

데오드라이트를 이용한 자동 시준에 의한 측정 정확도에 관한 연구

이병기*, 권재욱, 윤용식 (한국항공우주연구원)

Study on Measurement Accuracy by Auto-Collimation using Theodolite

Byoung-Gi Lee, Jae-Wook Kwon, Yong-Sik Yoon (KARI)

ABSTRACT

The auto-collimation by using theodolite has been accomplished for the straight measurement and the horizontality adjustment. But according to the procedure of auto-collimation or composition of the measurement equipment, an error of the measurement can be occurred.

Therefore, this paper accomplished the research for enhancement of measurement accuracy according to measurement procedure of auto-collimation. For that, it has been compared the study of the combination of several precise measurement equipment with using of several theodolite.

Key Words: Theodolite(데오드라이트), Autocollimation(자동시준), Alignment(정렬), Reference cube(기준 면경), Target mirror(조준 거울)

1. 서론

데오드라이트를 이용한 시준(collimation)은 일반적으로 정밀 가공이나 측정을 위한 직진도 측정 등에 많이 사용되고 있는 방법 중의 하나이다. 이 방법에서 시준시 데오드라이트로부터 투사되는 빛을 측정 대상물에 정반사시켜 데오드라이트에서 눈금을 일치 시킨 각을 읽게 되면 측정 대상물의 설치 각을 얻을 수 있는데 이를 자동시준(auto-collimation)이라 한다. 따라서 이 측정 값을 이용하면 항공기나 위성체의 자세 제어 센서의 정확한 설치 각과 위치 좌표를 구할 수 있다.

자동 시준을 측정하는 방법으로 3 대 혹은 4 대 이상의 데오드라이트를 이용하는 방법과 데오드라이트를 포함하는 여러 가지 정밀 측정 장치의 조합에 의한 측정 시스템을 구축하는 방법 등이 있다 [2]. 데오드라이트만을 사용하는 측정은 특성 값이 다른 3 대 이상의 데오드라이트를 사용하는 경우에 측정값에 대한 신뢰도가 저하될 수 있다. [3,4].

따라서, 보다 정밀한 측정을 위하여 데오드라이트의 사용 대수를 줄이고, 측정 대상물을 보다 안정된 위치에서 측정 가능한 측정 시스템을 구축

하여 측정을 수행하여야 한다.

본 논문에서는 4 대의 데오드라이트를 사용하는 자동시준 측정 방법과 정밀 측정 장치의 조합에 의한 자동시준 측정 방법에 따른 측정 결과를 비교하여 요구되는 정밀도에 따라 사용 가능한 방법을 연구하고자 하였다.

2. 측정 원리

2.1 데오드라이트의 구조

데오드라이트(theodolite)는 0.1 arc-sec 의 분해능을 가진 인코더(encoder)를 내장하여 수평과 수직각을 측정하고 자체의 광원을 가진 디지털 장비이다.

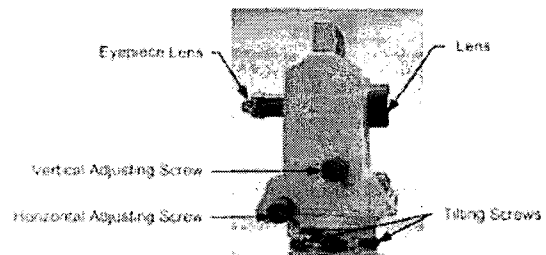


Figure 1. Structure of Theodolite

Figure 1.에서와 같이 데오드라이트는 대안렌즈 및 대물렌즈를 가진 망원경부(telescope), 인코더가 내장되고 표적의 초점을 맞추기 위한 조절기 및 계기 조작판이 있는 본체부와 수평 및 수직을 조절하는 장치를 가진 받침부로 구성되어 있다.

2.2 자동 시준

자동 시준(Auto-collimation)은 Figure 2.와 같이 대상물에 부착된 면경과 데오드라이트의 시준선(Line Of Sight)이 면경에 수직으로 측정자에게 반사되어 오는 것을 의미한다. 빛이 측정 대상 면경에 정확하게 수직이 되면 데오드라이트의 광원으로 부터의 입사각과 측정 대상 면경으로부터의 반사각은 Figure 3.과 같이 입사 및 반사 십자선이 데오드라이트 측정 범위에 들어오고 이를 데오드라이트 수평 및 수직 조절 장치를 이용하여 일치시키면 0 이 된다. 이를 자동 시준이 되었다고 하며 이것은 면경에 데오드라이트가 정확히 수직되게 위치하고 있다는 것을 의미한다.

