韓國精密工學會 2001年度 春季學術大會論文集 pp.131~134 KSPE 01S029

위성체 구조시험 모델의 3차원 정밀 측정

윤용식*, 이중엽, 조창래, 이상설(한국항공우주연구원 우주시험연구그룹)

3-Dimensional Precision Measurement of Spacecraft Structure Test Model

Y. S. Yoon, J. Y. Lee, C L. Cho, S. S. Lee(Space Test Dept., KARI)

ABSTRACT

The three-dimensional precision measurement technology for industry product of middle and/or large scale has been developed Theodolite measurement system which is one of the technology is widely used in aerospace industry. This paper describes measurement method and results for spacecraft structure test model by using the measurement system. And structural stability for STM is desribed through the comparison between design values and measured values.

Key Words : Alignment Measurement(정렬 측정), Theodolite(데오도라이트), Spacecraft(위성체), Structure Test Model(구조시험모델), Collimation(시준), Solar Array Panel(태양 전지판), Battery Panel(배터리 패널)

1. 서론

. 정밀 산업 기기의 발달에 따라 정밀 조립기술과 이에 따른 정밀 측정기술이 요구되고 있다. 현재, 인공위성, 항공기, 원자력발전소의 원자로, 고속철도 차량 등 중· 대형 정밀 산업 기기의 경우 설계 시 요구되는 제작 정밀도는 0.1 mm 이하를 요구하고 있는 실정이다. 이러한 정밀도를 만족시키기 위해서는 특정 정밀 측정 기기를 이용하여 조립 및 제작 시 대상물을 수시로 측정함으로써, 이상 유무를 확인하여야 한다.

지금까지 개발되어 사용되고 있는 중· 대형 구조물의 비접촉식 3차원 정밀 측정을 위한 장비로는 디지털 데오도라이트(Digital Theodolite), 사진 측량기(Photogrammetry System), 레이저 추적기(Laser Tracker), 레이저 스캔 시스템(Laser Scanning System) 등이 있다. 이들 측정 장비는 0.1 mm 이하의 정밀 측정이 가능하고, 각 장비의 장· 단점에 따라 적용되는 측정 분야가 다양해지고 있다[1].

이 가운데 디지털 데오도라이트는 광학 면경(Optical Mirror)에 대한 오토 콜리메이션(Auto-collimation)을 통하여 정밀 각도 측정이 가능하고, 불특정 측정 대상물에 대한 비접촉식 3차원 정밀 측정이 가능한 장비이다. 즉, 측정 대상물에 측정 장비가 접근하기 어렵거나 민감한 표면 등으로 인하여 접촉식 측정 장비의 사용이 불가능한 정밀 측정을 수행해야 할 경우에 많이 사용된다[2].

항공· 우주 분야에서 데오도라이트를 이용한 측정 시스템의 활용 사례를 살펴보면, 인공위성에 탑재되는 센서 및 자세 제어 센서는 기준 입방 면경(Reference Cube Mirror)의 상대 각도에 따라 정렬이 요구되므로 정렬 측정(Alignment Measurement)을 수행하여야 한다[3,4]. 이때 요구되는 측정 정확도는 0.1° ~ 0.72° 로 필요한 경우 심(Shim) 작업을 수행하기도 한다. 그리고, 항공기의 비행 시험을 모사하는 풍동 시험시 측정 대상물의 풍속 변화에 따른 시편의 변화을 측정에 사용하고 있으며, 이 측정시스템의 적용을 위한 활용 분야[5]가 계속 개발되고 있다.

본 논문에서는 디지털 데오도라이트를 사용하는 비접촉식 3차원 정밀 측정 시스템을 이용하여 위성체 형상 측정에 적용하고자 하였다. 위성체가 발사체에 탑재되어 우주공간까지 운반되는 동안의 극심한 소음과 진동 그리고 우주궤도에 진입한 후 고진공(10^{-6} torr)과 온도 편차(-150℃~+120℃)에 의한 구조적 변형에 대한 구조적 안정성이 있어야 하므로 발사 전 지상에서 이러한 일련의 시험을 거친다. 이

때 시험 수행 전· 후에 구조적으로 민감한 부분에 대하여 3차원 정밀 측정을 수행하여야 한다 따라서 데오도라이트 정밀 측정 시스템을 이용하여 위성체 구조시험 모델의 제작이 설계 정확도에 따라 제작되었는지를 확인하고, 위성체의 주요 탑재 장비인 태양 전지판의 형상 측정 및 위성체 배터리 방열판의 설치 위치 확인을 위한 측정을 수행하였다 또한 이 결과를 통하여 현재 개발하고 있는 위성체 조립의 확인 및 형상 측정을 위한 측정 방법을 수립하였다

