

정밀 기선장 관측에 의한 EDM 장비의 영점오차와 축척오차의 결정

Calculation of Zero Error and Scale Error of EDM by Precise Baseline Measurement

조재명¹⁾ · 윤홍식²⁾ · 이원춘³⁾

Cho, Jae Myoung · Yun, Hong Sic · Lee, Won Choon

Abstract

The electronic distance measurement(EDM) instrument, introduced first in the 1950s since those early days has, undergone continual refinement. Rapid advances established in related technologies have made it lighter, smaller and more precise equipment. Understanding for the principle, the standardized observation technique and the precision of EDM instrument is mostly important to improve the quality and the reliability of by-product in the field of engineering and industrial surveying. Periodical and accurate calibration is necessary to maintenance the precision of EDM instrument. This paper describes the calculated example of zero error and scale error as a correction of EDM by applying the least square method to baseline observations in test area. Also here we deal with the testing criteria for precision instrument testing according to different types of EDM instruments.

Keywords : EDM Calibration, Calibration Baseline Measurement, Zero Error, Scale Error

요 지

EDM 기계는 1950년대 최초로 소개된 이후 전자 및 광학기술의 발전에 힘입어 소형화, 고정밀화 됨으로써 현재에는 측량뿐만 아니라 정밀 과학 계측 분야에서까지 널리 활용되고 있다. EDM 기계에 대한 원리의 이해 및 표준화된 관측 방법에 대한 이해와 더불어 정밀도에 대한 이해는 측정 결과의 신뢰성 향상 및 산업측량, 시공측량 등의 활용 분야에 있어서 2차적인 생산물의 품질 향상을 위해서 매우 중요하다 할 수 있다. 이러한 EDM 기계의 정밀도 유지를 위해서 규칙적이고 주기적인 점검이 이루어져야 하며, 단순하면서도 정밀한 점검 방법이 요구된다. 본 논문에서는 기선거리 관측 데이터로부터 최소자승법을 이용하여 간단하게 EDM 기계의 보정계수인 영점오차와 축척오차를 동시에 결정하는 방법을 제시하였고 산정된 보정계수를 이용하여 EDM 기계의 정밀도에 따른 검교정을 위한 검정 방법을 제시하였다.

핵심용어 : EDM 검교정, 검기선 관측, 영점오차, 축척오차

1. 서 론

EDM 기계는 전파에너지를 발사하여 이 전파에너지가 다른 쪽으로부터 반사되어 되돌아오는 시간을 측정하여 두 지점 사이의 거리를 결정할 수 있는 장비로써 1950년대 최초의 상용화된 EDM 기계가 소개된 이후, 전자기술과 광학기술의 발전에 힘입어 소형화, 정밀화됨으로써 현재 측량뿐만 아니라 정밀한 길이의 관측을 필요로 하는 과학기술 분야에서 널리 활용되고 있다. EDM 기계는 사용하는 전파에너지의 종류에 따라 광파(lightwaves, electro-optical)방식과 극초단파(microwaves, electromagnetic)방식으로 분류되며, 광파방식의 EDM 기계는 극초단파방식의 EDM 기계에 비하여 소형이며, 조작이 간단하기 때문에 최근에는 광파방식의 EDM 기계를 주로 사용하고 있다(Torge, 2001).

일반적으로 EDM 기계의 관측거리리는 1소자 반사프리즘의 경우에 수 m~수 km이며, 그 정밀도는 수 mm 정도이

1) 연결저자 · 정회원 · 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정 수료(E-mail:jmcho@geo.skku.ac.kr)

2) 정회원 · 성균관대학교 토목환경공학과 조교수(E-mail:yhs@geo.skku.ac.kr)

3) 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정(E-mail:s252@geo.skku.ac.kr)