3. 자동시준 측정 개념

3.1 데오드라이트를 이용한 자동 시준

데오드라이트를 이용한 자동 시준은 측정 대상물에 부착된 기준 입방 면경(reference cube mirror)과 센서에 부착된 입방 면경 사이의 상대각도를 여러 대의 데오드라이트를 이용하여 측정하는 방법이다.

측정에는 Figure 4. 에서 보듯이 데오드라이트 3 대 또는 4 대를 사용한다. 3 대를 사용할 경우에는 T2 가 T1 과 상호시준 후 T4 로 이동하여 위치하게 된다.

기준 입방 면경의 수직한 두 방향 (T1, T2)과 센서에 부착된 입방 면경의 수직한 두 방향(T3, T4)에 각각 2 대의 데오드라이트를 자동 시준이 가능한 곳에 위치 시킨 후 다음과 같은 절차로 측정한다.

- (1) T1 과 기준 면경 Y 면, T2 와 기준 면경 X 면을 각각 자동 시준한 후 방위각을 0° 로 설정한다.
- (2) T1 과 T2 간의 상호 시준 후 두 데오드라이트의 수평 및 수직각을 기록한다.

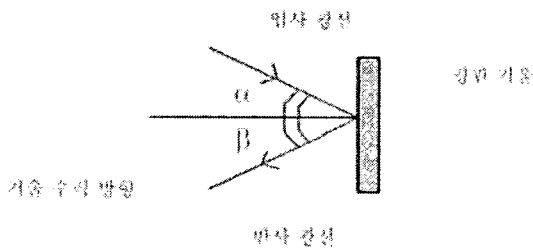


Figure 2. Auto-Collimation

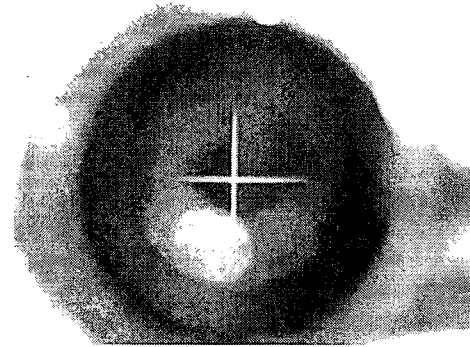


Figure 3. Auto-collimation

(3) 위의 측정 데이터를 바탕으로 기준 면경의 X 면과 Y 면 사이 각을 계산한 후 오차 허용치를 만족시키지 못할 경우 (1)번 부터 다시 측정한다.

(4) T4 와 센서의 면경 X 면, T3 와 센서 면경 Y 면을 각각 자동 시준한 후 방위각을 0° 로 설정한다.

(5) T4 와 T3 의 상호시준 후 두 데오드라이트의 수평 및 수직각을 기록한다.

(6) 위의 측정 데이터를 이용하여 센서 면경의 X 면과 Y 면 사이 각을 계산한 후 오차 허용치를 만족시키지 못할 경우 (4)번부터 다시 측정한다.

(7) T1 과 T4 간의 상호 시준 후 수평 및 수직각을 기록한다.

(8) 기준 면경과 센서 면경 사이의 자동시준 각을 본 논문에서 제시한 방법으로 계산한다.

(9) 위 과정을 반복한다.

위와 같은 과정을 통한 측정으로 기준 면경과 센서에 부착된 측정용 면경 사이의 상대 좌표값을 구할 수 있다.

