

技術論文

DOI:10.5139/JKSAS.2010.38.7.737

나로우주센터 발사장에서 나로호 GPS 수신기 시스템의 운용

권병문*, 문지현**, 신용설**, 최형돈**, 조광래**

Operation of the GPS Receiver System for KSLV-I
on the Launch Site at Naro Space CenterByung-Moon Kwon*, Ji-Hyeon Moon**, Yong-Sul Shin**,
Hyung-Don Choi** and Gwang-Rae Cho**

ABSTRACT

This paper describes the operation results of the GPS receiver system for KSLV (Korea Space Launch Vehicle)-I on the launch site at Naro Space Center that is the first spaceport of South Korea located at Goheung. All equipments of KSLV-I including the GPS receiver system should be monitored and controlled through hard-wired interface during KSLV-I is on standby at the launch pad. The GPS receiver for KSLV-I is connected to triple almost omni-directional patch antennas mounted on the cylindrical surface of KSLV-I that should be erected vertically on the launch pad until lift-off. Signal interference and multipath effects observed in the GPS receiver on the launch site are analyzed in this paper based on the GPS signals received from each GPS antenna.

초 록

본 논문은 고흥에 위치한 나로우주센터 발사장에 나로호가 발사대기하고 있을 때에 나로호에 탑재된 GPS 수신기 시스템의 운용결과에 대하여 다룬다. 나로호가 발사대에서 수직으로 기립하고 있는 동안에 GPS 수신기 시스템을 포함한 나로호의 모든 탑재장비들은 나로호의 이륙 직전까지 동작상태와 성능이 점검되어야 한다. 나로호에 탑재된 GPS 수신기는 기체 표면에 설치된 3개의 패치형 GPS 안테나와 연결된다. 각각의 GPS 안테나에서 수신된 GPS 위성신호를 바탕으로 나로호가 발사대에 발사대기중일 때에 발사장 환경에 의해 GPS 수신기에서 관찰된 신호간섭과 다중경로로 인해 발생한 현상 등을 분석한다.

Key Words : Global Navigation Satellite System(위성항법시스템), Multipath(다중경로), Interference(신호간섭), Blockage(신호차단), Satellite Launch Vehicle(위성발사체)

I. 서 론

한국항공우주연구원에서 개발된 위성발사체용 GPS 수신기 시스템은 비행 중 충분한 가시위성을 확보하기 위한 3개의 GPS 안테나와 각 안테나에서 수신된 L1(=1,575.42MHz), C/A 코드의 GPS 위성신호를 독립적으로 처리하여 위성발사

† 2010년 4월 1일 접수 ~ 2010년 5월 27일 심사완료

* 정회원, 한국항공우주연구원 발사체연구본부
교신저자, E-mail : bmkwon@kari.re.kr

대전시 유성구 어은동 45

** 정회원, 한국항공우주연구원 발사체연구본부

체의 항법정보를 계산할 수 있는 GPS 수신기로 구성되어 있다[1,2]. 지상에서 수행할 수 있는 단품수준(Component Level)에서의 다양한 환경시험과 항공기 비행시험을 포함한 여러 가지 성능시험, 나로호(Korea Space Launch Vehicle-I)의 상단부 탑재시스템과 함께 수행된 통합운용시험 및 시스템수준(System Level)의 환경시험을 통하여 위성발사체의 극한 비행환경과 비행시 발생하는 높은 동특성 환경에서도 안정적으로 동작할 수 있음을 검증하였다[1-4]. 이와 같이 검증된 GPS 수신기 시스템은 2009년 8월 25일 고흥에 위치한 나로우주센터에서 발사된 나로호의 비행 안전용 센서의 하나로 활용되었다[5-7]. 1차 비행 시험에서 나로호는 이륙 후 약 216초에 수행되는 페어링 분리과정에서 한쪽 페어링이 정상적으로 분리되지 못하여 탑재한 위성을 목표궤도에 투입시키지 못하였으나, 페어링 분리를 제외한 다른 문제는 발생하지 않았다[5-7]. 나로호에 탑재된 GPS 수신기 시스템도 페어링의 비정상 분리로 인해 발생한 텀블링 구간을 제외한 전 구간에서 정상적인 항법정보를 획득하였다[5].

GPS나 GLONASS와 같이 위성신호를 이용해 항법정보를 계산하는 GNSS(Global Navigation Satellite System) 수신기의 성능은 위성신호를 수신하는 안테나가 설치된 주변 환경에 의해서도 많은 영향을 받는다. 나로호에 설치된 GPS 수신기 시스템도 발사장의 주변 환경이나 GPS 안테나 근처에 위치한 다른 장애물에 의해 발생하는 다중경로(Multipath) 및 의도하지 않은 신호차단(Blockage)이나 신호간섭(Interference) 등에 의해 영향을 받을 것으로 예상되었다[8]. 나로호가 이륙한 이후에는 비행고도가 높아져 발사대 근처의 주변환경에 의한 영향은 사라지므로 비행중 GPS 수신기 시스템에서 계산된 나로호의 항법정보는 환경에 의한 오차성분이 크게 줄어든다. 그러나 실제로 나로호를 발사할 때에는 이륙 직전까지 나로호의 모든 서브시스템이 정상적으로 동작해야 하기 때문에 나로호에 설치된 GPS 수신기 시스템도 이륙 직전까지 나타나는 동작상태가 정상적인 성능을 보이고 있는지를 판단해야 한다. 그러므로 본 논문에서는 나로호가 나로우주센터의 발사대에 발사대기중일 때 나로호 탑재물 중 하나인 GPS 수신기 시스템의 성능에 영향을 줄 수 있는 발사장 주변의 환경요인을 분석하고, 나로호가 발사대에 실제 발사대기중일 때 GPS 수신기 시스템의 운용결과에 대하여 설명한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 발사대에 설치된 나로호와 나로호에 장착된 3개의

GPS 안테나의 배치에 대하여 간략히 설명한다. 3장에서는 발사환경 및 발사장 주변 환경에 의해 발생할 수 있는 GPS 수신기 시스템의 성능저하 요인에 대하여 분석하고, 발사대에 실제로 발사 대기하고 있는 나로호에서 GPS 수신기 시스템의 운용결과를 제시한다. 마지막으로 4장에서 결론과 향후 연구 과제를 제시한다.