다. EDM 기계를 이용하여 거리를 관측할 때에 발생하는 오차는 외적오차와 내적오차로 구분되는데 특히, 광파 방식 EDM 기계의 경우에는 내적오차에 영점오차(zero error), 축척오차(scale error), 주파수오차(cyclic error), 위상측정 오차(phase measurement error) 등이 있으며, 외적오차에는 대기굴절오차(atmospheric refraction error)가 있다. 내적오차는 EDM 기계와 프리즘의 불완전성 때문에 발생하는 오차로써 영점오차, 축척오차, 주파수오차는 정오차에 해당하며, 위상측정오차는 우연오차에 해당한다. 이러한 오차들 중에서 영점오차와 축척오차는 정밀하게 거리가 결정된 여러 개의 기선을 반복 관측함으로써 결정 할 수 있는 오차로서 EDM 기계의 검정(calibration)을 통하여 구하여지는 보정계수(correction factor)라고 한다. EDM 기계의 보정계수는 기계 제작업체에서 기계 제작 과정에서 결정하여 제공되지만 기계를 사용하는 도중에 여러 가지 원인에 의하여 그 값이 변할 수 있으므로 정밀한 관측방법을 이용하여 주기적으로 검사함으로써 EDM 기계의 정밀도를 점검하고 유지할 필요가 있다.

이러한 이유로 세계 각국에서는 정밀 검기선장을 설치하고 이를 주기적으로 관측함으로써 거리측정기를 사용하여 실시하는 측량작업 전에 기계의 거리측정 정밀도를 점검하여 조정하도록 규정하고 있다. 우리나라에서는 최근 들어 급속하게 팽창된 측량작업의 수요에 의하여 다양한 종류의 거리측정기가 도입되고, 또한, 장기간 사용된 기계의 정밀도 점검이 어려워 측량성과의 품질확보가 어렵게 됨에 따라서 정밀 검기선장의 설치와 검정센터를 통한 기계의 검사를 필하도록 규정(측량법, 2001)하고 있으며, 이에 따라 국토지리정보원은 2002년에 전국에 5개소의 정밀 검기선장을 설치하여 거리측정기의 정밀도를 점검하고 있다. 그러나 정밀 검기선 표시이 설치 된지 2년이 지난 현재 까지 정밀 검기선 표시의 지반 침하 등으로 인한 검기선장 변화를 재 점검하지 않은 상태에 있으며 또한, 초기의 검기선장 측정에서 사용된 장비의 정밀도 및 기상(기온, 습도 및 기압) 보정 등에 대한 사항들을 고려할 때에 전국의 정밀검기선장에 대한 재 관측 및 보정이 필요하다. 또한 현재 규정된 기계 검정에 대한 기준은 거리측정기의 정밀도를 단순히 3개의 등급으로 나누어 검사하고 있으며, 등급별 검사 기준이 실제 거리측정기의 정밀도에 비하여 현저히 낮으므로 거리측정기 자체의 정밀도에 따른 검사 기준의 마련이 필요하다.

본 연구에서는 성균관대학교내에 설치된 정밀검기선장(7개 표시)을 정밀 토털스테이션(각 측정 정밀도 : 0.5", 거리측정정밀도 : 1mm±1ppm)을 사용하여 관측을 실시하여 고시된 기선장과 비교하였으며, 또 다른 토털스테이

션을 사용하여 관측한 거리와의 비교차를 이용하여 EDM 기계의 보정계수를 결정하였다. 결정된 보정계수를 제공된 기계의 보정계수와 비교하여 기계의 정밀도를 점검하였으며, 이러한 분석 결과를 바탕으로 현재 규정된 거리 측정 기계의 검정기준에 대한 분석과 새로운 검정 방법을 제시하였다.

2. EDM의 원리와 오차

2.1 EDM 기계를 이용한 거리의 관측

전자 장비에 의한 거리관측 방법에는 변조파 방법, 위상차 방법, 도플러 방법 등이 있으며, 현재 측량에서 사용되는 대부분의 EDM 기계에서는 위상차 방법을 사용하고 있다. 위상차 방법에는 반송파의 형태에 따라서 앞에서 언급한 광파방식과 극초단파방식이 있다.

전자기파가 EDM 기계와 반사프리즘 사이를 왕복할 동안의 전자기파의 총 진행거리는 전자기파의 파장을 λ , 진동수를 m (m 은 정수)이라 할 때에 파장의 정수배($m \times \lambda$)와 1파장 미만의 나머지 부분($\Delta \lambda$)으로 이루어진다(그림 1).