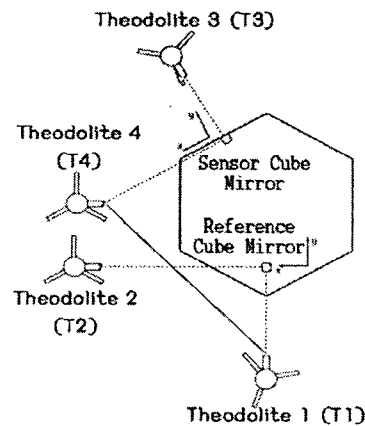


Figure 4. Measurement position Of Theodolite

3.2 자동시준 측정 시스템을 이용한 측정

보다 정확한 측정을 위해서는 Figure 5와 같은 테오드라이트, 회전 테이블(rotating table), 전자식 수평계(digital inclinometer), 기준 면경대(reference mirror), 수직 이동대(vertical tooling bar) 및 데이터 처리 시스템(data acquisition system) 등을 사용한 측정 시스템을 구축한다. 이 방법은 한 대의 테오드라이트로 측정 대상 면경이 회전 테이블 위에서 회전하고 테오드라이트가 수직 이동대 상에서 수직 이동함으로써 측정 대상물의 측정 면경에 자동시준한다.

자동시준 측정에 필수 장비인 테오드라이트, 회전 테이블 그리고 수직 이동대 등은 방진대에 설치되어 진동이 전달되지 않도록 하였다.

그리고 측정 대상 면경이 설치되어 원하는 방향으로 회전시켜주는 회전 테이블은 내부에 각도 측정 정확도가 0.5 초인 인코더(encoder)를 내장하여 회전 각도 값이 데이터 처리 시스템으로 전달되도록 하였다. 특히, 회전 테이블은 측정 대상물이 지구 중력의 반대 방향으로 정확하게 위치하고, 측정 대상물 회전 시 편심이나 기울어짐이 없도록 하기 위하여 측정 대상물을 설치하기 전에 전자식 수평계를 사용하여 $\pm 15\text{arc-sec}$ 의 정확도로 회전 테이블의 수평을 조정하였다. 또한, 회전각도 및 회전축의 정확도를 확인 및 조정하기 위해 테오드라이트 등의 측정기기를 사용하여 테이블 상판의 편평도를 측정하여 확인하였다.

그리고 테오드라이트가 수직 이동용 측정대에서 각 센서 및 장치의 자동시준을 위하여 상하 방향으로 이동할 때 수평각의 기준을 잡아주도록 별도의 기준면경 대를 사용하였다.

또한 데이터 처리 시스템은 테오드라이트, 회전 테이블 및 전자식 수평장치와 각각 RS-232 선으로 연결되어 각 장치로부터 측정되는 값을 계산하여

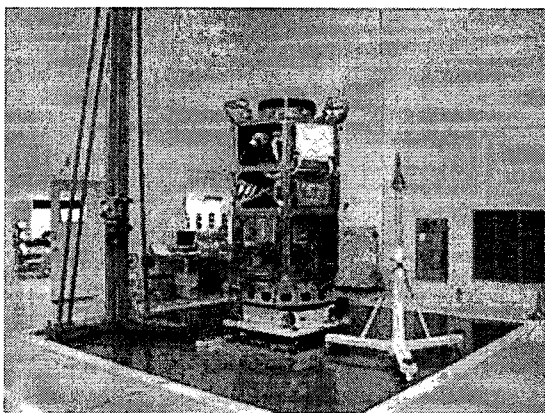


Figure 5. Alignment Measurement System

기준입방면경을 기준으로 한 최종 좌표 값을 계산한다. 또한 자동시준 측정 중 테오드라이트와 측정 대상물에 설치된 면경과의 얼라인먼트를 위하여 회전 테이블을 0.1° 까지 조정할 수 있다. 그리고 측정 중에 발생할 수 있는 진동으로 인한 오차의 감소를 위해 전자식 수평계를 통하여 얼라인먼트 측정 중 측정 대상물의 수평을 수시로 확인할 수 있다.

이 측정 방법은 다음과 같은 절차에 따라 측정을 반복한다.

- (1) 수직 이동대 위에 설치된 테오드라이트가 자동 시준 가능한 위치로 회전 테이블 위의 측정용 면경이 위치하도록 회전 테이블을 회전시킨다.
- (2) 테오드라이트가 자동 시준하기 위해 수직 이동대 위의 테오드라이트를 수직 이동시킨다.
- (3) 자동 시준을 완료되었으면 데이터 처리 시스템을 이용하여 테오드라이트와 회전 테이블로 부터 측정값을 전송 받는다.
- (4) 수평각 기준을 위해 설치한 기준 면경대에 테오드라이트를 자동 시준 시켜 데이터 처리 시스템이 수평각을 계산하도록 한다.
- (5) 위 과정을 반복한다.

