

技術論文

아리랑 1호 탑재 GPS 수신기의 궤도 상 성능 분석

김해동*, 이진호*, 김은규*, 최해진*

Performance Analysis of the KOMPSAT-1 GPS Receiver

Hae-Dong Kim*, Jin-Ho Lee*, Eun-Kyou Kim* and Hae-Jin Choi*

ABSTRACT

In this paper, the performance of the KOMPSAT-1 GPS receiver on orbit was analyzed. OD (Orbit Determination) accuracy using GPS navigation solutions and GPS visibility were investigated with respect to the configuration of the GPS receiver. Indeed, the problem such as "3D Fix Loss" observed during the mission was presented. As a result, the OD accuracy of "Best-of-4" Position Fix Algorithm with 0 degree of mask angle was slightly better than that of "N-in-View" Position Fix Algorithm. On the other hand, the GPS visibility under "N-in-View" Algorithm is better than that of "Best-of-4" Algorithm. The occurrence of temporal 3D Fix Loss is reduced when the "N-in-View" Position Fix Algorithm was selected.

초 록

본 논문에서는 6년째 운용되고 있는 아리랑 1호에 탑재된 GPS 수신기의 실제 궤도 상 성능을 분석하였다. 수신기의 환경변수 설정에 따라 지상에서 수행하는 궤도결정 정밀도 변화, GPS 위성 가시성을 분석하였으며, 실제 궤도에서 운영 중 관측되는 문제점에 대해서 기술하였다. 분석 결과, 항행해를 구하는 Position Fix Algorithm을 "Best-of-4" 로 설정한 상태에서 획득한 항행해를 이용한 지상 궤도결정 정밀도가 "N-in-View" 설정 상태의 결과 보다 약간 높았으며, 이때 'Mask Angle'은 0도로 설정하는 것이 유리함을 알 수 있었다. 반면, "N-in-View" 방식하에서는 GPS 위성에 대한 가시성이 조금 높았으며, 일시적인 3D Fix Loss 발생 빈도 수도 상대적으로 적은 것을 알 수 있었다.

Key Words : KOMPSAT-1 (아리랑 1호), GPS Navigation Solutions (GPS 항행해), Orbit Determination (궤도결정), GPS Receiver (GPS 수신기)

1. 서 론

우리나라 최초의 실용급 위성인 아리랑 1호 (KOMPSAT-1)는 지난 1999년 12월 21일 발사된 이후 현재까지 (2005년 2월 현재) 6년째 정상적으로 운영되고 있다. 아리랑 1호의 GPS 수신기는 위성체 내부 컴퓨터의 시각 동기, 위성체 내

부 궤도전파기에 대한 기준 위성 위치 및 속도 정보 제공, 그리고 지상에서 궤도결정 수행 시 관측데이터로써 GPS 항행해를 제공하기 위해 탑재되었다.

지상에서 수행되는 궤도결정은 정확한 임무계획 및 안정적인 위성 관제에 매우 중요한데, 위성에 탑재된 GPS 수신기로부터 전송받은 데이터를 사용하는 것은 한 곳의 관제소에서 운영하는 환경 하에서 정밀한 관측데이터를 대량으로 쉽게 획득할 수 있다는 큰 장점이 있다. 아리랑 1호의 경우 전송 받을 수 있는 데이터는 항행해 (Navigation Solutions) 이며, Carrier Phase 데이

† 2005년 3월 21일 접수 ~ 2005년 5월 2일 심사완료

* 정희원, 한국항공우주연구원 지상수신관제그룹
연락처자, E-mail : haedkim@kari.re.kr
대전시 유성구 어은동 45번지

터 혹은 Code 데이터들은 얻을 수 없다. 아리랑 1호의 경우 GPS 항행해를 이용하여 운용을 위한 일상적인 궤도결정을 수행할 경우 약 5 m 수준의 정밀도를 얻을 수 있으며[1], 일반가속도의 추정 및 Box-wing 모델을 이용한 대기 저항력 추정 시 약 2 m 수준 내외의 정밀도까지 얻을 수 있다[2].