2. 측정 시스템의 원리

2.1 데오도라이트의 측정 원리

방향좌표 측정의 필수 장비인 데오도라이트는 망원경과 같은 구조로 되어 있고, Fig. 1 에서와 같이 수직 축(Vertical Axis)을 기준으로 하여 수평각을 측정하며 수평 축(Horizontal Axis)을 기준으로 하여 수직 각을 측정할 수 있는 장비다. 데오도라이트의 높이 조절기(Tilting Screw)를 조정하여 데오도라이트의 수직 축이 중력 반대방향이 되도록 함으로써 수직각의 영점 기준을 설정한다 수평각의 영점은 사용자 임의로 정의할 수 있다[6].

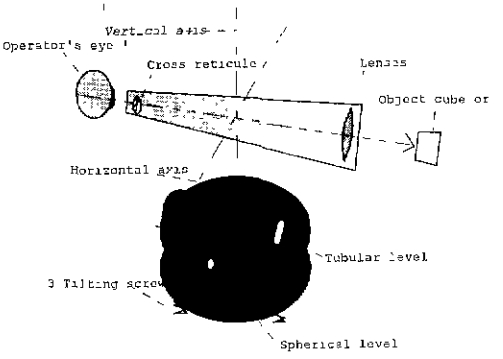

Fig. 1 Principle of theodolite measurement

2.1 3차원 정밀 측정 시스템의 원리

Fig 2에서와 같이 두 개 이상의 데오도라이트가 3차원 공간의 점들을 측정하기 위한 위치에 고정된다. 먼저, 두 데오도라이트를 마주 보면서 서로 기준을 맞추고, 스케일 바(Scale Bar)에 두 개 이상의 점을 동시에 측정하여 표준 길이를 설정한다 다음에 이들 데오도라이트가 동시에 측정 점을 맞추어 시준선(line of sight)이 3차원 공간의 측정 점을 교차하면서 삼각형이 형성된다. 이때 측정 점은 수평 각 α 1과 α 2로, 수직 각 β 1과 β 2로 정의된다 이 값들은 Instrument 1을 기준으로 하는 3차원 좌표 값들로 변환된다

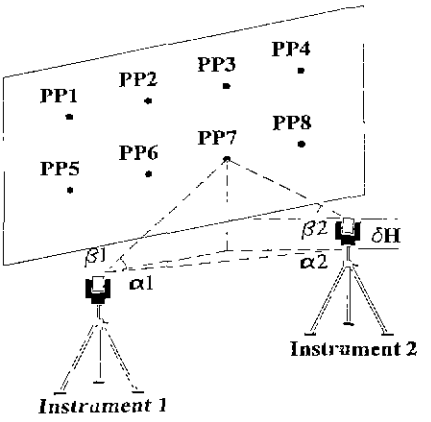

Fig 2 Principle of 3-D measurement system

3. 측정 방법

3.1 측정 점의 결정

측정을 수행하기 전에 위성체 형상의 안전성 및 조립 확인이 가장 요구되는 부분을 결정하여야 한다. 이에 따라 Fig.3과 같이 위성체 탑재 평판에서 버스 모듈의 위 평판, 버스 모듈 위 평판에서 아래 평판 그리고, 버스 모듈의 아래 평판에서 추진 모듈 평판까지 각 평판 사이의 거리를 측정할 것을 결정하였고, 태양 전지판의 형상 및 접혀진 상태에서의 정렬 상태를 확인할 것을 결정하였다. 또한 Fig. 4와 같이 위성체 배터리가 설치되는 배터리 패널(Pannel)에열 확산 판의 설치 위치를 확인하고자 하였다

