

# 인공위성 태양전지판의 설치 및 정렬 측정 Installation and Alignment Measurement of Satellite Solar Array

\*김지영<sup>1</sup>, #윤용식<sup>2</sup>, 최준민<sup>3</sup>, 유준<sup>4</sup>  
\*K. J. Young<sup>1</sup>, #Y. S. Yoon(ysyoon@kari.re.kr)<sup>2</sup>, J. M. Choi<sup>3</sup>, J. Lyou<sup>4</sup>  
<sup>1, 2, 3</sup> 한국항공우주연구원 위성시험실, <sup>4</sup> 충남대학교 전자공학과

Key words : 3-Dimensional Precision Measurement, Laser Tracker, Coordinate Transformation, Alignment Measurement

## 1. 서론

인공위성에 설치되는 태양전지판(solar array)은 인공위성이 우주궤도에서 운용되는 동안 외부의 인위적인 도움 없이 태양광 에너지를 전기 에너지로 변환하여 인공위성이 자체동력을 만들게 하는 매우 중요한 역할을 한다. 인공위성 본체에 태양전지판을 설치하는데 있어서 인공위성 본체와의 평행도와 태양전지판 설치 각도가 매우 중요하다. 이것은 인공위성에 설치되는 태양전지판이 지상에서 조립·시험 및 발사 기간 동안에 계속 접혀진 상태로 있다가 발사 후 요구되는 우주궤도에 인공위성이 진입한 직후 전개되는 메카니즘으로 설계되고 있어 태양전지판 전개 시 위성체 본체와의 충돌이나 전개 후 태양을 지향하는 각도의 정확성을 유지시켜야 하기 때문이다.

본 논문에서는 인공위성 태양전지판의 설치 정확도 및 정렬(alignment) 측정을 수행한 내용을 기술하였다. 본 논문에서는 태양전지판 설치의 요구조건인 인공위성 본체와  $\pm 1.52\text{mm}$ 의 평행도와  $90(\text{또는}, 180) \pm 1^\circ$ 의 각도를 유지시키도록 하고자 하였다. 본 측정을 위해 3차원 정밀 측정 장비인 레이저 추적기(laser tracker)를 이용하였고 태양전지판을 정렬 요구조건 이내로 위성체에 설치 및 정렬 조정하였다.

## 2. 레이저 추적 시스템

### 2.1 레이저 추적 시스템의 측정 원리

레이저 추적 시스템은 Fig. 1과 같이 헬륨-네온(Helium-Neon) 광선이 방사되어 표적에 부착된 반사구(Reflector)에 반사되어 나온 광선을 다시 받아 표적의 3차원 위치 정보를 측정할 수 있는 장치이다[1]. 또한, 실시간으로 공간상의 좌표를 레이저로 추적해 측정하는 시스템이다. 이 시스템 가운데 주 측정장치인 레이저 추적기는 정밀한 각도 측정을 위한 고정밀도의 수평 및 수직 인코더(encoder), 정밀한 거리 측정을 위한 간섭계(interferometer), 광 센서, 광선 분할기, 기준 거울 등으로 구성되어 있다. 이 측정 시스템의 측정 정확도는  $\pm 15\mu\text{m} + 6\mu\text{m}/\text{M}$ 이다. 여기서, M은 10m인 거리에서 측정 시  $\pm 0.075\text{mm}$ 의 정확도를 나타낸다. 본 측정 시스템을 이용하여 움직이는 목표물의 좌표 측정이나 실시간으로 측정 데이터가 요구되는 생산 자동화 라인 등에 효과적으로 사용될 수 있다.