식 (1)은 EDM 기계와 프리즘간의 전자기파의 이동거리를 표시한 것이다.

$$2D = m\lambda + \Delta \lambda \quad (1)$$

여기서, D 는 EDM 기계와 프리즘 사이의 실제 거리이다.

관측에서 진동수 m 은 실질적으로 측정할 수 없지만 전자기파가 EDM 기계에서 송신되는 순간의 위상 ψ_1 과 프리즘에서 반사된 전자기파가 EDM 기계에 수신되는 순간의 위상 ψ_2 을 관측할 수 있기 때문에 식 (1)의 $\Delta \lambda$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\Delta \lambda = (\Delta \psi / 2\pi) \cdot \lambda \quad (2)$$

여기서, 위상차 $\Delta \psi = \psi_2 - \psi_1$ 이다.

위상차는 직접 측정이 가능하지만 단일 파장의 전자기

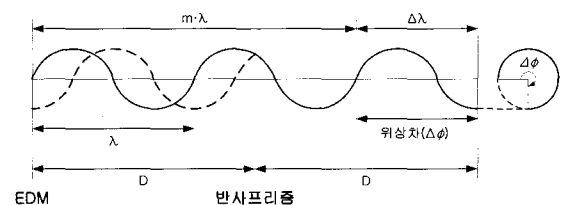


그림 1. EDM과 반사프리즘 사이의 전자기파의 왕복

파만을 사용한 관측으로서는 진동수 m 을 결정할 수 없으므로 주파수가 약간 다른 전자기파를 여러 개 사용하여 증폭현상을 일으켜 $m=0$ 이 되는 장파장의 전자기파를 사용하는 효과를 이용하여 대략적인 거리를 구한 후, 단파장의 전자기파를 왕복시켜 정확한 m 값을 구하게 된다. 이러한 원리는 식 (3)과 같이 표시된다.

$$\bar{\lambda} = \frac{C}{f_A - f_B} = \frac{1}{1/\lambda_A - 1/\lambda_B} \quad (3)$$

여기서, C 는 전자파의 속도이고 f 는 주파수, λ 는 파장이다.

2.2 EDM 기계의 오차

EDM 기계를 사용하여 거리를 관측할 때에 발생하는 오차에는 관측자의 실수에 의한 개인오차 이외에 EDM 기계에 의한 오차와 기상학에 의한 오차가 있다. 이 중 기상학에 의한 오차는 주로 전자기 에너지의 파장과 굴절률에 영향을 주는 온도, 압력, 습도에 의해 발생하는 오차로서 거리 관측시에 기상 조건을 함께 관측하여 파장에 따른 보정식으로부터 오차량을 보정하게 된다. 관측거리에 따른 EDM 기계의 오차는 크게 관측거리에 비례하는 오차와 비례하지 않는 오차로 분류하며, 거리에 비례하는 오차는 주파수와 굴절률에 의한 오차로 분류한다.

주파수에 의한 오차는 관측거리에 큰 영향을 주는데 변조 주파수를 f , 주파수 오차를 Δf 라 하면 관측거리 D 에 $-(\Delta f/f) \cdot D$ 만큼 영향을 주게 된다. 관측거리가 먼 경우에는 관측지점 양단의 기상학의 차이로 인하여 전자기파에 미치는 굴절률에 차이가 발생하게 되며, 이로 인하여 오차가 발생하게 되는데 그 크기는 관측거리의 1/10,000 정도이다 (유복모, 1995).

거리에 비례하지 않는 오차로는 위상차 측정오차와 EDM 기계 및 반사프리즘의 상수에 의한 오차 및 구심오차로 분류되는데 위상차 측정오차는 송신 전자기파와 수신 전자기파의 위상차를 측정하는 검출기 자체의 정밀도에 의해서 발생하는 오차로서 그 크기는 일반적으로 파장의 1/1,000 정도이며, EDM 기계 및 반사프리즘의 상수에 의한 오차는 장비 제작사에서 제공되는 EDM 기계 및 반사프리즘 상수가 부정확하기 때문에 발생하는 오차로서 그 크기는 수 mm 정도이다. 구심오차는 기계 및 프리즘의 중심과 지상 관측점이 일치하지 않음으로써 발생하는 오차로서 그 크기는 수 mm 정도이다(안철호, 1992).