아리랑 1호에 탑재된 GPS 수신기는 General Dynamics (舊 Motorola)社의 Viceroy™ GPS 수신기이며[3], 매 1초 마다 GPS 항행해를 생성하나 지상에서 전송받은 데이터의 간격은 32초이다. 지난 2000년 5월 1일부로 S/A (Selective Availability)가 해제된 상태에서 L1 주파수, C/A 코드를 수신하는 Viceroy™ GPS 수신기가 생성하는 항행해의 정밀도는 위치 30 m (1σ), 속도 0.2 m/s (1σ) 이하이다[3]. 이 수신기는 총 10개의 채널을 가지고 있으며, Mask Angle, DOP (Dilution of Precision) hysteresis, 2D DOP Threshold, 그리고 Position Fix 알고리즘에 대한 환경변수 (Configuration)들을 변경할 수 있다[4].

수신기의 환경변수 설정에 따른 성능 특징 분석은 참고문헌 [4]에서 수행한 바 있으나, 이들 조건 변경에 따른 지상에서의 궤도결정 정밀도 변화는 수행하지 않았다. 반면, 앞서 언급한 바와 같이 생성된 항행해를 이용하여 지상에서 수행한 궤도결정 결과에 대한 분석은 참고문헌 [1,2]에서 수행하였으나, 수신기의 환경변수는 기본값으로 고정된 상태에서 분석하였다.

본 논문에서는 실제 궤도상에서 운영 중인 아리랑 1호에 탑재된 GPS 수신기의 환경변수 설정에 따른 지상 궤도결정 정밀도 변화, GPS 위성 가시성 변화에 대해 기술하였다. 또한, 지난 5년간 궤도상에서 운영하면서 관측되어진 문제점에 대해서도 기술하였다.

II. GPS 수신기 환경 설정

앞서 언급한 바와 같이 아리랑 1호에 탑재된 GPS 수신기는 지상에서 명령을 통해 다음 표 1에서 보이는 환경 변수들을 설정할 수 있다.

표 1. GPS 수신기 기본 환경

Items	Default Values
Mask Angle (deg.)	0
DOP Hysteresis	6.0
2D DOP Threshold	20.0
Position Fix Algorithm	N-in-View

표 3에서 보여지는 변수들은 현재 일상적인 운용을 위해 설정되어진 기본값 들이며, 참고문헌 [4]를 통해 GPS 수신기의 성능을 강건성 (Robustness) 관점에서 판단하여 선택한 값들이다. 이들 변수 중 Mask Angle (Elevation) 과 Position Fix Algorithm은 GPS 위성들로 받는 신호의 가시성과 항행해를 계산하는데 직접적인 영향을 주는 변수들이며, 나머지 변수들은 GPS 위성 가시성 민감도와 관련된다. 'N-in-View' 방식의 Position Fix Algorithm은 GPS 수신기의 채널에서 수신 가능한 모든 GPS 위성들 중 최대 6개까지의 위성신호를 이용하여 항행해를 계산하고, 'Best-of-4' 방식은 수신 가능한 GPS 위성 신호 중 신호세기 및 기하가시성이 좋은 4개 신호만을 선택하여 항행해를 계산한다.

본 논문에서는 DOP Hysteresis와 2D DOP Threshold의 값은 최대치로 고정시킨 후 Mask Angle과 Position Fix Algorithm의 변경에 따른 지상 궤도결정 정밀도의 변화를 살펴보았다. 변수들의 조건들은 다음 표 2와 같으며, 2004년 8월 21일부터 2004년 10월 15일까지 지상 명령을 통해 Position Fix Algorithm에 따라 각각 Mask Angle을 0, 5, 10, 15도로 변경하여 각 경우 별로 최소 5일 이상 운영을 하면서 분석에 필요한 데이터들을 획득하였다.

