제21권, 제3호, pp. 199~207.

송석진(2005), PDA를 이용한 현장 DGPS의 정확도에 관한 연구, 한국측량학회지 2005 춘계학술발표회 논문집, pp. 73~78.

서동주, 이종출 (2003), 수치사진측량을 이용한 도로평면선형정보체계 개발, 한국측량학회지, 제21권, 제4호, pp. 347~353.

양상오 (2005), PDA와 Total Station을 결합한 측량방법 개선에 관한 연구, 석사학위논문, 전북대학교 산업대학원, pp. 5~18.

이재강, 박운용, 정창식, 윤경철, 문두열 (2005), 무프리즘 토탈스테이션을 이용한 해빈류 관측, 한국측량학회지 2005 춘계학술발표회 논문집, pp. 49~53.

이종출, 서동주 (2006), 비디오카메라를 이용한 3차원 도로중심선 추출, 한국도로학회 논문집, 제8권, 제1호, pp. 65~75.

이종출, 김희규, 하대환, 서재수 (2006), 지형측량을 위한 무 프리즘 토탈스테이션의 활용, 한국측량학회지 2006 춘계학술발표회 논문집, pp. 27~32.

이현직(2004), 모바일 GIS를 활용한 도로시설물 DB구축의 효율성 향상, 한국측량학회지 2005 추계학술발표회 논문집, pp. 373~380.

최병길(2004), GPS와 PDA를 이용한 위치정보시스템 개발에 관한 연구, 한국측량학회지 2004 춘계학술발표회 논문집, pp. 119~124.

Barry F. Kavanagh, S. J. Glenn Bird(1996), *Principles and Applications* : Fourth Edition, Prentice Hall, pp. 257~275.

Bickel. G, Hausler,G, and Maul. M(1985), Triangulation with Expanded Range of Depth, Opt. Eng. 24, p. 974.

Costa. F.M(1993), Systemof Optical Non Contact Microphotography, Applied Optics, vol. 32, pp. 4860~4863.

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 Teh 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.

감사의 글

먼저 너무도 부족한 저에게 기회를 주시고 많은 배려를 아끼지 않으신 지도 교수 이종출 교수님께 깊은 감사를 올립니다.

바쁘신 와중에서도 열과 성의를 다해 도와주신 부경대학교 측량 및 지형공간 정보 연구실 서동주 박사님께도 깊은 감사를 드립니다.

또한 본 논문을 발표하기 위해 석사과정을 거치는 동안 많은 지도를 해주신 부경대학교 건설공학부 김종수 교수님, 손인식 교수님, 이동욱 교수님, 이영대 교수님께 진심어린 감사의 인사를 올립니다.

언제나 많은 도움을 아끼지 않은 측량 및 지형공간정보 연구실 가족 모두에게도 진심어린 감사를 드립니다.

한편의 논문과 함께 석사과정을 거치는 동안 수많은 일들이 한편의 파노라마 처럼 스쳐가는 이 시점에서, 어려움과 새로운 경험들도 꺾끗이 해쳐 나아 갈수 있다는 새로운 자신감을 저 자신에게 준 기회가 아니었나 생각합니다. 이때까지 생각하던 주경야독과는 다른, 작지만 그 무엇을 이루었다는 알 수 없는 보람감 마저 듭니다.

사회생활을 하며 석사과정 입학을 하겠다고 했을 때 저를 믿고 의견을 존중 해준 아버지, 어머니께 감사의 말씀을 전하고, 그동안 매일 바쁘고 힘들다며 여러가지 모든 일들을 도와주지 못한 나의 반쪽 경진이 에게도 사랑을 전하고 싶습니다. 언제나 손주 걱정을 해주시는 외할머니와 친척들 그리고 멀리서 조카 잘되기를 기원해 주시는 고모님과 항상 걱정해주고 아들처럼 돌봐주시는 장인, 장모님에게도 그동안의 배려에 다시한번 감사의 인사를 드립니다. 언제나 힘들 때 곁에 있어준 친구들과 하누리 모임 여러분에게도 감사를 전합니다.

사회생활을 하면서 학교생활을 하는 저에게 많은 배려를 아끼지 않았던 (주) 서용엔지니어링 박철한 사장님 이하 모든 임직원 분들에게도 감사의 말씀을 전함

니다. 특히, 여러모로 도와주신 정선인 과장님께 깊은 감사의 말을 전합니다.

이제 학교가 아닌 다른 곳에서 또 다른 배움을 찾겠지만 언제나 초심을 잃지 않고 좌우명인 一切唯心造 의 생각으로 저를 위해 옆에서 걱정해주시고 인도하여 주신 모든 분들을 위하여 보다 나은 모습 보일 수 있도록 노력하는 자세를 가지고 살아가려 합니다.

그 동안의 제 인생에 있어서 같이 한 모든 분들께 이 논문을 바칩니다.

2007년 2월

박 현 용 드림