3. 영점오차와 축척오차

영점오차는 거의 일정한 값을 가지는 정오차이고, 여러 가지 원인에 의해서 발생하지만 일부는 아직 명확히 밝혀지지 않았다(Alireza, 2003). 영점오차의 가장 큰 원인은 EDM 기계의 전자적인 중심 위치와 반사프리즘의 중심 위치가 불완전하기 때문에 발생하는 것으로서 반사프리즘 상수가 부정확할 경우, 또는 EDM 기계의 동조축을 수리하거나 조정된 후에 발생한다. 축척오차는 길이에 따라 발생하는 오차로서 관측길이에 비례하여 발생하며, 내적, 외적 요인에 의해서 발생한다. 발진기(oscillator)가 설계 범위 내에서 거리 관측에 요구되는 충분한 주파수를 생성하지 못할 경우에 축척오차가 발생하는데 이는 내적 요인에 의한 것이다. 반면에 관측 거리 양단 사이의 기상의 차이로 인하여 굴절계수에 차이가 있을 경우에도 발생하게 되는데 이는 외적 요인에 의한 것이다. 먼 거리를 측정할 수록 극초단파 방식의 장비가 광파 방식의 장비보다 축척오차가 크게 발생한다(Alireza, 2003).

영점오차와 축척오차는 다양한 거리로 구성된 정밀 기선들을 관측한 후에 방정식 해법에 의하여 동시에 구할 수 있다(Emenike, 1982). 즉, 두 개의 오차를 두 개의 미지계수라 하면 이들 미지 계수를 포함하는 선형적 형태의 직선식을 결정하는 것은 여러 개의 점들에 대해 최적합한 직선식을 구하는 방법과 유사함으로써 최소자승법을 이용하여 두 개의 오차를 결정할 수 있다.

영점오차를 C , 축척오차를 S 라 하면 식 (4)와 같은 관계식으로 표시할 수 있다.

$$D_p = D_o + C + S \cdot D_p \quad (4)$$

여기서, D_p : 기선 거리, D_o : 관측 거리이다.

위의 식으로부터 관측방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$\Delta = C + S \cdot D_p \quad (5)$$

여기서, $\Delta = D_p - D_o$ (잔차)이다.

모든 기선에 대한 기선거리와 관측거리의 차와 위의 관계식으로부터 미지계수인 영점오차(C)와 축척오차(S)를 구하기 위한 최소자승법에 의한 식은 식 (6)과 같이 표시된다.

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{2} n(n+1) & \sum_{i=1}^{(n-1)n} D_{p_{ij}} \\ \sum_{i=1}^{(n-1)n} D_{p_{ij}} & \sum_{i=1}^{(n-1)n} D_{p_{ij}}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{(n-1)n} \Delta_{ij} \\ \sum_{i=1}^{(n-1)n} D_{p_{ij}} \Delta_{ij} \end{pmatrix} \quad (6)$$

여기서, $D_{p_{ij}}$: 관측점 i, j 간의 기선거리
 Δ_{ij} : 관측점 i, j 간의 기선거리-관측거리
 n : 관측거리 수

위의 행렬식으로부터 영점오차(C)와 축척오차(S)는 식 (7)과 같은 행렬식에 의하여 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} C \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} n(n+1) & \sum_{i=1}^{(n-1)n} D_{p_{ij}} \\ \sum_{i=1}^{(n-1)n} D_{p_{ij}} & \sum_{i=1}^{(n-1)n} D_{p_{ij}}^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{(n-1)n} \Delta_{ij} \\ \sum_{i=1}^{(n-1)n} D_{p_{ij}} \Delta_{ij} \end{pmatrix} \quad (7)$$

4. 기선거리 관측

EDM 기계의 보정계수를 결정하기 위해서는 정밀기선 표석간의 거리를 관측하여 기선 거리와 비교하여야 한다. 기선거리는 국토지리정보원에서 성균관대학교 내에 설치한 정밀기선표석을 이용하였다. 이 기선은 500여 미터의 직선거리 상에 총 7개의 정밀기선표석으로 구성되어 있으며, 7개의 기선표석으로부터 관측되는 기선거리의 수는 총 21개로 식 (8)에 의하여 구하여진다. 7개의 정밀기선표석을 이용한 21개 기선의 조합은 그림 2에 표시한 것과 같으며, 표 1은 고시된 기선장의 성과를 표시한 것이다.

