

06 인공위성 관측용 망원경

# 우주 잔해물 추적하고 행성 탐사선까지의 거리도 측정

**위**성레이더추적(SLR)이란 지상에서 발사한 극초단파 레이저를 광학계를 통해 발사하여 위성으로 부터 반사되어 되돌아오는 레이저의 왕복시간을 측정함으로써 밀리미터 정밀도의 거리를 산출 하고, 이를 통해 인공위성 고정밀 운영에 필요한 정밀궤도를 결정하는 시스템이다.

**SLR 시스템으로 인공위성까지 정확한 거리 측정**

1964년 레이저 반사경을 장착한 비콘 익스플로러 인공위성의 레이저 거리측정을 위해서 최초로 SLR 시스템을 개발하였는데, 그 당시 거리측정 정밀도는 미터 수준이었다.

이는 그 당시 마이크로파 레이더의 거리측정 정밀도가 50m 이상인 점에 비추어 볼 때 매우 획기적인 기술이었음을 알 수 있다. 1960년대 중반 이후 레이저 반사경을 장착한 많은 위성들이 발사되었는데, 현재 라지오스 위성을 비롯한 50여 개의 위성이 운영 중이다. 특히 1969년 유인 우주 왕복선인 아폴로 11호에 의해 처음으로 달에 레이저 반사경을 설치하여 맥도널드 관측소의 2.7m 망원경을 이용하여 달의 레이저 거리측정(LLR)을 시작하였다.

현재 인공위성 및 달의 레이저 거리측정 목적으로 국제 레이저관측기구(ILRS)에 가입하여 활동 중인 SLR 시스템은 전 세계적으로 40여 개에 달한다. 한국천문연구원은 2008년부터 이동형(ARGO-M) 및 고정형(ARGO-F) SLR 시스템 개발을 추진하고 있으며, 2011년까지 40cm급 이동형, 2014년까지 100cm급 고정형 SLR 시스템 개발을 완료할 예정이다.

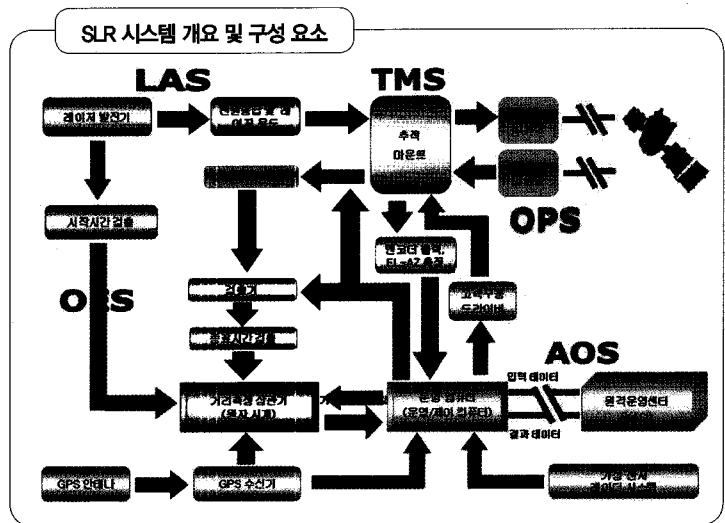

SLR 시스템은 인공위성까지 거리를 측정하는 가장 정밀한 도구로 현재 단일발사는 센티미터, 정구점은 밀리미터로 매우 정밀하여 우주측지, 지구과학, 자원탐사 및 인공위성 정밀 운용 등 여러 목적으로 사용하고 있다. 최근 들어 광학, 전자 및 제어기술의 발달로 우주 잔해물 추적, 달 및 행성 탐사선의 레이저 거리측정까지 활용되고 있다.

**인공위성에 레이저 발사해 되돌아오는 광자 집광**

SLR 시스템은 망원경, 레이저 및 추적 마운트 등 여러 요소로 구성되어 있다. SLR 망원경은 레이저를 인공위성까지 송신하고 반사되어 오는 광자를 집광하여 검출하는 역할을 한다.

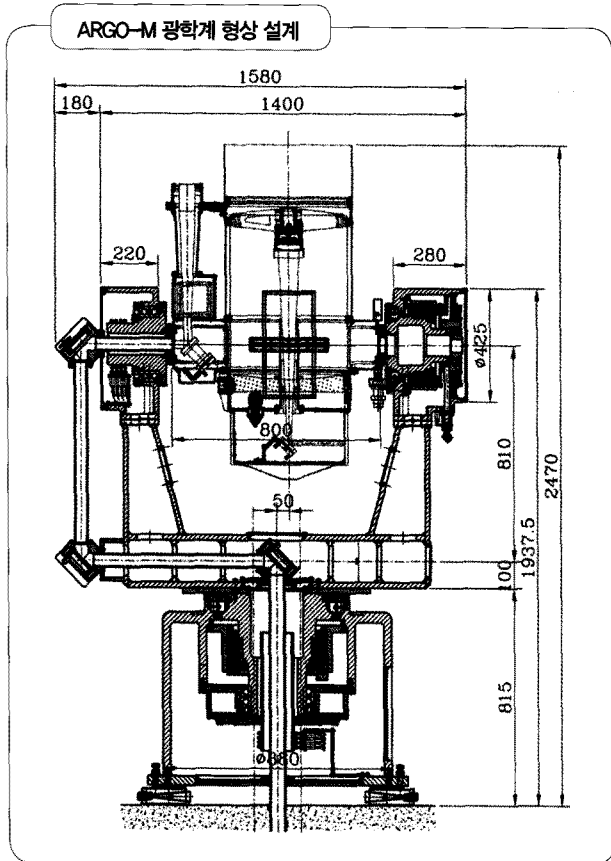
SLR 망원경은 크게 송수신 분리형과 송수신 일체형으로 구분할 수 있다.