### 2.2 레이저 추적 시스템의 구성

레이저 추적 시스템은 레이저 추적기(①)와 데이터 처리 시스템(②) 그리고, 반사구로 구성되어 측정을 수행한다[2]. 그 구성은 Fig. 2와 같다. 데이터 처리 시스템으로는 측정을 하는데 필요한 Axyz 프로그램을 사용하였다. 레이저 추적기를 구동시키고

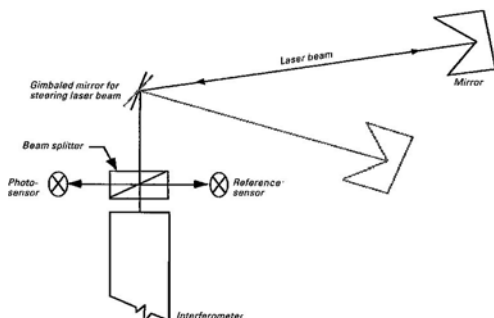


Fig. 1 Basic principle of photogrammetry

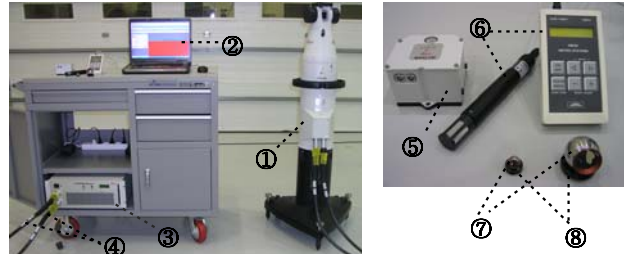


Fig. 2 Construction of Laser Tracker System

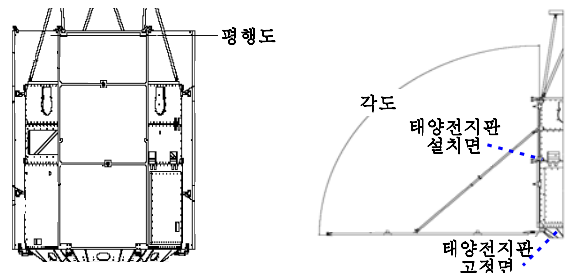
소프트웨어를 연계하여 측정할 수 있게 해 주는 것이 LT Controller (③)이고, Motor cable & Sensor cable(④)은 레이저 추적기를 LT Controller에 연결해 준다. NIVEL230(⑤)은 기울기를 측정해 주는 센서로써, RS232 케이블로 연결하여 사용한다. Meteo Station HM30(⑥)은 대기중의 온습도와 대기압을 검사하는 센서를 포트에 RS-232 케이블로 연결하여 사용한다. 레이저 추적기로부터 방사된 레이저를 반사하는 반사구(⑦)는 Red-Ring 형태로 0.5", 1.5" 크기가 있으며, 반사구 홀더(Reflector Holder)(⑧)에 반사구를 고정시켜서 측정한다. 이 구성들은 그림과 같이 이동 작업 시 사용하기 편리하도록 이동 장치에 설치하여 사용한다.

## 3. 측정 방법

본 연구를 위해 먼저 위성체에 설치된 태양전지판을 전개하기 전의 평행도와 태양전지판을 전개한 경우의 각도를 측정(측정 A)하였다. 다음에 위성체에 설치된 세 개의 태양전지판에 대해 각 면의 평행도를 측정하기 위하여 위성체를 회전시키면서 측정(측정 B)하였다. Fig. 3은 평행도 요구조건  $\pm 1.52\text{mm}$  이내와 태양전지판 전개시 유지각도  $90 \pm 1^\circ$ 를 그림으로 보여준다. Fig. 3(b)에서 태양전지판 설치면과의 각도는  $90^\circ$ 이고 태양전지판 고정면과의 각도는  $180^\circ$ 이다.

### 3.1 측정 포인트 선정 및 측정

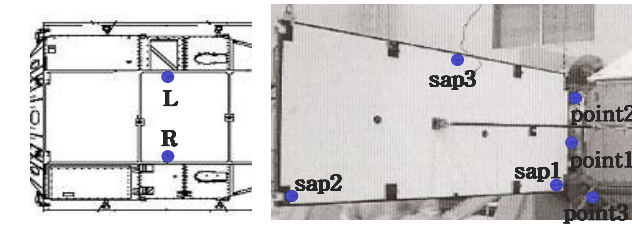
측정의 처음 단계로써, 원하는 결과를 얻기 위하여 반사구를 측정 대상의 어느 위치에 부착해야 하는지를 결정해야 한다. 그리고, 레이저 추적기를 가능한 반사구와 일치되는 위치에 이동 및 고정을 시킨다. 본 측정에서는 평행도 측정을 위해 위성체에 설치된 태양전지판 상의 나란한 두 포인트를 측정하여 각 포인트에 대하여 태양전지판 고정면과의 거리 차이를 비교해 볼 수 있도록 포인트 위치를 선정하였다. 다음에 각도 측정을 위해 태양전지판의 고정면과 전개한 태양전지판의 전개면 사이의 각도 차이를 측정하기 위한 포인트 위치를 선정하였다.



