

# 정지궤도 위성의 정렬측정을 위한 기준정보 획득 Alignment Reference Measurement for GEO Satellite

\*최정수<sup>1</sup>, 김연용<sup>2</sup>, 김형완<sup>1</sup>, #윤용식<sup>3</sup>

\*J. S. Choi<sup>1</sup>, Y. Y. Kim<sup>2</sup>, H. W. Kim<sup>1</sup>, #Y. S. Yoon<sup>3</sup>(ysyoon@kari.re.kr)

<sup>1</sup> 한국항공우주연구원 통신해양기상위성사업단, <sup>2</sup> 한국항공우주연구원 위성시험실, <sup>3</sup> 한국항공우주연구원 정책연구팀

Key words : 3 Dimensional Precision Measurement, Theodolite, Satellite Alignment, Alignment Measurement, Reference system

## 1. 서론

정지궤도 위성은 지구 적도면 36,500km 상공에서 지구의 자전속도와 동일하게 지구를 회전하면서 24시간 관측, 통신, 방송 등의 임무를 수행 할 수 있도록 설계되며 계획된 수명기간 동안 성능저하나 임무실패 없이 지상의 명령에 따라 정확하게 운용되어야 한다. 이를 위해 위성체에 탑재되는 자세제어 센서와 장치, 추진부, 안테나 및 광학센서들은 설계된 요구값에 따라 각각의 구조적 안정성을 유지하면서 정확한 상대 좌표 값에 따라 정확한 각도로 위성체에 장착 및 조립이 되어야 한다.

위성체의 정렬 측정은 위성체의 총 조립이 완료된 이후 수행되며, 초기 정렬 측정 및 보정을 통해 데이터를 구하고 각종 환경시험을 거친 후 정렬측정을 다시 한 번 수행하고 이를 비교함으로써 동적 안정성 또한 확인하는 과정을 거치게 된다.

본 논문에서는 정지궤도 위성의 정렬 측정 및 보정에 필요한 기준정보를 획득하기 위해, 정밀회전 테이블의 회전축을 지구중력과 3"(decimal arc seconds) 오차 이내로 조정하고 회전면의 편평도를 0.1mm/1m 로 보정한 이후 기준점과 기준방향을 획득하는 일련의 작업을 기술하였다. 또한, 정렬측정 시 위성체의 위치나 자세를 바꿔야 하는 경우가 발생하므로, 위성체 기준점과 가장 가까우면서 강성이 높은 원통형 접속부위에 2개의 입방면체(Cube)와 8개의 레이저 추적기용 홀더(Reflector holder)를 설치하여 위성을 어느 방향에서 측정하더라도 상대적인 좌표 및 방향을 계산할 수 있도록 하였다.

## 2. 비접촉식 3차원 측정 시스템

### 2.1 테오드라이트 측정 시스템

테오드라이트는 0.1" 의 분해능(resolution)을 가진 인코더로 측정된 수직축을 기준으로 하여 수평각을 측정하며 수평축을 기준으로 하여 수직각을 측정할 수 있는 장비이다. 테오드라이트의 받침부에는 높이를 정밀하게 조절할 수 있는 3개의 조절장치가 있어서 테오드라이트의 수직축이 중력 반대방향이 되도록 함으로써 수직각의 영점 기준을 설정하게 된다.

테오드라이트를 사용한 위성체의 정렬 측정은 테오드라이트의 시준선(line of sight)이 대상물에 부착된 면경(Mirror)에 정반사되어 광선을 평행하게 하는 자동시준 방법을 통해 구할 수 있다. 이때, 입사각과 반사각은 0°가 되어 테오드라이트가 면경에 대해 정확하게 수직되게 위치하고 있음을 의미한다.