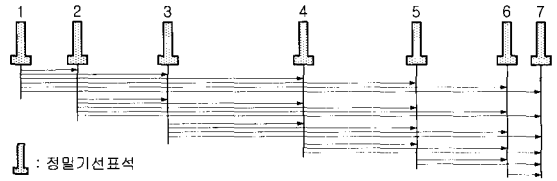


그림 2. 정밀기선표석의 구성과 기선의 조합

$$n(\text{기선거리 총 수}) = \frac{m(m-1)}{2} \quad (8)$$

여기서, m : 정밀기선표석의 수이다.

국토지리정보원에서 성균관대학교 내에 설치한 정밀 기선장 표석은 2002년 설치되었으며, 설치시 관측한 정밀 기선 거리를 지금까지 그대로 사용하고 있다. 하지만 그동안 지반의 침하 등 여러 가지 요인에 의해서 기선 거리의 변화가 발생할 수 있으므로 정밀한 재 관측이 요구되어지고 있는 실정이다. 본 연구에서는 정밀 기선 거리의 변화량을 파악하고 EDM 장비의 보다 정밀한 보정계수 결정을 위해서 최신 정밀 거리측정기를 사용하여 기선 거리를 재 관측 하였다. 기선 거리의 재 관측에 사용된 장비는 Leica社의 TC 2003 토털스테이션으로써 그 사양은 표 2와 같으며, 관측 거리의 정확도 제고를 위하여 제작사에서 검교정을 실시한 토털스테이션과 동일한 회사에서 제작된 후 정밀 검교정을 실시한 반사프리즘을 사용하였다.

정밀 기선 거리의 재 관측은 미국의 해양대기관측국(NOAA)에서 규정한 정밀 검기선 관측 방법(NOS NGS-10)을 이용하였으며, 재 관측 결과 및 기선의 공인거리와의 차는 표 3과

표 1. 정밀 기선의 공인거리

| 종점 시점 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 39.82530m ± 0.39mm | 138.76790m ± 0.55mm | 296.81680m ± 0.67mm | 425.30700m ± 0.77mm | 494.69580m ± 0.86mm | 504.97630m ± 0.94mm |
| 2 | | 98.94260m ± 0.39mm | 256.99150m ± 0.55mm | 385.48170m ± 0.67mm | 454.87050m ± 0.77mm | 465.15100m ± 0.86mm |
| 3 | | | 158.04890m ± 0.39mm | 286.53910m ± 0.55mm | 355.92790m ± 0.67mm | 366.20840m ± 0.77mm |
| 4 | | | | 128.49020m ± 0.39mm | 197.87900m ± 0.55mm | 208.15950m ± 0.67mm |
| 5 | | | | | 69.38880m ± 0.39mm | 79.66930m ± 0.55mm |
| 6 | | | | | | 10.28050m ± 0.39mm |

표 2. 정밀 기선 거리의 재 관측에 사용된 토털스테이션의 사양

| 항 목 | 사 양 | 항 목 | 사 양 |
|-----------|------|------------|-------------|
| 망원경 배율 | 30× | 최소 거리 읽음 값 | 0.01mm |
| 최소 각 읽음 값 | 0.1" | 측정 거리 정밀도 | ±(1mm+1ppm) |
| 측정 각 정밀도 | 0.5" | 최대 측정 거리 | 3500m |