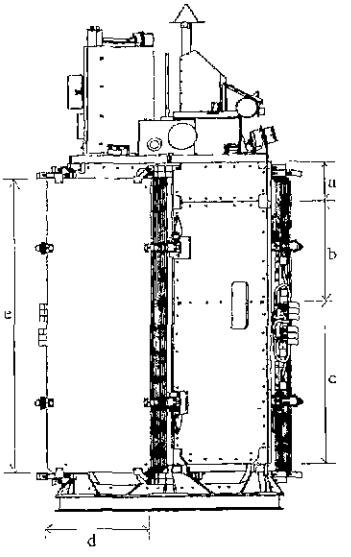

Fig. 3 Measurement items of STM

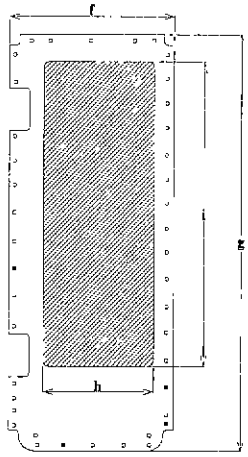

Fig 4 Measurement items of Battery Module

3.2 측정 준비

3차원 정밀의 측정 오차를 최소화하기 위한 가장 중요한 작업 중에 하나는 측정 대상물의 수평 혹은 수직을 맞추는 것이다 이를 위하여 측정 전에 스프링 댐퍼(Damper)를 갖춘 내진대(Seismic Mass) 위에 회전 테이블(Rotation Table)을 설치하고, 회전 테이블의 4개 조정 족(Adjustable Leg)을 조정하여 수평을 맞추었다. 이때 라이카(Leica)사의 디지털 자동 수평계를 이용하여 회전 테이블이 회전하면서도 0 5 초(Second Degree)까지 수평이 맞추어지도록 하였다.

측정에 사용된 데오도라이트는 라이카사의 T-3000으로 각도는 0 5 초, 데오도라이트에서 측정 대상물까지의 거리가 1 m ~ 4m의 거리에서 0.04 mm의 측정 정확도를 갖고 있다. 측정 시작전 데오도라이트에 대한 교정 확인 작업을 수행하였고, 지면과완전 고정되어 유동이 없는 지지대에 설치되었다.

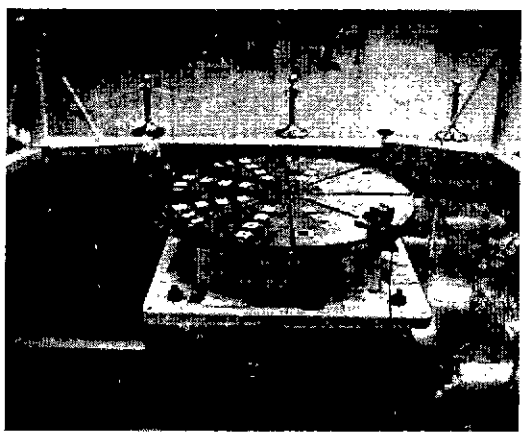

Fig 5 Adjustment of rotation table

다음에 측정에 사용되는 데이터 처리 시스템의 이상유무를 확인하였다. 이 시스템은 라이카사의 Axyz 시스템으로 데오도라이트와 RS232선과 연결되어 각 데오도라이트에서 측정된 3차원 측정값을 기준자(Scale Bar), 각 데오도라이트의 방향 값들을 모두 조합하여 측정 점의 3차원 좌표 값으로 자동처리하고 저장할 수 있다

3.3 측정

위성체 구조시험 모델을 회전테이블 위에 설치하고, 이미 결정된 측정 점 위에 일련 번호가 매겨진 타켓(Target)을 붙인 후 Fig. 6와 같은 순서로 측정을 수행하였다. 측정은 측정 준비 단계인 방위 측정(Orientation)을 먼저 수행하고, 각 데오도라이트로 일련 순서에 따라 타켓 점에 초점을 맞추어 측정을 수행하였다. 측정된 데이터는 각 측정 점의 3차원 좌표 값으로 변환하여 점과 검 사이의 거리를 계산하여 최종 측정값을 구하였다. 특히, 측정 오차를 최소화하기 위하여 측정 시간 동안 이미 수평과 수직이 맞추어진 데오도라이트를 이동시키지 않고 회전 테이블만을 회전시켜 측정을 수행하였다(Fig. 7). 측정은 측정 오차를 줄이기 위하여 3회에 걸쳐 반복 수행하였다.