표 2. GPS 수신기 기본 환경

Items	Values Used
Mask Angle (deg.)	0, 5, 10, 15
Position Fix Algorithm	N-in-View, Best-of-4

III. 환경변수 설정에 따른 항행해를 이용한 지상 궤도결정 정밀도 변화

Position Fix Algorithm과 Mask Angle을 변경하면서 획득한 GPS 항행해 (위치 데이터) 를 전송받아 지상에서 궤도결정을 수행한 결과는 다음 표 3에 정리하였다. 실제 궤도를 알 수 없으므로 간접적인 방법인 중첩법(Overlap Method)을 통해 정밀도를 평가하였으며[5], 연속되는 30시간 데이터를 이용하여 궤도결정을 수행한 후 중첩되는 6시간 중 양끝 효과 (End Effect)를 고려하여 각 결정궤도의 끝 1시간을 제외한 중복되는 4시간 동안의 상호간의 위치 차이를 구하였다. 각 결과들은 각 환경변수를 변경한 후 5일 간 획득한 데이터를 이용한 결과들의 평균값이다.

지상 궤도결정은 MicroCosm S/W를 사용하였

표 3. GPS 환경변수에 따른 지상 궤도결정 결과

Mask Angle (deg.)	Best-of-4		N-in-View	
	Residual of Measurement (m)	3-D RSS (m)	Residuals of Measurement (m)	3-D RSS (m)
0	7.811	3.138	8.173	3.637
5	7.998	3.839	8.132	3.628
10	8.638	3.531	8.540	4.796
15	8.164	3.949	8.443	4.035
Average	8.153	3.614	8.322	4.024

으며[6], 추정파라미터는 위치, 속도, Cd (Drag coefficient), Cr (Radiation coefficient)이며, 동역학 모델로는 지구중력장 (JGM3, 70x70), 태양과 달 인력, 대기저항력 (Jacchia 71), 그리고 태양복사압이 고려되었다.

분석 결과, 표 3에서 보는 바와 같이 Position Fix Algorithm은 평균 3-D RSS가 'N-in-View' 경우 4.024 m 인데 반해, 'Best-of-4' 인 경우 3.614 m 로 다소 정밀도가 높은 것을 알 수 있었다. 이와 함께 관측데이터의 잔차 (Residual)도 평균적으로 'Best-of-4' 의 경우 8.153 m 로써 'N-in-View' 보다 약 0.169 m 정도 줄어든 것을 알 수 있었다. 즉, GPS 항행해를 이용한 지상 궤도결정 정밀도 측면에서 보면 'Best-of-4' 방식이 유리하다는 것을 알 수 있었다.

Mask Angle에 따라 살펴보면, 'Best-of-4' 방식에서는 0도 일 경우가, 'N-in-View' 방식에서는 5도인 경우 정밀도가 가장 높았다. 반면에, 두 방식에 대해 각각 Mask Angle이 15도, 10도 인 경우 정밀도가 가장 낮은 것을 알 수 있었다. 결과적으로 항행해를 이용한 지상 궤도결정 정밀도 측면에서는 'Best-of-4' 방식에서 Mask Angle은 0도로 설정하는 것이 가장 유리하였다.

참고로, Position Fix Algorithm 방식에 따른 수신기의 추적 가능 GPS 위성 개수 및 실제 추적하는 GPS 위성의 평균 개수 변화를 살펴보면 다음 표 4와 같다. 이때, 앞서 언급한 지상 궤도결정 정밀도 측면에서 Mask Angle에 따라 가장 좋은 경우 (Best Case) 와 나쁜 경우 (Worst Case) 에 대해서만 정리하였다. 표 4, 5에서 보는 바와 같이 전반적으로 Mask Angle의 값만 살펴보면 Angle이 클수록 추적가능 위성개수와 추적되는 위성개수가 적어지는 것을 알 수 있다. 표 3에서의 정밀도 측면에서 좋은 결과를 보인 Mask Angle에서 'Best-of-4' 방식에서는 추적가능한 GPS 위성이 10.699개, 실제 추적하고 있는 위성 개수는 7.063개로 'N-in-View' 방식보다 각각 0.5개, 0.4개 적었다.