II. 나로호에 설치된 GPS 안테나

전체 길이가 약 33m인 나로호는 총 2단으로 구성된 위성발사체로 2009년 8월 25일 고흥에 위치한 나로우주센터에서 처음으로 발사되었다[5-7]. 나로우주센터의 전경은 Fig. 1과 같으며, 발사를 위하여 발사 2일 전에 발사대에 위치한 나로호는 Fig. 2와 같다. 3개의 GPS 안테나를 포함한 상단부 안테나는 Fig. 2의 화살표로 표시된 1/2 단 연결부에 설치되어 있으므로 나로호가 발사대에 기립하고 있는 경우에 GPS 안테나는 지상으로부터 약 28m 높이에 위치하고 있다. GPS 위성의 가시성 및 다른 안테나와의 간섭 등을 고려하여 설치된 3개의 GPS 안테나는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 기체를 기준으로 각각 85°, 220°, 265°에 배치되어 있다[1]. 거대한 크기의 나로호에 비해 GPS 안테나가 설치될 수 있는 위치는 매우 제한적으로 주어지며, 동일위치에 S 밴드와 C 밴드 및 UHF 안테나와 같은 다른 안테나들과 자세제어를 위한 추력기뿐만 아니라 비행중 나타나



Fig. 1. Naro Space Center

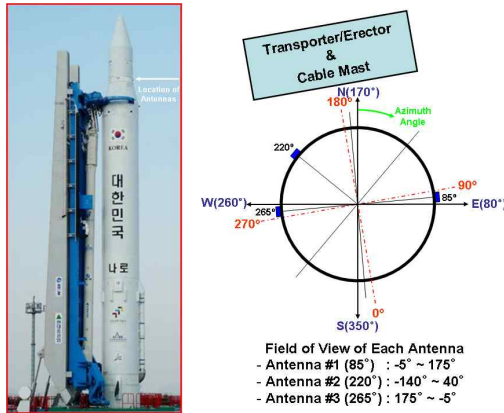


Fig. 2. Location of the GPS Antennas

는 공력가열로 인해 발생하는 고온으로부터 장차물을 보호하기 위한 다양한 카울(Cowl) 등이 설치되어야 하므로 최종적으로 3개의 GPS 안테나는 120°의 등간격으로 설치되지 못하였다[1]. 참고로 나로호의 비행시험 전에 나로호에 GPS 안테나가 Fig. 2와 같이 배치되었을 때 나로호의 예상되는 비행궤적에서의 가시성 분석을 통하여 충분한 개수의 가시위성을 확보할 수 있음을 확인하였다[1].

발사대에 설치된 나로호의 방향과 발사장 주변의 환경을 고려하여 안테나의 전면이 향하고 있는 주변 환경을 살펴보면 Fig. 1에서 주어진 바와 같이 GPS 안테나 #1은 바다를 향하고 있으며, GPS 안테나 #2는 마치산을 향하고 있고, GPS 안테나 #3은 바다에서 마치산 쪽으로 치우친 방향을 향하고 있다.

LNA(Low Noise Amplifier)를 포함한 GPS 안테나의 실제 방사패턴은 Fig. 3과 같이 측정되었으나, 이상적인 반구(Hemisphere) 형태의 전방향성(Omni-Directional) 방사패턴을 고려하면 각각의 GPS 안테나가 담당하고 있는 가시영역(Field of View)은 Fig. 4와 같이 계산됨을 알 수 있다 [9]. 여기서, θ 는 GPS 위성신호가 GPS 안테나로 수신되는 최소의 고각(Elevation Angle)으로 발사대 근처에 위치한 장애물에 의해 결정되며, 방위각(Azimuth Angle)에 따라 다르게 주어진다. 마치산을 향하고 있는 GPS 안테나 #2는 바다를 향하고 있는 GPS 안테나 #1에 비하여 θ 가 크므로 마치산 방향으로 낮은 고각을 갖는 위치에서 송신되는 위성신호는 GPS 안테나 #2에서 수신할 수 없을 것으로 예상된다. 또한 GPS 안테나가 위치한 1/2단 연결부에 함께 설치된 카울이나 다른 안테나에 의한 영향으로 GPS 안테나의 실