같다. 표에서 보는 바와 같이 정밀 기선의 공인거리와 재 관측거리 사이의 차이는 평균 6.48mm, 최대 15.25mm로써 정밀 검기선 표식 설치 후 지반의 침하 등으로 인해 검기선의 거리 변화량이 매우 크게 발생하였음을 알 수 있다. 이러한 기선의 변화량은 측량법 시행규칙(개정 2002.7.15)에서 제시하고 있는 거리측정기의 검사 기준(1, 2급)을 초과하는 것으로써 거리측정기의 정밀도를 검사하기 위한 정밀 기선거리로써는 부적합하다. 따라서 본 연구에서는 EDM 기계의 영점오차와 축척오차를 결정함에 있어서 정밀 기선의 공인거리를 사용하는 것은 그 오차량이 너무 크기 때문에 부적합하다고 판단하여 기선의 거리로써 재 관측한 결과를 사용하였다.

본 연구에서는 보정계수 결정을 위한 거리측정기로써 Topcon社의 GTS-701 토털스테이션을 사용하였으며, 제작사에서 제공된 사양은 표 4와 같다. 표 4에서와 같이 EDM 기계의 거리 측정 정밀도는 $\pm(Cmm+Sppm)$ 와 같이 표시하는데 이 중 C값을 영점오차(zero error 또는 constant error)라 하며, S값을 축척오차(scale error)라 한다. 영점오차는 거리 측정시 마다 동일한 크기의 영향을 주는 정오차이며, 축척오차는 관측거리에 비례하여 발생하는 정오차이다(Alireza, 2003). EDM장비의 일반적인 보정계수 또는 기계상수라 함은 영점오차와 축척오차를 일컫는다(Charles, 1977).

표 3. 정밀 기선의 재 관측거리 및 공인거리와의 차

| 시점 \ 종점 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 39.82078m ± 0.07mm | 138.76894m ± 0.04mm | 296.81587m ± 0.30mm | 425.30992m ± 0.39mm | 494.70289m ± 0.25mm | 504.98588m ± 0.38mm |
| 공인거리와의 차 | 4.52mm | -1.03mm | 0.93mm | -2.92mm | -7.09mm | -9.58mm |
| 2 | | 98.94957m ± 0.07mm | 256.99622m ± 0.23mm | 385.49071m ± 0.37mm | 454.88284m ± 0.33mm | 465.16625m ± 0.44mm |
| 공인거리와의 차 | | -6.97mm | -4.72mm | -9.01mm | -12.34mm | -15.25mm |
| 3 | | | 158.04745m ± 0.10mm | 286.54174m ± 0.22mm | 355.93413m ± 0.32mm | 366.21738m ± 0.30mm |
| 공인거리와의 차 | | | 1.45mm | -2.64mm | -6.23mm | -8.98mm |
| 4 | | | | 128.49543m ± 0.08mm | 197.88796m ± 0.27mm | 208.17103m ± 0.05mm |
| 공인거리와의 차 | | | | -5.23mm | -8.96mm | -11.53mm |
| 5 | | | | | 69.39363m ± 0.21mm | 79.67699m ± 0.04mm |
| 공인거리와의 차 | | | | | -4.83mm | -7.69mm |
| 6 | | | | | | 10.28470m ± 0.08mm |
| 공인거리와의 차 | | | | | | -4.20mm |

표 4. 기선 관측에 사용된 토털스테이션의 사양

| 항 목 | 사 양 | 항 목 | 사 양 |
|-----------|-----|------------|-------------|
| 망원경 배율 | 30× | 최소 거리 읽음 값 | 0.2mm |
| 최소 각 읽음 값 | 1" | 측정 거리 정밀도 | ±(2mm+2ppm) |
| 측정 각 정밀도 | 2" | 최대 측정 거리 | 2400m |

표 5. EDM 기계의 영점오차와 축척오차 결정을 위한 기선의 관측 거리

| 시점 \ 종점 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 39.821m ± 0.2mm | 138.770m ± 0.4mm | 296.815m ± 0.2mm | 425.311m ± 0.2mm | 494.701m ± 0.6mm | 504.987m ± 0.6mm |
| 2 | | 98.946m ± 0.2mm | 256.996m ± 0.3mm | 385.492m ± 0.4mm | 454.881m ± 0.5mm | 465.162m ± 0.4mm |
| 3 | | | 158.045m ± 0.2mm | 286.544m ± 0.4mm | 355.932m ± 0.2mm | 366.218m ± 0.2mm |
| 4 | | | | 128.496m ± 0.2mm | 197.886m ± 0.2mm | 208.172m ± 0.2mm |
| 5 | | | | | 69.392m ± 0.4mm | 79.678m ± 0.4mm |
| 6 | | | | | | 10.286m ± 0.2mm |

