

광학시스템을 이용한 저궤도 우주물체 추적 결과 분석

송새한*, 성재동, 정유연, 정옥철

한국항공우주연구원

An analysis for the LEO objects tracking result with optical system

Saehan Song*, Jaedong Seong, Youeyun Jung, Okchul Jung

Key Words : Space Objects, LEO, Tracking, Optical measurement

서 론

최근 인공위성의 대규모 발사를 포함한 다양한 우주 활동이 증가하여 우주물체의 수가 급증하고 있다 [1]. 저궤도 영역의 경우 이러한 우주 물체는 약 7km/s로 매우 빠른 속도를 가지기 때문에, 10cm이하의 작은 물체도 충돌 시 운영위성에 매우 치명적인 영향을 미치며, 파편화(fragmentation)을 통해 더욱 많은 우주쓰레기를 생성한다.

위성운영기관에서는 이러한 충돌위험을 완화하기 위하여 근접중인 우주물체의 정확하고 적시의 궤도정보가 요구된다. 이러한 궤도정보는 레이더, 광학시스템, 레이저 등의 지상기반 관측시스템을 이용하여 획득 가능하다. 저궤도 영역의 경우 주로 레이더시스템이 사용되며, 많은 제약사항이 있지만 광학시스템을 이용하여도 궤도정보를 획득할 수 있다 [2]. 획득한 궤도 정보와 운영 중인 위성의 궤도 정보를 이용하여 충돌 확률을 새롭게 계산하고, 필요시 충돌회피기동을 수행하는 등의 업무를 수행하기 위해서는 정확한 궤도 정보가 필수이나, 현재 국가위성을 운영하고 있는 한국항공우주연구원의 경우 지상기반 관측시스템의 부재로 관측시스템 구축 계획 중이며, 현재는 해외 레이더 및 광학시스템을 이용하여 관심물체에 대한 궤도 정보를 획득하고 있다. 이 중 해외 광학시스템을 이용하여 획득한 저궤도 영역 물체의 궤도 정보에 대한 정확도에 대한 분석이 필요하다. 광학 시스템을 통해 한국항공우주연구원에서 운영하는 위성을 관측하면 관측을 통해 획득한 궤도 정보와 실제 위성의 GPS 데이터를 활용한 정확한 궤도 정보의 차이를 계산할 수 있고 이를 통해 궤도 정보의 정확도를 평가할 수 있다.

본 논문에서는 광학시스템을 이용하여 한국항공우주연구원의 운영위성에 대한 관측/획득한 궤도정보를 실제 정밀궤도결정(Precise Orbit Determination, POD) 결과와 비교 분석하였다.

본 론

우주물체 추적 프로세스

한국항공우주연구원은 미국 연합우주작전본부(Combined Space Operations Center, CSpOC)로부터 운영중인 저궤도위성에 근접하는 물체와 관련된

CDM(Conjunction Data Message)를 수신한다. 이를 바탕으로 7일 예측 기준 최소근접거리가 1km이내인 물체에 대해서 개발한 우주물체 충돌위험 관리시스템(Conjunction Assessment Flow Automation Support Tool, CA-FAST II)을 통해 분석을 수행한다 [3]. 그러므로 관심우주물체와 운영위성 간의 충돌위험을 완화하기 위해 7일 예측 기준 최소 근접 거리가 1km 이내인 우주 물체에 대한 정확한 궤도 정보가 요구된다.

한국항공우주연구원은 현재까지 저궤도 우주 물체에 대한 관측시스템의 부재로 인해, 해외 광학시스템을 계약을 통해 우주물체 관측 및 추적, 궤도 정보를 획득하고 있다. 최소 근접 거리가 1km 이내인 물체 중 더욱 정확한 궤도가 요구되는 관심 물체를 선정하여 추적 요청을 수행하고, 추적 가능 여부 및 추적 성공 시 TDM(Tracking Data Message)와 OPM(Orbit Parameter Message) 등 궤도 정보를 수신한다. 하지만, 광학시스템을 통해 저궤도영역의 물체를 관측하기 위해서는 기상조건이 매우 좋아야 하며, 관측 가능시간대가 황혼 또는 새벽만 가능하다는 제약이 있어 관측하고자 하는 물체의 궤도에 따라 TCA(Time of Closest Approach) 내에 관측이 불가능할 수 있다. 하지만, 광학시스템은 구축 비용이 낮기 때문에 전 세계에 다수의 시스템을 구축하여 가용률을 높일 수 있다. 현재 추적 결과를 제공하는 서비스 중 하나인 ShareMySpace사의 경우 프랑스와 칠레, 2 곳의 사이트를 이용해 관심물체에 대한 관측 서비스를 제공한다.

우주물체 추적 결과

한국항공우주연구원은 23년 6월~8월, 세달 간 11회의 추적요청을 수행하였다. 추적에 사용된 광학시스템의 스펙은 표 1과 같다.

Table 1. Telescope spec.