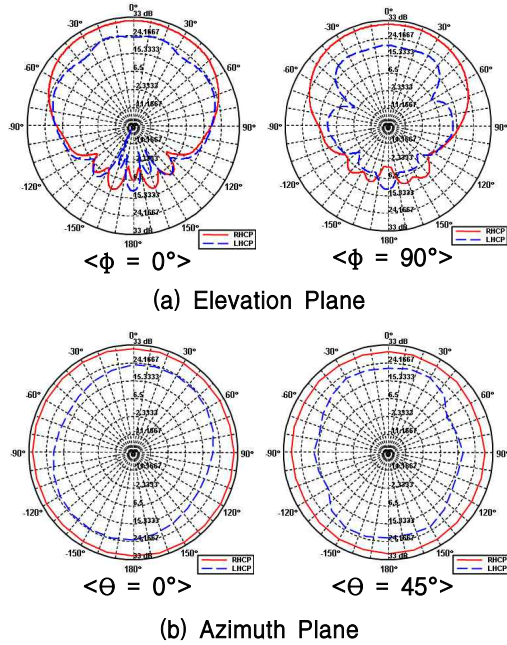


Fig. 3. Radiation Patterns of the GPS Antenna at 1.575GHz

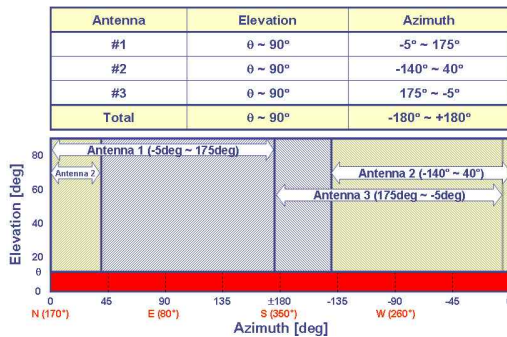


Fig. 4. Field of View of the GPS Antennas

제 가시영역은 Fig. 4에서 주어진 영역보다 좁을 것으로 예상되며, GPS 안테나가 나로호 기체의 측면에 설치되어 있으므로 나로호의 진행방향에 위치한 GPS 위성의 신호는 GPS 안테나의 이득이 낮아 수신이 원활하지 못할 수도 있다.

편파를 가진 RF(Radio Frequency) 신호가 장애물에 의해 반사되면 RF 신호의 편파특성이 바뀌므로 RHCP(Right Handed Circular Polarization)로 전송되는 GPS 신호가 장애물에 의해 정반사되는 경우에는 LHCP(Left Handed Circular Polarization) 특성을 갖는 신호로 바뀐다[13]. 그러므로 원래의 GPS 신호는 Fig. 3의 실선으로 주어진 방사패턴을 갖는 GPS 안테나로 수신되

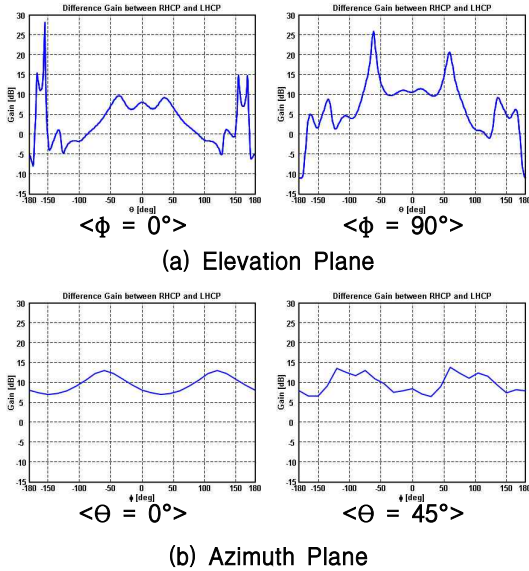


Fig. 5. Difference Gain between RHCP and LHCP of the GPS Antenna at 1.575GHz

며, 다중경로 신호는 주로 점선으로 주어진 방사패턴을 갖는 GPS 안테나로 수신된다. 나로호에 탑재된 GPS 안테나에서 RHCP와 LHCP의 이득 차이는 Fig. 5와 같이 GPS 안테나의 천정(Zenith) 방향에서 대략 10dB 전후이며, 낮은 고각에서는 RHCP와 LHCP의 이득 차이가 크지 않음을 볼 수 있다. 이와 더불어 일반적으로 지표면에 의한 다중경로에서는 낮은 고각을 갖는 위성의 다중경로 신호는 높은 고각을 갖는 위성의 다중경로 신호와 비교하여 지표면에 의한 신호감쇠가 상대적으로 작다[13]. 그러므로 고각이 낮은 위성에서 송신된 위성신호에서 다중경로에 의한 영향이 더 크게 나타남을 예상할 수 있다. 참고로 장애물에 의한 반사로 인해 LHCP로 편파가 바뀐 다중경로 신호는 다른 장애물에 의해 한번 더 반사되는 경우에 원래의 RHCP 특성을 나타내므로 모든 다중경로 신호가 점선으로 주어진 이득으로 수신되는 것은 아니다[13].

III. 발사장 환경에 의한 성능저하

나로호의 발사장은 Fig. 1과 같이 육지에서 바다로 이어진 마치산의 중턱에 조성한 부지에 위치하고 있다. 그러므로 발사장의 북서쪽으로는 해발 380여 미터의 마치산이 위치하고 있으며, 반대 방향으로는 바다에 인접해있다. 수직으로

기립한 나로호가 이륙시까지 대기하고 있는 발사대에서 바다까지의 거리는 약 200여 미터이다. 발사장 주변은 방수를 위해 코팅처리가 된 콘크리트와 일반 콘크리트 및 자갈로 이루어져 있으며, 낮은 높이의 부속건물이 몇 동 위치하고 있다. 이러한 환경은 나로호가 발사대에 비행대기중이거나 이륙직후에 GPS 수신기 시스템의 성능에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상되며, 실제로 나로호에 탑재된 GPS 수신기 시스템은 나로호가 발사대기중일 때 이러한 발사대 주변 환경에 의한 성능저하가 발생하였다.