표 6. 기선거리와 관측거리의 차

| 종점 시점 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| 1 | -0.00022m | -0.00106m | 0.00087m | -0.00108m | 0.00189m | -0.00112m |
| 2 | | 0.00357m | 0.00022m | -0.00129m | 0.00184m | 0.00425m |
| 3 | | | 0.00245m | -0.00226m | 0.00213m | -0.00062m |
| 4 | | | | -0.00057m | 0.00196m | -0.00097m |
| 5 | | | | | 0.00163m | -0.00101m |
| 6 | | | | | | -0.00130m |

전자기파를 이용한 거리 관측은 기상에 의한 영향을 받으므로 거리 관측시의 온도, 습도, 기압을 함께 측정하여 관측거리를 보정해 주어야 한다. 본 연구에서는 기선 관측시의 온도, 습도, 기압을 측정하여 토털스테이션에 입력한 후, 기선을 관측함으로써 기상에 의해 발생할 수 있는 오차를 미리 보정하였다. 기선 관측에 사용된 반사프리즘은 토털스테이션과 동일한 제작사의 제품을 사용하고 제작사에서 제공한 반사프리즘 상수값을 사용함으로써 장비 제작사별 표준의 차이에 따라 발생할 수 있는 오차의 영향을 최소화하였다. 또한, 반사프리즘과 정준기는 하나만을 사용하여 기선표석간의 거리를 관측함으로써 장비에 따라 발생할 수 있는 오차의 영향을 최소화하였다. 관측거리의 복사열에 의한 시준오차를 최소화하기 위한 날씨와 시간대를 선택하여 기상조건과 반사프리즘 상수값을 입력한 후 수평거리를 5회 관측한 평균값으로부터 결정하였다(표 5).

5. 실험 결과

EDM 기계를 이용하여 정밀 기선의 거리를 관측한 결과, 각 기선표석간의 기선거리(표 3)와 관측거리(표 5) 사이의 차이는 표 6과 같다. 표 3의 각 기선표석간의 기선거리(D_p)와 표 6의 관측거리의 차(Δ_{ij})를 식 (7)에 입력하여 계산한 EDM 기계의 영점오차(C)와 축척오차(S) 및 EDM 기계 제작사에서 제공된 영점오차와 축척오차는 표 7과 같다.

표 7에서 보는 바와 같이 본 연구를 통하여 결정된 영점오차와 축척오차가 모두 제작사에서 제공한 영점오차와 축척오차의 값보다 작은 것을 알 수 있다. EDM 기계를 사용하여 거리를 관측할 경우 올바른 기계의 조작과 규정화된 절차를 준수하여 개인적 오차를 최소화하고 온도, 습도, 기압 등의 기상에 의한 오차를 보정하여 기계 오차를

표 7. 영점오차 및 축척오차의 비교

| | 실험결과 | 제작사 제공 |
|---------|---------|--------|
| 영점오차(C) | 1.22mm | 2mm |
| 축척오차(S) | 1.25ppm | 2ppm |