	Spec.
Aperture	360 mm
Focal	790 mm
Focal/aper. ratio	2.2
FoV	4.4°
Exposure time	0.8s

11회의 관측 요청 중, 2회의 요청에 대하여 추적 및 궤도 결정 성공하여 궤도 정보를 획득하였다. 이를 통해 추적 요청 대비 궤도 결정 성공률은 약 18%로, 타 광학시스템 대비 매우 높은 성공률을 보였다. 수신한 궤도 결정 결과 중 하나는 차세대중형위성 1호의 궤도 결정 결과이고, 차세대중형위성 1호의 경우 항우연이 운영하고 있기 때문에 위성으로부터 수신한 GPS 데이터 기반 정밀 궤도 정보를 알고 있어 광학 관측을 통해 획득한 궤도 결정 결과의 정확도를 확인할 수 있다.

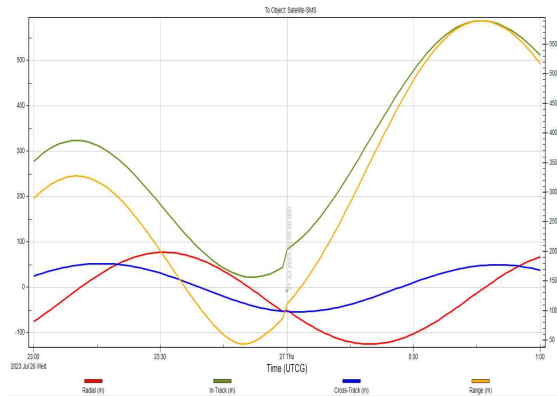


Fig. 1. RIC between POD and measurement

그림 1은 차세대중형위성 1호의 정밀 궤도 결정 결과와 해외 광학관측시스템의 궤도결정결과의 RIC(Radial, In-track, Cross-track) 차이를 나타낸다. 이를 통해 관측이 성공한 시점에서의 위치오차는 약 43m로 준수한 결과임을 확인하였다.

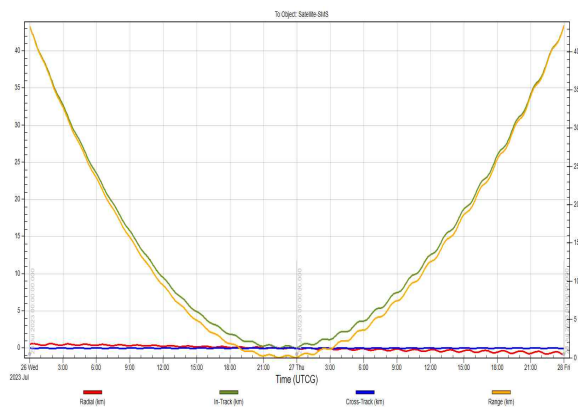


Fig. 2. RIC between POD and measurement

그림 2는 해당 관측시스템으로부터 수신한 OPM을 이용하여 궤도 전파를 수행한 결과이다. 1일 예측 기준, 40km 이상으로 매우 크게 차이를 보이고 있는데, 이러한 큰 차이는 짧은 광학 관측 자료로 생성한 OPM에서는 정확한 위성의 물성치나 추정 파라미터 등 궤도 섭동력 관련 값이 실제 대비 매우 큰 차이가 있어 예측 정밀도 한계가 있는 것으로 추정된다. 실제 운영 중 궤도결정 시 사용되는 위성단면적 및 항력계

수를 사용한 경우, 1일 예측 기준 약 8km 차이 나는 것을 확인하였고 이 값 역시 매우 큰 차이를 보인다. 이를 통해 1회의 관측 및 궤도정보를 통한 궤도 예측은 시간이 지남에 따라 그 정확도가 낮아지며 충돌 위험을 완화시키기 위해서는 TCA 이전의 유효시간동안 다수의 관측 및 궤도 정보가 요구되는 것을 알 수 있다.

결론

본 논문에서는 운영 중인 저궤도 위성에 근접하는 우주 물체의 궤도 정보를 다수의 광학시스템으로 획득 가능함을 확인하였고, 정밀 궤도 결정 결과와의 비교를 통해 해당 시점에서는 수십 미터 정도의 오차를 가짐을 확인하였다. 하지만, 해당 관측 데이터 기반 궤도 예측 결과는 1일 예측 기준으로도 수십 킬로미터 차이 나는 것을 확인하였다. 분석 결과를 통해 광학 관측 시스템을 이용하여 저궤도 영역의 물체의 궤도 정보를 획득할 수 있는 것을 확인하였으나, 이를 통한 궤도 예측 시 실제 궤도와 차이가 큰 것을 확인하였고 관심 물체에 대한 단발적인 궤도정보 보다는 다수의 관측을 통한 정확한 궤도 정보가 요구됨을 알 수 있다.

참고문헌

- 1) Klinkrad, H. "Space Debris-Model and Risk Analysis", Springer, Chichester, UK, 2006, pp. 199-205.
- 2) A. E. Potter, "Ground-based Optical Observations of Orbital Debris: A Reivew," Adv. Space Res, Vol. 16, No. 11, 1995, pp. 35-45.
- 3) Okchul Jung, Jaedong Seong, Sangil Ahn, "Conjunction Assessment - Flow Automation Support Tool in KARI: From Design to Operations", in *Proc. 2018 Spaceops*, May 2018.