3.1 다중경로(Multipath)

GPS 위성에서 송신된 신호를 이용하여 항법정보를 계산하는 GPS 수신기 시스템은 GPS 안테나가 설치된 주변 환경에서 발생하는 다중경로 오차에 의해 GPS 수신기 시스템에서 계산된 항법정보의 정확도가 크게 떨어질 수 있으며, 위성신호의 SNR(Signal to Noise Ratio)이 크게 흔들리거나 주파수 페이딩(Frequency Fading) 현상으로 인해 위성신호의 추적상태가 불량해 질 수 있다[10-12]. 그러므로 지상기준국이나 측위에 사용되는 GPS 수신기 시스템은 GPS 수신기에서 다중경로 오차를 줄일 수 있는 특수한 알고리즘을 이용하거나 다중경로 신호를 차단할 수 있도록 제작된 안테나를 사용하고, 주변 환경을 고려하여 최적의 장소에 GPS 안테나를 설치한다. 그러나 나로호에 탑재된 GPS 수신기에서는 다중경로 오차를 제거하기 위한 특수한 알고리즘이 적용되지 않았으며, 주변 환경을 고려하여 GPS 안테나를 설치할 수도 없으므로 나로호가 지상에서 발사대기하고 있을 때에는 GPS 수신기 시스템에서 계산된 항법정보에 다중경로 오차가 더해질 수 있음을 고려해야 한다. 특히 발사대에서는 고각이 높은 위성에서 송신된 신호와 비교하여 상대적으로 고각이 낮은 위성에서 송신된 신호에 많은 다중경로 신호가 더해져서 GPS 안테나로 수신되므로 이러한 위성신호의 SNR은 매우 크게 영향을 받는다.

다중경로 오차가 발생하는 환경에서 멀티패스로 인한 GPS 수신기의 영향성은 SNR의 변화나 Code와 Carrier의 차이를 통해서 확인한다[13]. 또한 주위 환경이 변하지 않는 곳에 장기간 설치된 GPS 안테나에서 수신된 신호를 이용할 수 있는 경우에는 GPS 신호의 일반복(Day-to-Day Repeatability) 특성을 통하여 확인할 수 있다[13].

발사장 주변 환경이나 발사대에 의해 발생할 수 있는 다중경로는 다음과 같이 3가지로 구분할

수 있다[8].

① 지표면 및 바다

나로호에 설치된 GPS 안테나는 하늘을 바라보도록 수직으로 설치되는 일반적인 GPS 안테나와는 달리 위성발사체의 특성 및 기체의 형태에 따라 Fig. 2와 같이 지상으로로부터 약 28m 떨어진 높이에 수평으로 설치되어 있으므로 지표면이나 바다에서 반사되는 다중경로 신호에 상대적으로 더 큰 영향을 받음을 예상할 수 있다. 실제로 나로호가 발사대에 발사대기하고 있을 때에 GPS 수신기 시스템에서 계산된 SNR을 살펴보면 매우 크게 출렁이는 현상이 관찰되었으며, 이러한 현상은 특히 육지보다는 바다 방향으로 위치하고 있는 GPS 안테나 #1에서 수신된 신호에서 심하게 나타났다. 참고문헌 [13]에서는 바다로부터 반사되는 멀티패스 신호의 세기는 원신호의 세기와 유사하거나 때때로 원신호보다 커지는 경우도 발생할 수 있음을 언급하고 있으며, 참고문헌 [14, 15]에서와 같이 바닷가에서 수행된 시험에서도 육지보다 바다에서 반사되는 멀티패스 신호에 의해서 SNR이 심하게 흔들리는 현상을 볼 수 있다. GPS 안테나 #1에서 수신된 SVID #32 위성 신호의 SNR은 나로호 이륙 전후에 Fig. 6에서와 같이 확연히 차이남을 확인할 수 있다. 나로호의 이륙 전에 수신된 위성 신호의 SNR은 다중경로에 의한 전형적인 주파수 페이딩 현상을 보여주고 있다. 나로호에 탑재된 GPS 수신기의 위성 신호 추적에 위한 문턱값(Threshold)은 6.0dB이므로 Fig. 6에서와 같이 SNR이 낮아져 6.0dB 이하로 떨어지는 경우에는 추적상태도 4(Frame Lock : 위성 신호의 추적이 완료되어 항법정보 계산에 사

용될 수 있는 상태) 또는 5(Positioning Lock : 위성 신호의 추적이 완료되어 실제 항법정보 계산에 사용되는 상태)를 유지하지 못하고 떨어짐을 확인할 수 있다. 이륙 후 얼마 지나지 않아 지표면이나 바다에 의한 다중경로의 영향이 사라지므로 위성 신호의 SNR은 이륙 직후 바로 안정되었다[5].

② T/E(Transporter/Erector)

Fig. 2와 같이 나로호에 장착되어 있는 T/E는 발사 50분 전부터 분리되기 시작하므로 그 전에는 T/E에 의해 발생한 다중경로 신호에 영향을 받을 수 있다. 또한 나로호에서 T/E가 분리되는 동안에는 T/E의 움직임에 의해 T/E가 부착되어 있는 위치와 가까이 설치된 GPS 안테나 #2에서 수신된 위성 신호의 SNR이 심하게 흔들리고, 진폭도 훨씬 커질 것으로 예상되었다. 실제로 나로호가 비행대기중일 때에 T/E가 분리되는 구간에서 GPS 수신기 시스템에서 측정된 위성 신호의 추적상태와 SNR은 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 볼 수 있듯이 T/E가 나로호에서 분리되는 동안에는 분리 전후와 비교하여 GPS 안테나 #2에서 수신된 위성 신호의 SNR이 상대적으로 심하게 흔들리고, 크기변화도 분리 전보다 훨씬 커짐을 확인할 수 있다. 또한 T/E의 분리 전에는 GPS 안테나에 가까이 위치한 T/E의 영향으로 수신된 위성 신호의 SNR의 크기변화가 상대적으로 작게 나타났으나, T/E가 분리된 이후에는 T/E의 분리 전에 T/E에 의해 차단되었던 지표면과 바다에서 오는 다중경로 신호에 의한 영향으로 안테나에 수신된 위성 신호의 SNR의 크기변화가 상대적으로 커졌음을 확인할 수 있다.