표 4. GPS 위성 추적 개수 (Best-of-4)

Date	Mask Angle(deg.)	Visible GPS SVs	Tracked GPS SVs
2004/9/2 (Best Case)	0	10.699	7.063
2004/9/8 (Worst Case)	15	7.284	6.438

표 5. GPS 위성 추적 개수 (N-in-View)

Date	Mask Angle(deg.)	Visible GPS SVs	Tracked GPS SVs
2004/9/26 (Best-of-Case)	5	11.205	7.459
2004/10/3 (Worst Case)	10	8.447	7.080

IV. 궤도 운영 상 문제점

GPS 수신기는 정상적인 해를 구하기 위해 최소 4개 이상의 GPS 위성 신호를 수신하여야 한다. 만일 추적하는 GPS 위성 개수가 3개일 경우에는 정밀도가 떨어지는 유사(Pseudo) 항행해를 출력하게 되고, 3개 미만일 경우에는 해를 구하지 못하게 된다. 추적하는 GPS 위성 개수가 3개 미만이 되어 항행해를 전혀 계산하지 못하게 되는 경우 이를 "3D Fix Loss" 라고 칭한다.

GPS 수신기 내부에 특별한 문제가 없는 경우에도 궤도 운영 시 지구 주위를 선회하면서 GPS 위성 가시성에 따라 순간적으로 3D Fix Loss가 발생할 수 있으며, 가시성이 회복되면 곧 4개 이상의 GPS 위성 신호를 수신하여 다시 항행해를 계산하기 시작한다. 그럼에도 불구하고, 실제 아리랑 1호의 궤도 운영 시 3D Fix Loss 상태에서 벗어나지 못하고 지속됨으로써 지상에서 다시 위성 궤도정보를 송신하여 3D Fix Loss 상태에서 벗어나도록 조치하지 않으면 안 되는 경우

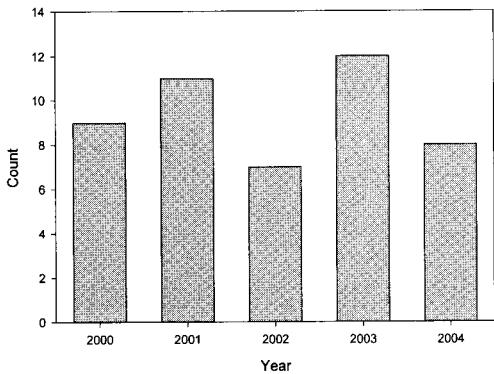


그림 1. 년도 별 장시간 3D Fix 발생횟수

가 종종 발생하였다. 이는 GPS 수신기가 초기화가 되면서 기존의 위성궤도 (Ephemeris)가 지워지기 때문으로 보이며, 그 원인에 대해서는 우주 방사 환경의 변화 또는 내부 소프트웨어 결함으로 추정하고 있다. 이처럼 일시적인 3D Fix Loss 상태가 아닌, 지속적으로 이런 문제점이 발생한 경우를 연도 별로 정리하면 다음 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는 바와 같이 1999년 12월 21일 발사 후 2004년 12월까지 총 47회가 발생하였고, 특별히 운영 기간이 길어지면서 발생횟수가 늘어나는 경향은 없었다. 발생 주기는 평균 35.15일이었으며, 최소 발생 주기는 0.44일, 최대 주기는 163.3일 이었다. 3D Fix Loss가 발생할 경우 지상에서 위성 궤도 정보를 전송하도록 하는데, 전송이 된 이후 다시 3D Fix가 이루어질 때까지 소요된 시간을 살펴보면 평균 7시간 38분 13초가 필요했으며, 최소 4분 30초, 최대 23시간 3분 10초가 소요된 적이 있었다. 이들 결과는 표 6과 7

에 정리하였다.