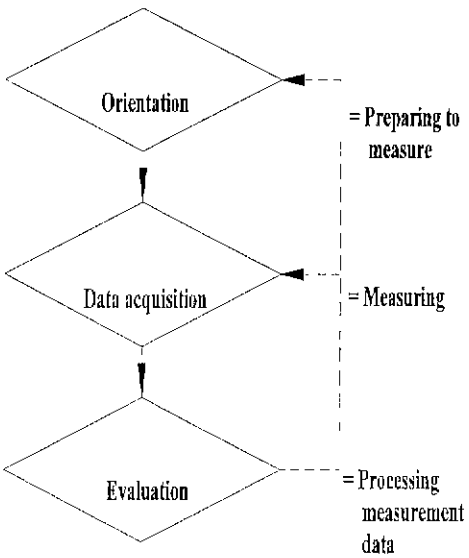

Fig 6 Measurement Procedure

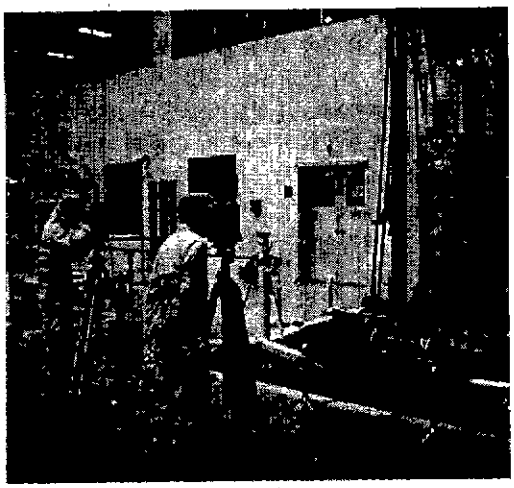

Fig. 7 3-Dimension Measurement

4. 측정 결과

위성체 구조 시험 모델을 측정한 결과가 Table 1에 나타나 있다. 이 결과치는 3회에 걸쳐 측정된 결과를 산술 평균한 값으로 설계 요구 정확도에 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한 태양 전지판의 정렬 상태와 위성체 배터리 패널에 탑재된 열 확산 모듈의 조립 상태도 설계 요구 범위에 있는 것을 알 수 있어 위성체 구조 시험 모듈의 제작과 탑재 모듈의 조립이 성공적으로 수행되었음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문을 통하여 데오도라이트 측정 시스템을 이용한 위성체 3차원 정밀 측정의 방법과 절차를 수립할 수 있었다. 그리고 측정된 데이터를 이용하여 보다 정확한 위성체 조립 및 구조 형상의 변형에 대한 데이터를 얻을 수 있었다. 또한, 측정된 데이터를 이용하여 원하는 형상의 값으로 처리하는 능력도 축적할 수 있었다. 그러나, 이번 측정을 통하여 측정점에 부착되는 측정용 타켓(Target)의 부착 방법과 짧은 시간 안에 많은 측정 점을 측정할 수 있는 측정 방법의 개선이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 그리고, 볼트 구멍 등 불특정 형상에 대한 측정 방법의 개발도 요구되고 있다. 앞으로 본 측정 시스템을 이용한 측정 방법과 절차의 개선을 통하여 항공· 우주 분야뿐만 아니라 산업응용 분야에서의 3차원 정밀 측정에 대한 적용 범위를 넓히고자 한다.

Table 1 Comparison between design value and measured value

	Measurement Item	Design Value & Accuracy(inch)	Measurement Mean Value(inch)
a	Distance between payload platform to nadir platform	7.130 ± 0.010	7.127
b	Distance between nadir platform to central platform	18.820 ± 0.010	18.815
c	Distance between central platform to propulsion platform	28 480 ± 0.010	28 482
d	Width of solar array panel	19 75 ± 0.03	19.76
e	Length of solar array panel	53 0 ± 0.03	52 99
f	Width of battery shear panel	17.83 ± 0.03	17.83
g	Length of battery shear panel	47.20 ± 0.03	47 19
h	Width of thermal expansion panel	11.50 ± 0.03	11.49
i	Length of thermal expansion panel	34.640 ± 0.010	34 648

참고문헌

1. 이주진, 윤용식, 최종연, "3차원 좌표 측정을 위한 광학측정 기기 및 활용," 기계저널, 제40권, 제5호, pp 65-68, 2000
2. K H. Munch, H. Baertlein, "Dimensional Measuring Techniques in the Automotive and Aircraft Industry", Leica Practice Report, 1993.
3 Yong-Sik Yoon, "KOMPSAT FM Alignment Procedure", KARI, GX-21S-10, 1998.
4. 최종연, 윤용식, 이주진, "위성체 얼라인먼트 측정방법 및 결과", 추계학술발표회 논문집, pp 515-518, 1998.
5. Scott C. Sandwith, "Gageless Tool Building with Computer-Aided Theodolites", Leica Practice Report, 1993.
6. P. Signoret, F. Guillon, "KARI AMS User Manual", ESIC, pp.6-9, 1997.