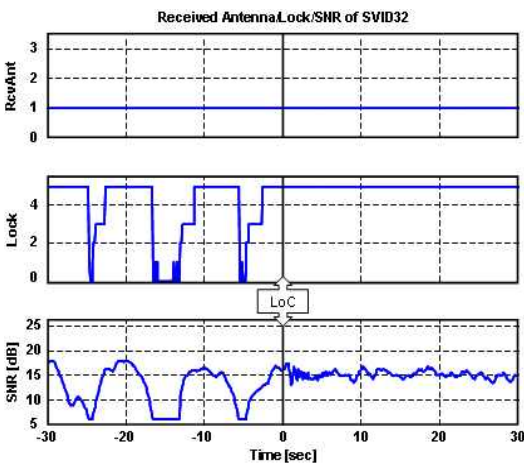


Fig. 6. SNR Change over Lift-Off±30sec

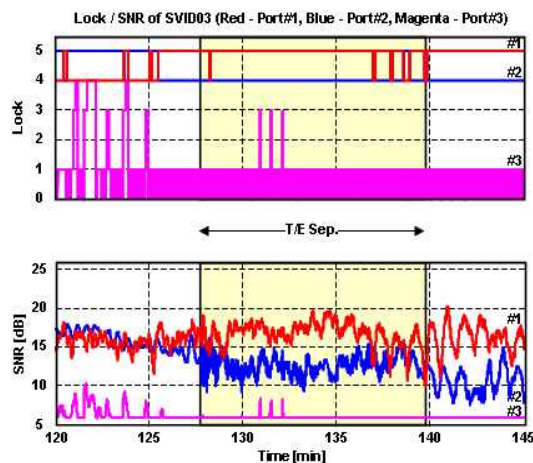


Fig. 7. SNR Change during T/E Separation

③ 나로호 기체

GPS 안테나가 설치된 나로호의 1/2단 연결부의 직경은 2.0m이며, 1단의 직경은 2.9m이고, 1/2단 연결 스킵트의 높이는 약 2.4m이다. 따라서 약 11° 이하의 고각을 갖는 GPS 위성으로부터 송신된 신호는 GPS 안테나에 직접 수신되는 신호와 1/2단 연결부에서 1단으로 이어지는 스킵트 형상의 기체에 의한 다중경로 신호가 더해져서 수신된다. 이 외에도 GPS 안테나 근처에 설치된 카울이나 다른 안테나에 의해 다중경로 오차가 발생할 수 있다.

나로호가 발사대에 발사대기중일 때에는 ① ~ ③에 주어진 다중경로 오차에 의해 GPS 수신기 시스템이 영향을 받게 되나, 이륙 이후에는 바로 나로호의 비행고도가 높아져서 ③에 주어진 다중경로 오차만 발생하게 되므로 비행중에는 ①과 ②에 의해 발생하는 다중경로 오차는 특별히 고려하지 않아도 된다. 또한 ③에 주어진 다중경로 오차에 의한 항법오차는 최대 수 미터 정도로 예상되므로 비행중에 다중경로 오차에 의한 항법오차는 크지 않을 것으로 판단된다.

발사 7분 56초를 남겨두고 발사체내 밸브들을 작동시키는 고압탱크의 압력 저하로 추정되는 이상이 발생해 자동시퀀스 시스템에 의해 발사가 중지되었던 2009년 8월 19일과 하루 전인 8월 18일에 수행된 LRR(Launch Readiness Rehearsal)에서 탑재된 GPS 수신기 시스템에서 계산된 항법정보는 Fig. 8과 같다. GPS 위성의 공칭주기가 11시간 58분이므로 Fig. 8에 주어진 항법정보는 하루 동안 4분간의 시간차를 고려하여 도시하였다. 나로호가 발사대기중일 때 GPS 수신기 시스템은 지표면이나 바다로부터 발생하는 다중경로 오차에 의한 영향으로 Fig. 8에서와 같이 순간적인 항법오차가 수십 미터에서 수백 미터까지 발생하고 있으며, 오차의 변화율도 매우 큰 것을 확인 할 수 있다. 또한 연속된 2일에 걸쳐 계산된 항법오차의 형태는 매우 유사한 패턴으로 반복되고 있음을 볼 수 있다. 그러므로 발사대에서 발사대기하고 있는 나로호에서 탑재된 GPS 수신기를 운용하였을 경우에 지상에서와 같이 일반적인 상황에서 GPS 수신기를 운용할 때보다 계산된 항법정보의 오차가 매우 크게 나타난 것은 발사장 주변 환경에 의해 발생하는 다중경로 오차에 의한 영향임을 확인할 수 있다. Fig. 8과 같이 발사대기시에 다중경로 신호에 의해 발생한 항법 오차는 나로호가 발사한 직후 고도가 높아지면서

지표면이나 바다에 의한 다중경로 오차가 사라져 비행구간에서는 순간적인 항법오차가 발생하지 않았다[5].