(a) Parallel requirement

(b) Angle requirement

Fig. 3 Parallel & Angle requirements of solar array



(a) parallel measurement (b) angle measurement  
Fig. 4 Position of points for measurement A

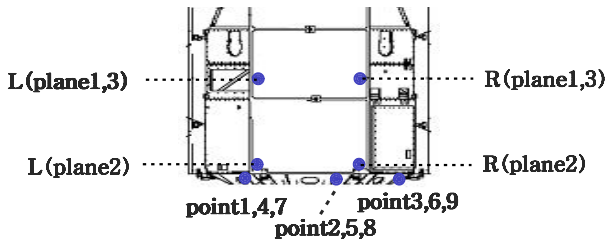


Fig. 5 Position of points for measurement B

측정 A를 수행하는데 있어서 태양전지판의 평행도를 측정하기 위한 포인트 위치는 Fig. 4(a), 각도를 측정하기 위한 포인트 위치는 Fig. 4(b)와 같다. Fig. 4에서 기준면을 선정하기 위하여 태양전지판 고정면에 세 포인트 point1,2,3 을 측정하였고, Fig. 4(a)에서 평행도를 알기 위하여 접힌 상태의 태양전지판에 두 포인트 L (left), R(right) 을 측정하였다. 또한, 평행도 요구조건을 만족하는지 여부를 판단하기 위해 정렬 후 포인트 L, R 을 재측정하였다. Fig. 4(b)는 각도를 측정하기 위하여 태양전지판을 전개한 면에 세 포인트 sap1,2,3 을 정하였다.

Fig. 5는 측정 B를 수행하기 위하여 Fig. 4(a)와 마찬가지로 기준면을 위한 세 포인트로 태양전지판 고정면에 point1~9 를 측정하였고, 태양전지판 설치면의 두 포인트 L, R 을 측정하였다. 세 개의 태양전지판에서 각각의 평행도를 측정하기 위하여 태양전지판 1면에 대한 기준면 포인트는 point1,2,3 이고 설치면 포인트는 plane1-L, plane1-R 이다. 태양전지판 2면에 대한 기준면 포인트는 point4,5,6 이고 설치면 포인트는 1면의 포인트보다 아래쪽에 위치한 plane2-L, plane2-R 이다. 태양전지판 3면에 대한 기준면 포인트는 point7,8,9 이고 설치면 포인트는 plane3-L, plane3-R 이다. 세 면에 대한 평행도 측정을 위하여 위성체를 회전시키면서 각 면마다 기준면을 달리 측정하였다.

측정 시, 태양전지판에 반사구를 고정시켜 레이저 추적기에서 방출되는 레이저 빔이 반사구를 따라가면서 3차원 좌표를 측정함으로써 측정 데이터를 얻었다. 얼라인먼트 측정용 소프트웨어인 Axyz 프로그램 메뉴의 LTM을 사용하여 측정을 하였으며, 이 측정 데이터는 메뉴의 DM에서 분석을 수행하였다.

3.2 데이터 처리 및 결과 분석

**측정 A**에서 우선, 세 포인트 point1,2,3 으로 위성체 평판에 기준면(plane1) 을 만들었다. L, R 은 각각 태양전지판에서 상하로 일직선상에 있는 포인트들로서, 기준면으로부터 두 포인트들의 거리 차이에 의하여 평행도를 판단하였다. 두 포인트 L, R 측정값을 각각 기준면에 투영(projection)시킨 후 각 포인트의 면과의 거리(distance)를 구하였다. 이 결과는 Table 1에 나타내었다. 또한, 각도를 측정하려고 전개된 태양전지판의 평면을 만들기 위하여 sap1,2,3 세 포인트로 평면(plane2)를 만들었다. 태양전지판 고정면인 plane1 과 전개된 태양전지판의 평면 plane2 의 각도를 서로 비교하여 분석하였다. 전개된 태양전지판과 위성체 한 면과의 각도가 90°인 것을 고려하면, 위성체의 태양전지판 고정면은 전개된 태양전지판과 180°로 유지되어야 한다. Table 1과 같이 평행도 첫 번째(1st) 측정에서 3.071mm의 큰 오차를 보여서 태양전지판을 재정렬하여 다시 측정한 결과 0.543mm로 요구조건인 ±1.52mm 이내로 평행도를 정렬할 수 있었다. 또한, 각도도 0.8002°의 오차를 나타내어 180 ± 1°의 각도를 유지하고 있는 것을 알 수 있었다. Fig. 6은 측정 A에서 측정한 데이터들을 3D 그래픽