통신해양기상위성의 정렬측정을 위한 기준정보 획득에 사용한 측정시스템(Alignment Measurement System 1, 이하 AMS1)은 테오드라이트 1대, 정밀회전 테이블, 전자식 수평계, GAP1 기준면, 수직이동대 및 데이터처리시스템으로 구성되어 있다. 또한, 통신해양기상위성은 중대형 위성으로써 면경의 부착 각도 및 위치 등으로 인해 AMS1 시스템 만으로는 측정이 불가능한 경우가 발생하므로 보다 위치적으로 자유롭게 측정이 가능한 AMS2 측정 시스템도 동시에 사용하였다. AMS2 시스템은 정밀회전 테이블과 GAP1 기준면을 사용하지 않고 3대 이상의 다수 테오드라이트로 위성체를 측정하는 시스템으로 AMS1 시스템의 단점을 보완하기 위해 항우연에서 개발된 바 있다. AMS1 시스템과 AMS2 시스템 간에는 위성체에 설치한 동일한 기준 면경을 각각 측정한 후 이를 계산하고 좌표변환을 수행하는 방법을 통해 동시에 사용이 가능하도록 하였다.

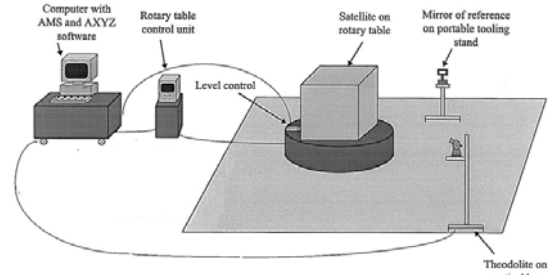


Fig. 1 AMS- I Alignment System

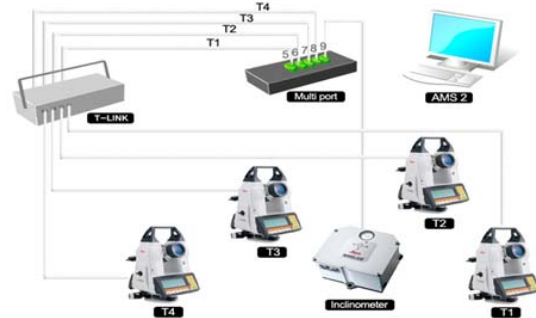


Fig. 2 AMS- II Alignment System

### 2.2 레이저추적기 시스템

레이저 추적 시스템은 표적에 부착된 반사구(Reflector)에서 반사된 레이저를 추적하여 3차원 위치정보를 측정할 수 있는 장치로써 반사된 레이저의 각도 및 거리를 계산해 비접촉식으로 3차원 정밀측정이 가능하며, 실시간으로 공간상 좌표를 추적할 수 있다. 레이저 추적 시스템의 주 측정 장치인 레이저 추적기는 레이저의 각도를 측정하기 위한 수직 및 수평 인코더와 거리를 측정하기 위한 센서 (IFM & ADM), 광선 분할기, 기준 거울 등으로 구성되어 있다. 데이터 처리는 Axyz S/W를 사용하였으며 전자식 수평계와 0.5in RRR type의 반사구, 레이저 추적기용 홀더 등이 추가로 사용되었다.