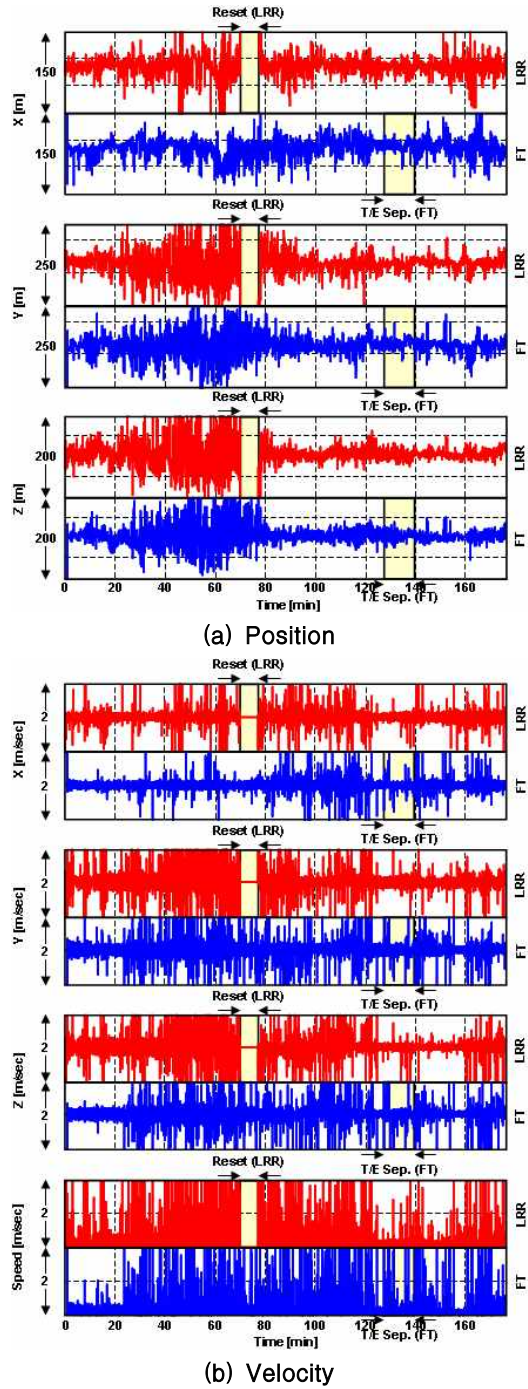


Fig. 8. Day-to-Day Repeatability of the Navigation Data(ECEF)

3.2 신호차단(Blockage)

앞에서 설명한 바와 같이 나로우주센터의 발사장에 발사대기하고 있는 나로호는 북서방향으로 해발 380여 미터의 마치산이 위치하고 있다. 발사대에 설치된 나로호의 GPS 안테나로부터 마치산까지의 거리와 마치산의 높이를 고려하여 계산된 마치산의 고각은 Fig. 9에 주어진 바와 같이 약 20°이므로 이 방향에서 약 20° 아래에 위치하고 있는 GPS 위성의 신호는 마치산에 의해 차단되어 수신할 수 없다. 또한 Fig. 10과 같이 발사대로부터 약 30m ~ 40m 정도 떨어진 위치에 설치되어 있는 3개의 낙뢰방지타워(Lightning Protection Tower) 방향에 위치한 GPS 위성에서 송신된 신호는 낙뢰방지타워에 의해 짧은 시간동안 차단되어 SNR이 떨어지거나 순간적으로 크게 흔들릴 수 있다. 이 외에도 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 나로호가 이륙하기 약 50분 전까지 나로호에 장착되어 있는 T/E에 의해 GPS 안테나의 가시영역이 가려지므로 T/E 방향에 위치하고 있는 GPS 위성신호의 수신이 차단될 수 있다. 이와 같이 나로호가 발사대에 발사대기하고 있을 때에는 발사대 주변 환경에 의해 GPS 위성신호가 차단될 수 있으나, 발사 이후에는 지상 환경에 의한 영향을 받지 않으므로 비행중에는 이와 같은 신호차단을 고려할 필요가 없다.

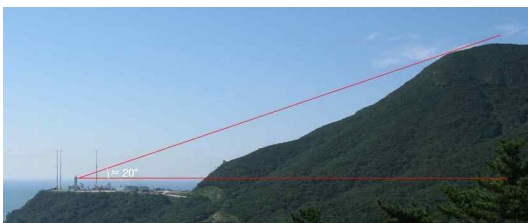


Fig. 9. Signal Blockage caused by the Mountain



Fig. 10. Lightning Protection Towers around Launch Pad

3.3 신호간섭(Interference)

지상에서 GPS 안테나에 수신되는 GPS 위성신호의 세기(Power)는 약 -160dBW로 열잡음(Thermal Noise)의 세기보다도 미약하다[16-18]. 이와 같이 매우 낮은 세기를 갖는 위성신호로부터 필요한 정보를 추출해 항법정보를 계산해야 하는 GPS 수신기 시스템은 GPS 위성신호와 다른 신호와의 간섭이 발생하는 경우에 매우 취약하다[16-18]. 악의적인 신호간섭을 배제하더라도 사용하고자 하는 RF 신호가 점점 늘어나고 있는 현대에는 위성신호 수신 환경이 더욱 복잡해지고 있다[18].

나로호에 탑재된 상단부 전자장비들은 단품수준 및 시스템수준에서의 전자파시험을 통하여 각 전자장비 사이의 전자파간섭으로 인한 성능저하가 발생하지 않음을 확인하였다[19,20]. 그러나 전자파시험은 외부 전자파가 차단된 챔버(Chamber) 안에서 수행되므로 나로우주센터의 발사장에서와 같이 고려되지 않은 전자파가 다양하게 상존하는 환경과는 다르다. 특히 나로호가 실제 비행할 때에는 나로우주센터의 지상레이더 신호뿐만 아니라 해군 함정의 추적레이더, 각 방송사의 방송송출신호 등이 혼재하는 환경에서 GPS 수신기 시스템이 운용되어야 하므로 이러한 신호에 의해 신호간섭 문제가 발생할 수 있다[8].