표 6. 3D Fix loss 발생 빈도

평균	35.15일
최소	0.44일
최대	163.3일

표 7. 3D Fix Re-acquisition 소요시간

평균	07:38:13
최소	00:04:30
최대	23:03:10

3D Fix Loss가 발생하여 지속적으로 항행해 계산이 불가능하기 시작한 지점을 위성직하지점으로 표시하면 그림 2와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 발생 지점은 주로 극지방을 선회할 때이며, 북극과 남극 지역 중에는 북극을 선회할 때 빈도수가 상대적으로 더 많았다. 이는 지구자기장이 극지역에서는 상대적으로 열려있어 고에너지 입자 유입이 많고, 방사환경이 크게 변화하는 지역이라는 점에서 우주환경의 변화에 의해 GPS 수신기가 초기화가 되고, 소프트웨어적으로 이를 극복하지 못하기 때문에 3D Fix 재획득 (Re-acquisition)이 되지 못한 것으로 추정하고 있다. 환경변수 설정에 따라 일상적으로 1일 동안 일시적으로 발생하는 3D Fix Loss 횟수를 살펴 보면 다음 그림 3, 4, 5, 6과 같다(발생지점 0값). 그림에서 보는 바와 같이 'N-in-View' 방식을 채택하였을 경우 1일 동안 순간적으로 발생하는 3D Fix Loss 횟수가 'Best-of-4' 방식을 채택했을

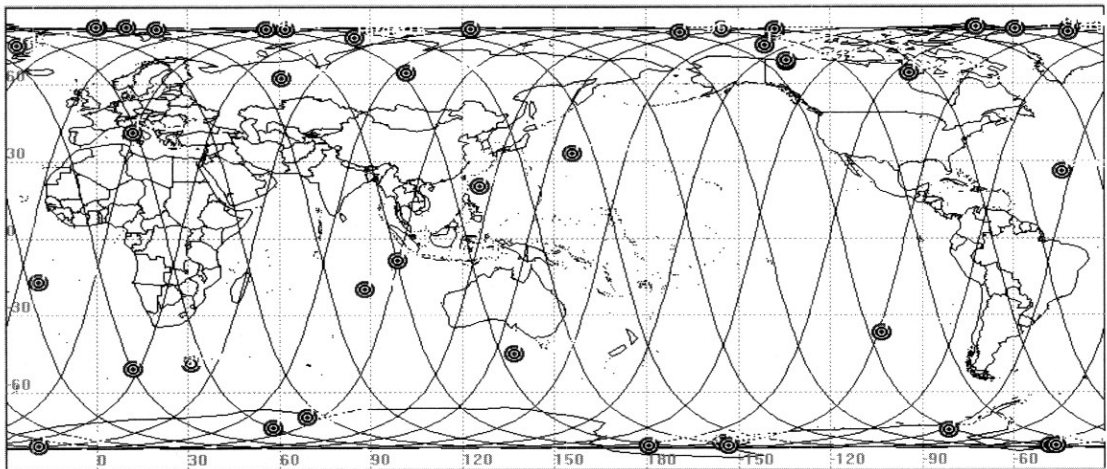


그림 2. 3D Fix Loss 발생 경. 위도 지점 (2000. 3. 1 ~ 2004. 11. 1)

경우 보다 대체적으로 적음을 알 수 있다. 'Best-of-4' 의 경우 Mask Angle 이 15도 인 경우 나 0도, 즉 지상 결정궤도 정밀도 측면에서 좋은 경우와 나쁜 경우 대체적으로 유사한 빈도 수를 보여주고 있으나, 'N-in-View' 인 경우 Mask Angle이 높아짐에 따라 빈도 수가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 위성체에서 직접 GPS 항행해를 이용할 경우 강건성 측면에서는 'N-in-View' 방식하에서 낮은 Mask Angle을 설정하는 것이 유리하였다.

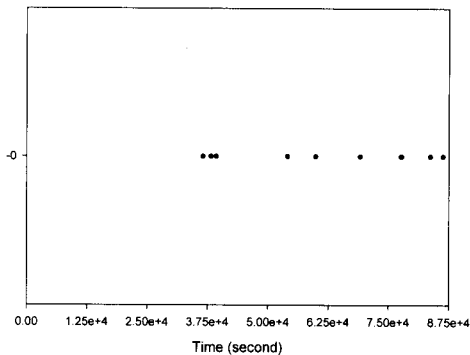


그림 3. N-in-View (5 deg.)