송수신 분리형은 레이저를 발사하는 망원경과 인공위성으로부터 반사되어 오는 레이저 펄스를 수신하는 망원경이 분리되어 있다. 이러한 형식은 1급 레이저 적용이 유리하며, 후방산란을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있으나 송수신 망원경의 광학정렬이 매우 어려운 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 하나의 망원경을 통해 레

글 임형철 한국천문연구원 선임연구원 hclim@kasi.re.kr

글쓴이는 연세대학교 천문기상학과 졸업 후 동대학원에서 석사학위를, KAIST 항공우주학과에서 박사학위를 받았다. (주)현대전자 위성사업단 주임연구원 (주)지오시스템 과장, 한국과학기술기획평가원 부연구위원 등을 지냈다.



이저를 송수신하는 일체형 방식이 사용되고 있지만, ㎍ 레이저를 적용하기 위한 송수신 스위칭 기술의 해결이 난제로 남아 있었다. 그러나 송수신 스위칭 기술이 발달함에 따라 하나의 망원경으로 ㎍급 레이저를 송수신하는 일체형을 21세기 들어 NASA에서 최초로 개발·운영하고 있다.

송수신 분리형에서 송신망원경은 갈릴레오 초점방식을 사용하여, 수신망원경은 광축에 초점면이 있어 카세그레인 방식이나 경통의 구동축을 따라 초점이 맺히는 나쓰미스 방식을 많이 사용한다. 반면 송수신 일체형의 송수신 망원경은 비광축 초점방식인 쿠데 방식으로 광학 설계를 한다. 일반적인 SLR 시스템은  $10^{15}\sim 10^{16}$ 개 정도의 광자 수를 송신 망원경을 통해서 발사하지만 실제 수신 광학계에서 검출할 수 있는 광자 수는 평균적으로 0.001개에서 수백 개에 이른다. 따라서 최근에는 광자 검출 확률을 높이기 위해서 수신 망원경 크기를 100cm 이상으로 크게 하는 추세이다.

**한국천문연, 이동형 SLR 시스템 개발 추진**

야간 관측과는 달리 주간에는 주변 배경잡음으로부터 한

번의 레이저 펄스를 발사하여 위성으로부터 반사되어 오는 실제 신호를 구별하는 것은 매우 힘들다. 따라서 주간 관측을 위해서 스펙트럼 필터, 공간 및 시간 필터를 사용한다. 일반적으로 공간

필터의 FoV는 송신 빔 발산각보다 약간 크도록 선택되며, 스펙트럼 필터의 대역통과 폭은 레이저 펄스 폭 및 도플러 효과를 고려하여 결정되는데 1nm~0.1nm 값을 가진다. 시간 필터는 RG 폭을 이용하여 잡음을 제거하는 것으로 LAGEOS 위성의 경우 보통 0.1 $\mu$ m~1 $\mu$ m 값을 가지며, 대기 섭동 및 잦은 궤도기동을 가지는 저궤도 인공위성의 경우 궤도예측 정밀도가 낮아 RG 폭은 더 큰 값을 가져야 한다.

한국천문연구원에서 개발하는 ARGO-M 시스템은 ㎍ 레이저 펄스를 운용하기 위해 송수신 분리형으로 되어 있으며, 이동 관측을 고려하여 수신 망원경은 40cm, 송신 망원경은 10cm 직경을 가진다. 저궤도 인공위성을 추적하기 위해서는 천체 추적과는 달리 고속의 추적 마운트 구동을 필요로 하므로 수신 망원경 주경의 초점대 구경비는 1.5를 갖도록 설계된다. 고도에 따라 레이저 빔의 퍼짐 넓이가 다르므로 저궤도 및 고궤도 인공위성을 레이저 추적하기 위해서 두 개의 렌즈로 구성된 송신 망원경은 레이저 빔 발산각을 조절하기 위한 기능을 가지고 있다.

레이저 발사 시간을 측정하기 위해서 레이저 발진기 내부에 광다이오드를 설치하여 송신 광자를 검출하고 위성으로부터 반사되어 오는 광자는 C-SPAD에서 검출된다. 일반적으로 SPAD는 상승시간이 빨라 고반복률을 가지는 레이저 시스템에 적합하나 온도 및 광량 변화에 상승시간이 달라지는 타임워크 오차가 존재한다. C-SPAD는 이러한 요인을 보정하는 기능을 가지고 있다. C-SPAD와는 달리 MCP-PMT 검출기는 타임워크 현상은 없으나 신호의 지터가 큰 편이다. ARGO-M은 주간 관측을 위해 2개의 스펙트럼 필터, 3개의 공간 필터와 함께 하나의 시간 필터를 사용한다.