나로호가 발사대기중일 때에 GPS 수신기 시스템과 1단 텔레메트리 시스템(Telemetry System) 및 다른 시스템과의 간섭현상은 발생하지 않았으나, 2단 송신기와 신호간섭 문제가 발생하여 GPS 안테나 #2에서 수신되는 위성신호의 SNR이 낮아졌다[5,8]. GPS 수신기 시스템이 켜져 있는 상황에서 2단 텔레메트리 시스템이나 영상시스템(Video Control Unit)의 전원을 인가하는 시점에서 GPS 안테나 #1 및 #3에서 수신되는 신호는 별다른 영향을 받지 않았으나, GPS 안테나 #2에서 수신되는 위성신호의 SNR은 Fig. 11 및 Fig. 12에서 볼 수 있는 바와 같이 감소되었다. 이러한 현상은 FM(Flight Model)을 이용한 비행시험에서뿐만 아니라 GTV(Ground Test Vehicle)를 이용하여 수행된 LCQT(Launch Complex Qualification Test) 중에도 발생하였다. 상황에 따라 신호감쇠의 크기 및 현상은 미미한 차이가 있었으나, GPS 안테나 #2에서 수신된 위성신호의 SNR은 텔레메트리 시스템과 영상시스템에 전원이 인가되는 순간에 각각 약 0.5dB ~ 1.0dB 및 4.0dB ~ 6.0dB 정도의 신호감쇠가 발생하였다. 이러한 현상은 텔레메트리 시스템과 영상시스템

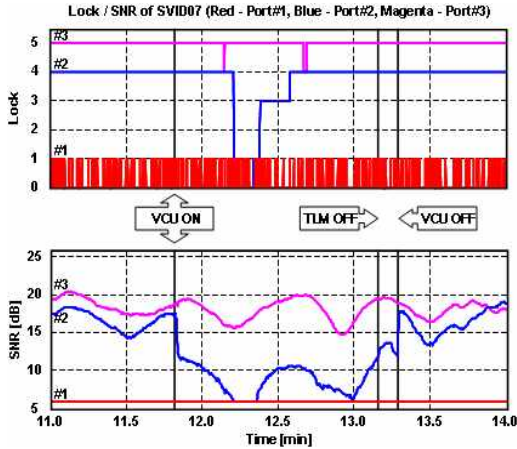


Fig. 11. Attenuation of the GPS Signal due to the Interference(1)

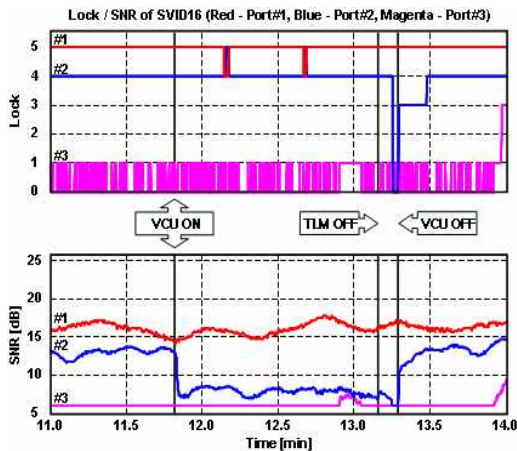


Fig. 12. Attenuation of the GPS Signal due to the Interference(2)

의 전원이 차단되는 순간에 복구되었으며, 발사대에서 나로호의 2단 송신기가 동작하고 있는 동안에는 계속되었다. 그러므로 나로호 이륙 직후에는 대부분 GPS 안테나 #1과 #3에서 수신된 위성신호를 이용하여 항법정보를 계산하였으며, 이륙 후 약 100초 전후부터 GPS 안테나 #2에서 수신된 신호가 항법정보 계산에 사용되었다[5].

3개의 GPS 안테나에서 수신된 위성신호중에서 GPS 안테나 #2에서 수신된 위성신호에서만 신호 감쇠가 발생한 원인은 확실하지 않다. 다만 3개의 안테나 중에서 GPS 안테나 #2가 송신기와 연결된 S 밴드 안테나에 가장 가까우며, 지상 레이더의 송신방향에 설치되어 있으므로 GPS 안테나 #2가 상대적으로 신호간섭에 가장 취약할 것으로 예상하고 있다. 또한 시스템수준에서 수행된

전자파시험에서는 아무런 문제가 없었으므로 안테나 #2에서 수신된 신호에서 발생한 신호간섭 현상은 2단 송신기 자체에서 발생하는 전파신호의 의한 것이 아니라 지상시스템과의 IM(Inter-modulation)으로 발생한 것으로 추측하고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 2009년 8월 25일에 나로우주센터에서 발사된 나로호가 발사대에서 발사대기중일 때 나로호에 탑재된 GPS 수신기 시스템의 성능에 영향을 줄 수 있는 발사장 주변의 환경요인을 분석하고, 실제 운용결과를 설명하였다. 바다로 이어진 마치산의 중턱에 조성한 부지에 위치하고 있는 발사장의 주변 환경은 GPS 수신기 시스템에서 항법정보를 계산할 때에 다중경로 오차를 유발시킬 수 있다. 특히 GPS 안테나의 전면이 하늘을 바라보도록 설치되는 일반적인 경우와는 달리 GPS 안테나가 기체의 특성에 따라 지상에서 약 28m 높이에 수평으로 설치된 나로호의 GPS 수신기 시스템은 발사장에서 지표면이나 바다에서 오는 다중경로 오차로 인해 항법정보의 정확도가 떨어지고, 위성신호의 SNR이 심하게 흔들리며, 주파수 페이딩 현상이 발생해 신호추적 상태가 불안정해졌다. 또한 나로호는 탑재된 탑재물들의 개발시에 이미 단품수준 및 시스템수준에서 수행된 전자파시험을 성공적으로 통과하였으나, GPS 안테나 #2에서 수신된 위성신호의 SNR이 지상시스템 및 텔레메트리 시스템이나 영상시스템과의 신호간섭으로 인하여 최대 약 7.0dB 정도의 신호감쇠가 발생하였다.