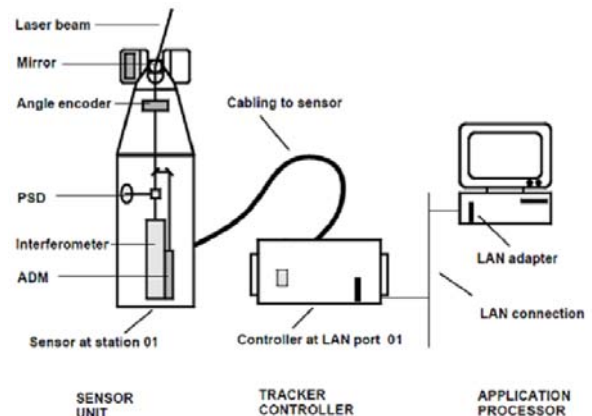


Fig. 3 Leica Laser Tracking System

### 3. 측정 절차 및 결과

#### 3.1 정밀회전테이블 및 원통형 접속부 정렬

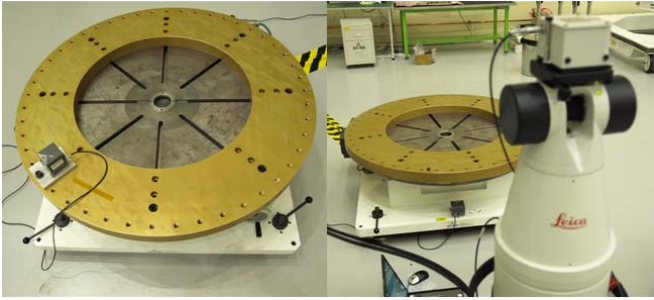


Fig. 4 Rotation Table and Ring Interface Alignment

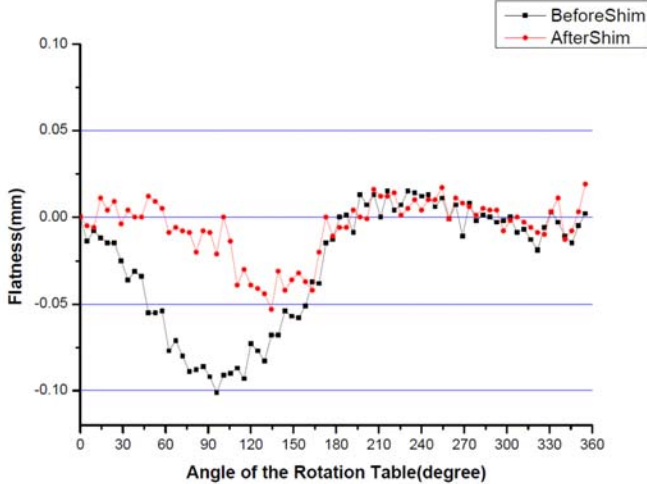


Fig. 5 Ring Interface Flatness Alignment Results

기준정보 획득을 위한 정렬을 측정하기 전에 정밀회전 테이블 및 테이블과 발사체 접속부(Launch Vehicle Adapter, LVA)를 연결하는 원통형 접속부(Ring Interface)를 정렬하는 작업이 선행되었다(Fig.4). 이를 위해 정밀회전테이블의 회전축을 보정해야 하는데, 회전축은 지구중력 방향과 3" 이내로 정렬되어야 한다. 회전테이블의 축 정렬이 완료된 이후에는 발사체 접속부와 회전테이블을 연결해 주는 원통형 접속부를 장착하고 여기에 발사체 접속부를 장착하게 된다. 이때 발사체 접속부와 Ring Interface 간에는 회전면의 편평도를 보정해 주기 위한 심 작업이 수행되어 0.1mm/1m 이내로 접속면의 편평도를 조절하였다(Fig. 5). 이후 발사체 접속부의 중점을 측정하여 위성체의 기준점으로 설정하고 8개의 레이저 추적기용 홀더를 발사체 접속부에 부착하고 이를 측정하여, 어떠한 위치에서도 3개 이상의 홀더를 측정하면 위성체의 기준점을 획득할 수 있도록 하였다.

#### 3.2 위성체 장착 및 기준축 정보 획득

원통형 접속부에 대한 정렬이 완료된 이후 위성체를 정밀회전 테이블에 결합하였으며 중심축이 3"이내에 위치하고 있는지 재확인하였다. 또한, 이때의 위성체 위쪽 부분을 +Z<sub>sat</sub> 축으로 정의하였다. 이후 통신탐체제가 부착된 패널에 2개의 0.5in 반사구를 부착하고 데오드라이트에 광원을 장착하여 각각의 반사구에 맺힌 반사점(Spot Light) 간의 사이각이 3"이내가 되도록 조정하여 +X<sub>sat</sub> 방향을 정의하였다. 나머지 +Y<sub>sat</sub> 방향은 오른손 법칙에 따라 X축과 직각인 방향으로 정의하였다.

중대형위성의 경우 측정이 요구되는 면경의 부착위치나 각도로 인해 정렬측정 및 보정 시 위성체를 눕히거나 돌려야만 시야를 확보할 수 있는 경우가 발생할 수 있으며 이때 정확한 측정을 하기 위해서는 위성체의 굽힘특성을 알고 이를 보정해야 한다. 따라서 이를 측정하기 위해 발사체 접속부에 2개의 입방면체를 추가로 장착하고 정렬측정을 하였다. 모든 측정 결과는 Table 1과 같이 나타내어 진다.