4. 측정 데이터의 고찰

테오드라이트를 이용한 자동시준 측정과 측정 시스템을 이용한 자동 시준 측정 간의 측정 정확도를 비교하기 위하여 Figure 6. 에서 볼 수 있는 측정용 입방 면경의 이웃하는 두 면을 자동시준한 측정 데이터를 통해 시선 벡터를 구하였다. 이 시선 벡터는 입방 면경의 두 면에 수직인 벡터이기 때문에 두 벡터간 각도를 계산하면 90° 가 되어야 한다. 따라서 벡터간 각도 계산 결과가 90° 에서 벗어나

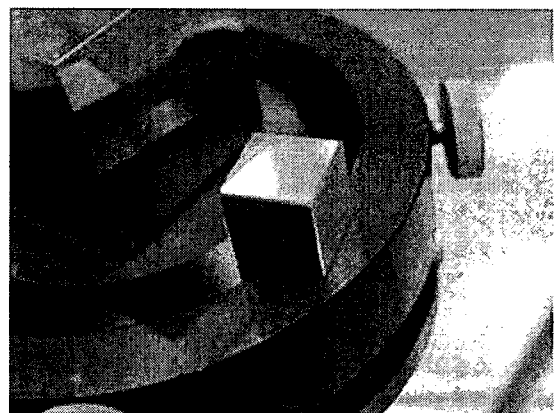


Figure 6. Alignment Cube

는 오차를 구하여 두 측정 방법에 대한 오차를 확인하고자 하였다. 그 결과를 Table 1.에 나타내었다.

Table 1. Alignment Error

	Theodolite	Measure System
1	0.0044	0.0012
2	0.0431	0.0022
3	0.0033	0.0016
4	0.0336	0.0022
5	0.0111	0.0031
6	0.0461	0.0005

Table 1. 에서와 같이 데오드라이트를 이용한 자동시준 측정에서의 오차가 측정 시스템을 이용한 자동 시준 측정 오차에 비해 10 배 정도의 오차를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

위 측정에 있어 두 방법 간의 측정 조건 즉, 측정 대상물과의 거리, 그리고 데오드라이트의 설치된 바닥 면의 강도 등의 조건이 일치하지 않는다. 따라서 데오드라이트를 이용한 측정과 측정 시스템을 이용한 측정 간의 측정 방법의 차이에 기인한 오차가 10 배라 할 수 없다. 하지만 실제 측정에 있어 측정 대상물을 실측한 데이터인 위의 결과는 실제 측정 대상물을 측정 함에 있어 발생할 수 있는 모든 오차를 감안한 오차가 10 배라는 것을 보여준다.

5. 결 론

측정 결과로부터 데오드라이트를 이용한 자동시준 측정 방법과 자동 시준 측정 장치를 이용한 측정 방법을 비교하고 두 측정 방법의 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 데오드라이트를 이용한 자동시준 측정은 그 오차가 0.02° 수준이며 자동시준 측정 시스템을 이용한 자동시준 측정의 오차는 그 1/10 인 0.002° 수준으로 측정 가능함을 알 수 있었다.

2. 데오드라이트를 이용한 자동시준 측정 방법의 측정 오차가 큰 것은 측정 대상물과의 측정 거리, 데오드라이트가 측정되는 지면의 강도와 자동시준이 반복 사용되면서 발생하는 계산 오차 및 측정자의 측정 오차가 중복으로 인한 오차 요인에 의한 것으로 판단된다.

3. 그러나 자동시준 측정 시스템을 이용한 방법의 오차는 측정 센서의 안정된 위치 및 측정 절차의 간소화로 인하여 그 편차가 일정하고 상대적으로 작은 것임을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 윤용식, 박홍철, 손영선, “데오드라이트를 이용한 위성체 얼라인먼트 측정에 관한 연구”, 2003 년 추계항공우주학회
- [2] A. Greenbaum, "Multi-Spectrum Camera APS Alignment", TR-4963-6000
- [3] 박홍철, 윤용식, “데오드라이트 시스템을 이용한 위성 안테나 레인지 얼라인먼트 측정”, 2004 년 한국항공우주학회지
- [4] 윤용식, 이동주, 손영선, “데오드라이트 시스템의 측정 정확도에 대한 연구”, 2004 년, 한국공작기계학회 논문집