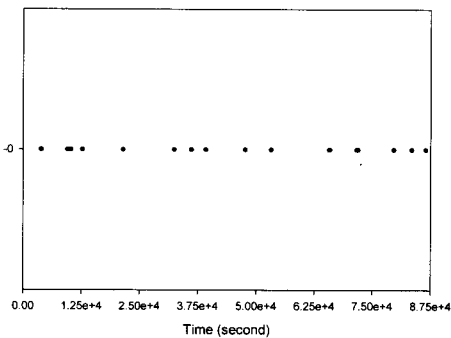


그림 4. N-in-View (10 deg.)

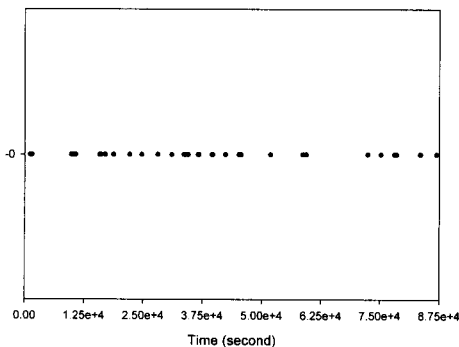


그림 5. Best-of-4 (15 deg.)

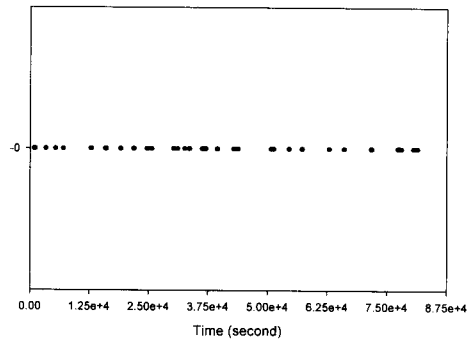


그림 6. Best-of-4 (0deg.)

V. 결 론

본 논문에서는 아리랑 1호에 탑재된 GPS 수신기의 실제 궤도 상 성능 및 운영상 관측된 문제점에 대해 기술하였다.

GPS 항행해를 관측데이터로 하여 지상에서 궤도결정을 수행할 경우 중첩법을 이용한 궤도정밀도 측면에서는 'Best-of-4' 방식에서 Mask Angle을 0도로 설정하는 것이 유리함을 알 수 있었다. 반면에, 일시적으로 발생하는 3D Fix Loss 발생 빈도는 'N-in-View' 방식인 경우 횡수가 상대적으로 감소함을 알 수 있었다. 따라서, 위성체에서 항행해를 직접 이용하는 경우에는 강건성 측면에서 'N-in-View' 방식이 유리하다. 아리랑 1호의 경우 평균적으로 약 35일 마다 3D Fix Loss가 발생한 후 이를 극복하지 못하고 항행해를 지속적으로 계산하지 못하는 문제점이 발생함을 관찰하였으며, 주로 극 지역을 선회할 때 상대적으로 많이 발생함을 알 수 있었다. 이 문제점은 극 지역의 우주방사 환경 변화 혹은 이와 관련된 수신기 내부의 알고리즘 자체의 문제점에 기인하는 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 김해동, 최해진, 김은규, "GPS 항행해를 이용한 아리랑 1호의 궤도결정 성능분석 연구", 한국항공우주학회지, 제 32권, 제 4호, 2004, pp.43-52.
- 2) Kim, H. D., Kim, E. K., Choi, H. J., "Orbit Determination for the KOMPSAT-1 Spacecraft during the period of the solar maximum", Presented at 35th COSPAR, Paris, 2004.
- 3) Viceroy™ GPS Spaceborne Receiver, 2002, General Dynamics Decision Systems, Scottsdale, AZ, pp.1-2.

4) Lee, J. H., Baek, M. J., Koo, J. C., Yong, K. L., Chang, Y. K., "KOMPSAT-1 Satellite Orbit Control using GPS Data", KSAS International Journal, Vol. 1, No. 2, Nov. 2000, pp.43-49.

5) Bertiger, W., Bar-Server, Yoaz., Haines, B., Ibanez-Meier, R., et al, "The First Low Earth

Orbiter with Precise GPS Positioning : Topex/Poseidon", *Proc. ION GPS 93, Utah, 1993, pp.269-277.*

6) Martin, T., MicroCosm Software Manuals, Ver. 2003, Vol. 3, Van Martin Systems, Inc., Rockville, 2004.