최소화 할 경우 제작사에서 제시하는 정밀도에 준하는 거리 관측결과를 얻을 수 있으며, 정밀 기선 관측결과로부터 결정된 영점오차와 축척오차를 제작사에서 제공하는 영점오차, 축척오차와 비교함으로써 EDM 기계의 유효성 여부를 판단할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 국토지리정보원에서 EDM 기계의 검교정을 위해 성균관대학교 내에 설치한 정밀기선표석간의 거리를 미국의 해양대기권국(NOAA)에서 규정한 정밀 검기선 관측 방법을 이용하여 정밀 재 관측함으로써 기선의 정밀도를 점검하였으며, 재 관측한 결과와 EDM 기계를 사용하여 관측한 기선거리로부터 최소자승법을 이용하여 EDM 기계의 보정계수인 영점오차와 축척오차를 결정하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 정밀기선표석의 재 관측 결과 기선의 오차가 평균 6.48mm, 최대 15.25mm로 나타났으며, 이는 측량법 시행규칙에서 제시하고 있는 거리측정기의 검사기준을 초과하는 크기이다. EDM 기계의 검교정을 위한 정밀기선은 측량에서 관측하는 모든 거리의 표준으로써 규정화된 방법에 의하여 주기적으로 재 관측하여 거리의 정밀도를 유지할 필요가 있으므로 설치 후 재 관측이 이루어지지 않은 전국의 모든 정밀기선을 재 관측함과 동시에 유지 방안에 대한 검토가 이루어져야 한다.
2. 기선거리와 관측거리의 차이로부터 영점오차와 축척

참고문헌

오차의 산정을 위하여 최소자승법의 이론을 적용함으로써 비교적 간단한 계산 방법에 의하여 두 오차를 동시에 산정할 수 있었다.

3. EDM을 이용한 거리 관측시 개인적 오차를 최소화하고 EDM 제작사에서 제공하는 반사프리즘과 표준 상수값을 사용하고 관측시의 온도, 습도, 기압을 측정하여 제작사에서 제공하는 표준 기상 보정식을 이용하여 관측 거리를 보정할 경우 제작사에서 제공하는 거리 측정 정밀도를 만족하는 관측 결과를 얻을 수 있었다.

4. 개정된 측량법에 의하여 현재 시행되고 있는 EDM 기계의 검사 기준은 EDM 기계 자체의 정밀도와는 상관없이 기선거리와 관측거리의 차이를 일정 범위 이내로 규정하고 있다. 이는 급속도로 발전하고 있는 측량장비의 정밀도를 점검하기 위한 기준으로써는 부적합하며 장비 제작사에서 제공하는 장비 자체의 정밀도에 비례하는 검사 기준을 마련하여 측량 및 정밀 과학 계측 분야에 EDM 기계를 활용할 수 있도록 하여야 한다.

- 박경식, 이현직, 함창학 (2003), 시설물측량에서 무프리즘 토탈스테이션 활용성 연구, 한국측량학회지, 제 21권 제 2호, pp. 156.
- 박운용, 김희규, 권현(1990), 삼변측량에 의한 수평위치 결정의 정확도 향상에 관한 연구, 한국측지학회지, 제 8권 제 2호, pp. 35.
- 안철호, 최재화 (1992), 일반측량학, 문운당, pp. 204-210.
- 유복모 (1995), 측량학원론, 박영사, pp. 212-220.
- 이계학 (1990), 측각과 측기를 고려한 폐합트레버스망의 동시조정, 한국측지학회지, 제 8권 제 1호, pp. 51.
- 법률 제6532호, 측량법, 개정 2001.12.19, 제6조의2(측량기기의 검사)
- 건설교통부령 제322호, 측량법시행규칙, 개정 2002.7.15, 제3조의2(성능검사의 대상 및 주기), 제3조의4 (성능검사의 방법 등)
- Alireza Amiri-Simkooei (2003), Least-Squares Formula for Zero Error of Electromagnetic Distance Measuring Instruments, *Journal of Surveying Engineering*, Vol. 129, No. 4, pp. 136-140.
- Charles J. Fronczek (1980), Use of Calibration Base Lines, NOAA Technical Memorandum NOS NGS-10.
- E. N. Emenike (1982), A Simplified Approach to Accurate EDM Instrument Calibration, *Journal of Survey Review*, Vol. 26, No. 24, pp. 273-278.
- Mendenhall, William(1969), Introduction to Probability and Statistics, *Wadsworth Publishing Company, Inc.* pp. 189-220.
- Paul R. Wolf (1993), Elementary Surveying, 9th edition, *HarperCollins College Publishers*, pp. 86-99.
- Wolfgang Torge (2001), Geodesy, 3rd edition, Berlin-New York, pp. 96-103.

(접수일 2004. 5. 17, 심사일 2004. 6. 21, 심사완료일 2004. 6. 24)