나로호가 발사대에 대기하고 있을 때에 GPS 수신기 시스템에 나타난 성능저하는 대부분 나로호의 이륙 후 비행고도가 높아지면서 사라졌다. GPS 안테나 #2에서 수신된 위성신호의 신호간섭으로 인한 감쇠는 이륙 후 그 영향이 계속 줄어들다가 약 100여초 전후까지 계속되었으나, GPS 수신기의 항법정보는 GPS 안테나 #1과 #3에서 수신된 신호만으로도 정상적으로 계산되어 나로호의 비행중 GPS 수신기 시스템의 성능에는 큰 영향이 없었다.

이번에 수행된 1차 비행시험에서 나로호는 한쪽 페어링이 완전히 분리되지 않아 주어진 임무달성에 실패하였으나, GPS 수신기 시스템을 포함한 대부분의 탑재물들은 정상적인 성능을 보였다. 한국항공우주연구원에서는 나로호의 문제점을 보완하여 앞으로 예정된 나로호 2차 발사의 비행성공을 위하여 노력할 것이다.

참고문헌

1) 최형돈 외, *위성발사체 탑재시스템 정밀도 및 신뢰도 향상 기술 연구 (I~V)*, 한국항공우주연구원, 2003~2007.

2) 권병문, 문지현, 신용설, 최형돈, 조광래, "위성발사체용 GPS 수신기 시스템의 개발," *한국항공우주학회지*, 제36권, 제9호, 2008, pp. 92~937.

3) B.M.Kwon, J.H.Moon, H.D.Choi, G.R.Cho, "Comparative Performance Analyses of GPS Receivers under High-Dynamic Conditions," *2008 IFAC World Congress*, Jul. 2008, pp. 4725~4730.

4) 권병문, 문지현, 신용설, 최형돈, "항공기를 이용한 비행시험에서 KSLV-I GPS 수신기 시스템의 정확도 분석," *제10회 우주발사체기술 심포지움*, 2009, pp. 157~162.

5) *소형위성발사체(KSLV-I) 1차 비행시험 보고서*, 한국항공우주연구원, 2009. 9.

6) 노웅래, 조상범, 고정환, 선병찬, 김정용, 박정주, 조광래, "나로호 발사체 1차 비행시험에서의 궤적 및 자세 분석," *한국항공우주학회지*, 제38권, 제3호, 2010, pp. 213~220.

7) 고정환, 최규성, 심형석, 노웅래, 박정주, 조광래, "나로호(KSLV-I) 1차 비행시험 비행안전 운영," *한국항공우주학회지*, 제38권, 제3호, 2010, pp. 280~287.

8) 권병문, 문지현, 최형돈, "나로우주센터 발사대에 위치한 나로호에서 GPS 수신기 시스템의 운용," *The 16th GNSS Workshop*, 2009.

9) 권병문, 문지현, 박문수, 최형돈, "수직으로 위치한 위성발사체에서 GPS 수신기 시스템의 가시영역 분석과 운용시험," *한국항공우주학회 추계 학술발표회*, 2005, pp. 808~811.

10) P.Axelrad, C.J.Comp, P.F.Macdorran, "SNR-based Multipath Error Correction for GPS Differential Phase," *IEEE Trans. on Aero. and Elec. Sys.*, Vol. 32, No. 2, Apr. 1996, pp. 650~660.

11) J.M.Tranquilla, J.P.Carr, "GPS multipath field observations at land and water sites," *Navigation*, Vol.37, No.4, Winter 1990-1991, pp. 393~414.

12) J.Auber, A.Bibaut, J.Rigal, "Characterization of Multipath on Land and Sea at GPS Frequencies," *The 7th Int. Technical Meeting of the Satellite Division of the Inst. of Navigation*, Vol.2, Sep. 1994, pp. 1155~1171.

13) M.S.Braasch, *Global Positioning System: Theory and Applications, Vol. I, Chapter 14, Multipath Effects*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1996.

14) 신용설, 문지현, 권병문, 최형돈, "멀티패스 환경에서 나로호 GPS 수신기의 성능분석," *한국항공우주학회 추계 학술발표회*, 2009, pp. 795-800.

15) 신용설, 권병문, 문지현, 최형돈, "멀티패스에 의한 항법정보와 신호대잡음비의 특성 연구," *한국항공우주학회 춘계 학술발표회*, 2010.

16) R.J.Landry, A.Renard, "Analysis of Potential Interference Sources and Assessment of Present Solutions for GPS/GNSS Receivers," *The 4th Saint-Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems*, May 1997.

17) A.Pinker, C.Smith, "Vulnerability of the GPS Signal to Jamming," *GPS Solutions*, Vol.3, No.2, Oct. 1999, pp. 19~27.

18) F. Butsch, "A Growing Concern: Radio Frequency Interference and GPS," *GPS World*, Vol. 13, No. 10, Oct. 2002, pp. 40~46.

19) 권병문, 문지현, 최형돈, 조광래, "위성발사체용 GPS 수신기 시스템의 전자파시험 - Part I. 시험개요 및 방사시험, Part II. 내성시험," *한국항공우주학회지*, 제35권, 제4호, 2007, pp. 329~346.

20) 문지현, 권병문, 신용설, 최형돈, "KSLV-I 상단 조립체의 전자파시험에서 GPS 수신기 시스템의 성능분석," *항공우주기술*, 제7권 제1호, 2008, pp. 161~168.