

위성용 탑재센서 설치면의 편평도 측정

Flatness Measurement for the Interface of Satellite Sensor

*김지영¹, #윤용식², 최준민³, 유준⁴

*K. J. Young¹, #Y. S. Yoon(ysoyon@kari.re.kr)², J.M. Choi³, J. Lyou⁴

^{1, 2, 3} 한국항공우주연구원 위성시험실, ⁴ 충남대학교 전자공학과

Key words : 3-Dimensional Precision Measurement, Photogrammetry System, Coordinate Measurement, Flatness, Residual of Displacement

1. 서론

인공위성은 지상으로부터 수백 혹은 수천 km 떨어진 우주공간에서 운용된다. 이 때, 인공위성에 설치되는 지구지향성 탑재센서의 경우 설치 혹은 조립 오차가 수 μm 발생하게 되면, 우주공간에서 탑재센서에 의한 측정 혹은 운용 결과값은 지상에서 데이터 분석 시 수 km의 오차를 가질 수 있다. 따라서, 위성체에 설치되는 탑재센서의 정밀 조립을 위하여 센서가 설치되는 평판면의 편평도(flatness)와 조립 완료 후 센서가 위치된 좌표의 정밀 측정이 필수적이다.

본 논문은 3차원 정밀 측정 장비인 사진 측정 시스템(photogrammetry system)을 이용하여 인공위성에 설치되는 탑재센서 설치면의 편평도 측정에 대한 것이다. 본 논문에서 다루는 위성 탑재센서가 장착되는 설치면에 대한 편평도의 요구조건은 $\pm 50 \mu\text{m}$ 이내이다. 본 연구를 수행한 결과, 수직 방향(Z방향) 측정치를 기준으로 한 측정값이 요구되는 편평도 범위 이내에 있음을 확인할 수 있었다.

2. 사진 측정 시스템

2.1 사진 측정의 원리

사진 측정 시스템은 사진을 촬영하여 그 이미지로부터 대상물의 3D 좌표 및 형상을 얻어내고 분석할 수 있는 산업용 고정밀 영상측정 시스템이다. 사진 측정의 기본원리는 '삼각측량' 기법에 있다[1]. 측정하고자 하는 대상물을 중심으로 서로 다른 여러 위치에서 최소한 2장 이상의 사진을 촬영함으로써 만들어지는 측정 포인트와 사진기 촬영위치에 대한 각도를 이용하여 여기에서 발생하는 교차점이 바로 3D 위치가 되는 원리이다. 이렇게 2차원 평면의 사진을 중복하여 합성함으로써, 3차원 형상으로 바뀌는데, Fig. 1은 이와 같은 개념을 그림으로 보여주고 있다. 이 3차원 형상은 데이터 처리 시스템인 소프트웨어를 이용하면 촬영된 이미지를 갖고 사진기의 촬영 위치를 자동으로 찾아내게 된다. 즉, Fig. 2와 같이 측정 포인트들의 사진기 촬영위치에 대한 각도와 초점거리에 의해 좌표가 생성되어 대상물의 정확한 위치를 알게 되는 것이다.

2.2 사진 측정 시스템의 구성

측정에 사용한 장치는 Fig 3과 같이 측정용 특수사진기와 데이터 처리 시스템인 V-STARS software, 타겟(target), 오토바(auto-bar), 스케일바(scale bar)로 구성되어졌다. 타겟은 광 반사 재질로 된 스티커식 타겟으로, 사진 촬영 후 데이터 처리 시



Fig. 3 Photogrammetry system

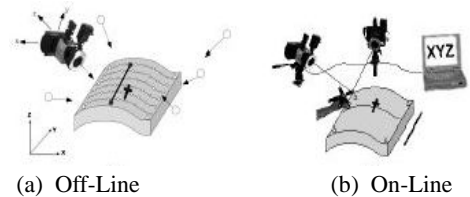


Fig. 4 Measurement method of photogrammetry

특정위치산출 및 자동 프로세싱을 할 수 있게 해준다. 특히 coded target은 프로그램 내에서 많은 사진을 자동으로 연결해주며, 사진기의 촬영위치를 자동으로 역산출해 주는 역할도 같이 수행하게 된다. 오토바는 좌표자동인식 타겟으로 초기 좌표계를 형성해 준다. 스케일 바는 사진측정에서 거리 및 좌표를 알기 위한 기준자로서, 측정 대상물 옆에 놓고 사진을 찍으면 이 기준치수로 인하여 대상물의 정밀한 크기를 알 수 있게 해준다.