Table 1 Measurement A

Point ID	Parallel (mm)		Angle (deg)
	Projection distance	Difference ± 1.52	90 (or 180) ± 1
1st-L	-1150.783	3.071	179.1998
1st-R	-1147.712		
2nd-L	-1151.247	0.543	
2nd-R	-1150.704		

Table 2 Measurement B

Point ID	Parallel (mm)	
	Projection distance	Difference ± 1.52
plane1-L	1149.489	1.032
plane1-R	1150.512	
plane2-L	54.308	0.683
plane2-R	54.991	
plane3-L	1150.679	0.997
plane3-R	1151.676	

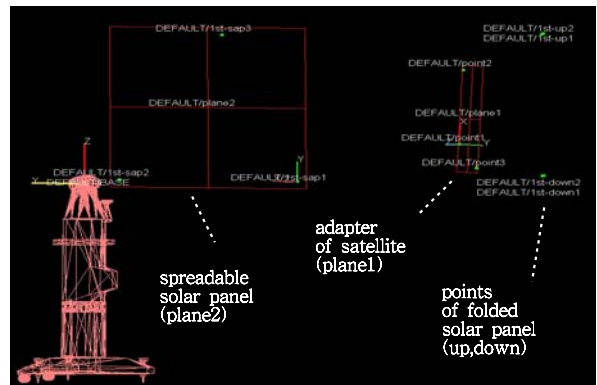


Fig. 6 Points for parallel/angle measurement

으로 나타내고 있다.

**측정 B**는 위성체와 3개의 태양전지판 사이의 평행도를 측정하였다. 측정 A의 평행도 측정 과정을 태양전지판의 세 면에 대하여 동일하게 수행하였다. 1면에 대하여 point1,2,3 으로 위성체 평판에 기준면 plane1 을 만들어 태양전지판 상에 나란한 포인트 L, R 을 그 면에 투영시켰고, 2면에 대하여 point4,5,6 으로 plane2 를 만들어 L, R을 투영시켰으며, 3면에 대하여 point7,8,9 로 plane3 을 만들어 L, R을 투영시켜 거리의 차이를 구하였다. Table 2와 같이 1면은 1.032mm, 2면은 0.683mm, 3면은 0.997mm의 측정 결과에 따라 태양전지판의 세 면이 인공위성 본체와 각각 평행도 요구조건 이내로 정렬되고 있는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 측정을 통해 태양전지판의 정렬 및 설치를 수행하여 태양전지판 모두 평행도 요구조건을 만족함을 보였고, 태양전지판을 전개 시 요구되는 각도가 유지되는 것을 알 수 있었다. 그리고, 레이저 추적 시스템을 이용하면 실시간으로 공간상의 좌표를 레이저로 추적해 측정할 수 있어서 연속적인 측정이 가능하여 측정 시간을 단축시킬 수 있었다. 향후 레이저 추적 시스템을 이용하여 위성체의 부분체 설치 및 조립 정밀도를 위한 정렬 측정뿐만 아니라 다양한 대상물에 대한 측정을 수행하여 측정 장비에 대한 활용도를 높이고자 한다. 또한, 다른 3차원 정밀 측정 장비와 결합하여 측정 정확도를 높일 수 있는 연구 등을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. 윤용식, 이동주, "3차원 정밀좌표 측정 기술과 동향," 한국공작기계학회지, 제11권, 제1호, pp.7-13, 2002.
2. Laser Tracker Module Software Reference Manual, Axyz LTM, Leica Geosystems AG