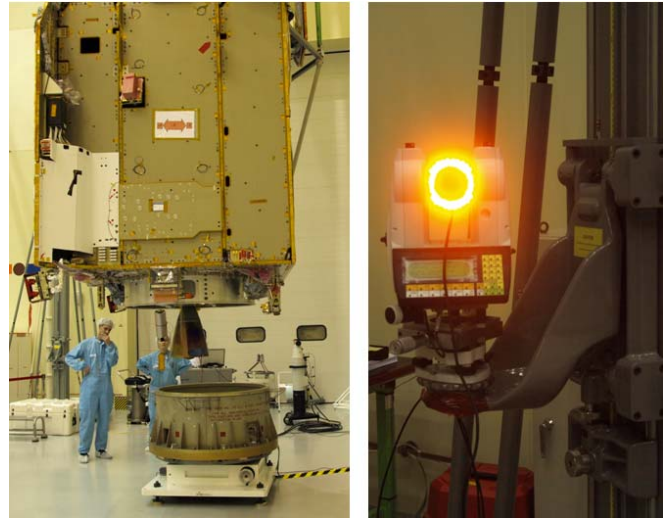


Fig. 6 Spacecraft transfer on Alignment Turning Bench(Left)  
Theodolite set-up for Satellite Reference Measurement (Right)

Table 1 Measurement results

Identity	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Azimuth (DMS)	Site (DMS)
PinBall+X	0.954758	0.000000	0.297383	0:00:00	72:41:58
+YRef_+Y	0.334332	0.940050	0.067285	70:25:19	86:08:31
+YRef_-X	-0.920631	0.341053	-0.190058	159:40:21	100:57:22
-YRef_-Y	0.339994	-0.940378	-0.009597	289:52:39	90:33:00
-YRef_-X	-0.941019	-0.340150	0.018705	199:52:24	88:55:42
-XLVA_-X	-0.960318	-0.281636	-0.006112	196:20:42	90:21:01
-XLVA_-Y	-0.262698	0.903496	-0.338950	106:12:44	109:48:47
+XLVA_+X	0.989164	-0.150805	0.005317	351:19:54	89:41:43
+XLVA_+Y	0.134300	0.860476	-0.492145	81:07:45	119:28:54

### 4. 결론

본 연구에서는 위성체의 정렬 측정 및 보정을 위한 기준정보를 획득하기 위해 정밀회전 테이블의 회전축을 3" 이내로 조정하고 회전면의 편평도를 0.1mm/1m 이내로 보정하였으며, 레이저 추적기와 데오드라이트를 사용해 위성체의 기준점과 기준방향을 획득하는 일련의 작업을 수행하였다. 또한, 위성체 기준점과 가까우면서 강성이 높은 발사체 접속부에 2개의 입방면체와 8개의 레이저 추적기용 홀더를 설치함으로써 위성을 어느 방향에서 측정하더라도 상대적인 좌표 및 방향을 계산할 수 있도록 하였다. 이때, 추가로 부착한 홀더 및 입방면체는 위성체의 굽힘 특성(Bending Characteristic) 측정에도 사용될 예정이다.

### 참고문헌

1. 윤용식, 박홍철, 손영선, 최준영, "데오드라이트를 이용한 위성체 얼라인먼트 측정에 관한 연구," 한국항공우주학회지, 31, 105-111, 2003.
2. 이병기, 김영윤, 윤용식, "위성 탑재 센서의 정렬 측정 및 보정에 관한 연구," 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, 2005.
3. 최정수, 윤용식, 김지영, "데오드라이트와 보조면경을 이용한 위성 탑재물 정렬 측정," 한국항공우주공학회 추계학술대회논문집, 1578-1581, 2008.
4. Laser Tracker Module Software Reference Manual, Axyz LTM, Leica Geosystems AG.