2.3 사진 측정 시스템의 측정 방법 및 측정 정확도

사진 측정 시스템은 Fig. 4(a), (b)와 같이 Off-Line 과 On-Line 2가지 방법이 있다[2]. Off-Line의 경우는 사진 측정 시스템 1대를 사용하여 사진 촬영 후 데이터 처리 시스템에서 데이터를 확인하는 것이고, On-Line의 경우는 2대의 디지털 사진기를 사진 촬영하여 직접 데이터 처리 시스템과 연결함으로써 실시간으로 측정된 데이터의 정보를 확인할 수 있는 측정 방법이다. Off-Line으로 사진기 1대를 사용했을 때의 측정 정확도는 $\pm 4 \mu\text{m} + 4 \mu\text{m}/\text{M}$ 이다. 여기에서 M은 대상체와 사진기간의 거리이다. 대상체가 아무리 크다고 해도 가까이에서 중첩하여 촬영하므로 일반적으로 이 거리는 2~3M를 벗어나지 않는다. 즉, 3M의 거리에 있는 대상체를 $\pm 0.016\text{mm}$ 까지 측정할 수 있는 정확도를 가지고 측정할 수 있다. 이러한 정확도에 영향을 미칠 수 있는 요소들은 사진기 해상도, 대상물의 크기, 사진 수, 사진촬영위치 등이 있다.

3. 측정 절차

3.1 타겟(target) 및 부속품 설치

측정의 처음 단계로써, 타겟을 측정 대상물이나 대상물 주위에 설치한다. 본 연구를 위하여 인공위성에 설치되는 탑재센서 설치면의 편평도를 측정하기 위해 타겟의 설치를 Fig. 5와 같이 구성하였다. 설치면에 타겟 및 오토바, 정밀하게 고정된 2개의 스케일 바를 설치하였다. 세 부분의 설치면에 각각 8 개와 플랫폼 상에 12 개의 타겟을 사용하였다.

3.2 이미지 측정

Fig. 6은 측정 대상 주위로 서로 다른 위치에서 촬영한 모습이다. 촬영 위치는 임의로 다양한 위치와 다양한 각도에서 가능한 많이 중복이 되도록 촬영하였다. 촬영한 18개의 사진이 분석에 이용되어 원하는 측정 데이터를 얻을 수 있었다.

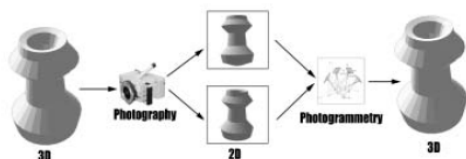


Fig. 1 Basic principle of photogrammetry

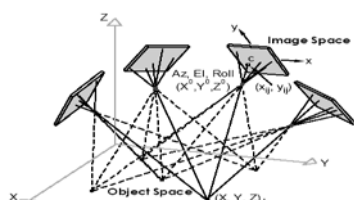


Fig. 2 Coordinate measurement of photogrammetry

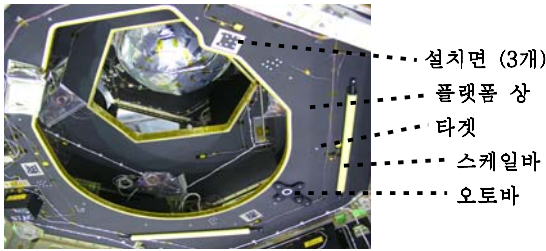


Fig. 5 Targeting on interfacing surface for measurement

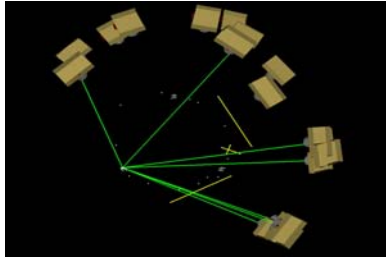
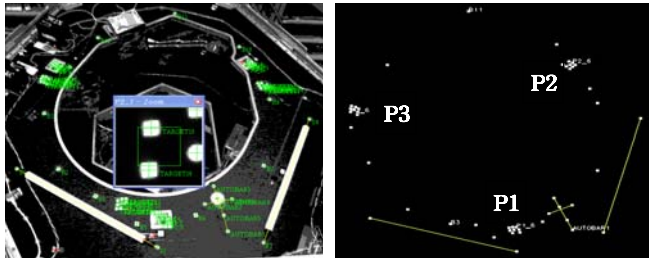


Fig. 6 Layout of the camera locations



(a) Image scan (b) 3D Viewer

Fig. 7 Point position after processing

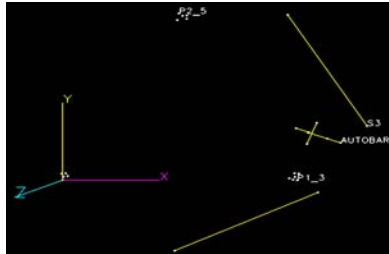


Fig. 8 Coordinate system of X-Y plane

3.3 이미지 전송 및 데이터 처리

본 연구를 위해 촬영된 이미지는 컴퓨터로 전송되어 데이터 처리 시스템인 소프트웨어로 확인 및 분석을 수행하였다. 데이터 처리 시스템을 사용하여 사진으로부터 사진기의 위치를 역 추적 해낸 후, 모든 사진을 하나로 묶어서 각각의 사진에 나타난 각 포인트 들을 찾아서 식별하고 포인트들의 3D 좌표가 자동으로 생성되었다. 생성된 데이터로 측정 후의 포인트들 위치를 나타내고 변위에 대한 편차량(residual of displacement)을 계산하였다. Fig. 7(a)는 타겟 포인트가 사진으로부터 스캔(scan)된 모습이다. 각 포인트에는 임의의 라벨이 매겨져 있다. 그리고, Fig. 7(b)는 데이터 처리 후 생성된 포인트의 위치를 3D Viewer로 나타낸 것이다.

4. 편평도 분석 및 결과

데이터 처리 후 생성된 좌표 데이터로부터 센서의 설치면을 포함하는 X-Y 평면을 만들고, 만든 좌표축으로 측정값을 좌표 변환하였다. Fig. 8은 세 개의 설치면을 포함하는 X-Y 평면에 대한 좌표축을 보여준다. 포인트 P3_5를 원점으로, P1_3을 X축으로 하여 오토바의 좌표계가 X-Y 평면으로 좌표 변환 되어진 것이다.

Table 1은 포인트 P3_5를 기준원점으로 하여 세 개의 설치면 P1, P2, P3를 포함한 X-Y 평면을 만든 좌표축으로 측정값을 좌표 변환하여 나타낸 값의 일부이다. 설치면에 있는 볼트홀의 가공면에 위치한 타겟에 대한 측정 데이터는 평면의 값에서 제외시켰다. 또한, Table 1에서는 좌표 변환한 측정값에 대하여

Table 1 Coordinate transformation data and Residual of displacement

Point Label	Coordinate transformation data			Residual of displacement
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	DZ (mm)
P1_1	851.061	9.179	-0.011	0.011
P1_2	864.294	2.180	-0.015	0.015
P1_3	880.136	0.000	0.000	0.000
P1_4	872.304	15.783	0.005	0.005
P2_1	465.958	757.898	0.006	0.006
P2_2	466.185	772.919	0.039	0.039
P2_3	450.510	772.541	0.007	0.007
P2_4	430.427	753.051	-0.000	0.000
P3_1	19.607	19.452	0.017	0.017
P3_2	12.125	32.595	0.018	0.018
P3_3	3.351	17.300	0.025	0.025
P3_4	-3.843	31.268	0.031	0.031

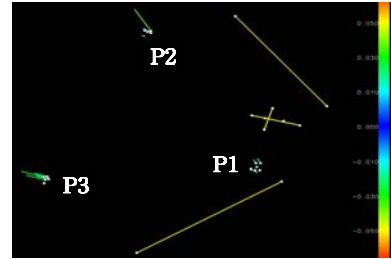


Fig. 9 Residual of displacement about P1, P2, P3

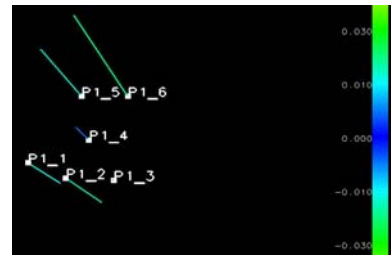


Fig. 10 Residual of displacement about P1

Z축을 0으로 놓은 data와 그 값을 비교하여 변위에 대한 편차량을 보여줌으로써 편평도 차이를 나타내고 있다.

Fig. 9는 P1, P2, P3의 편차량을 그래프로 나타내었다. Fig. 10은 Fig. 9에 보여진 P1을 확대하여 나타내었다. Table 1에 나타난 측정값에 따라 각각의 설치면에서 가장 높은 편차값은, P1에서 P1_6 포인트의 0.019mm (19 μm), P2에서 P2_2 포인트의 0.039mm (39 μm), P3에서 P3_4 포인트의 0.031mm (31 μm)이다. 이와 같은 측정 결과에 따라 위성용 탑재센서 설치면이 ±50 μm 이내로 요구되는 편평도 범위 이내에 있음을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구를 통하여 위성용 탑재센서가 장착되는 설치면에 대하여 조립 후 변형여부를 확인하고자 사진 측정 시스템으로 설치면의 편평도를 측정하여 수직 방향(Z방향) 측정치를 기준으로 한 결과 ±50 μm 이내의 값을 얻었다. 이 결과는 탑재센서 평판면 제작시 단품레벨에서 CMM(coordinate measuring machine)을 이용하여 약 60 μm p-p로 측정·가공된 결과와 비교하였을 때, 측정 장비의 오차범위를 고려하면 단품제작시의 측정결과와 차이가 없음을 알 수 있었다. 또한, 사진 측정 시스템을 사용하여 측정 대상물이 복잡한 형상이나 접근하기 어려운 경우에 용이하게 측정할 수 있는 것도 확인할 수 있었다. 앞으로 중·대형 정밀 측정에 사용되는 데오도라이트(theodolite), 레이저 추적기(laser tracker) 등과 같은 정밀 측정 시스템과의 측정 정확도에 대한 비교 연구 등을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. V-STARS System Manual, The Basics of Photogrammetry, GSI (Geodetic Systems Inc.)
2. 윤용식, 이동주, "3차원 정밀좌표 측정 기술과 동향," 한국공작 기계학회지, 제11권, 제1호, pp.7-13, 2002.