

# 저궤도 위성에 탑재 가능한 GPS/Galileo 복합 수신기 기술 개발

## Development of GPS/Galileo Integrated Receiver Technology for LEO

김종원<sup>1</sup>, 김오중<sup>1</sup>, 김강호<sup>1</sup>, 전상훈<sup>1</sup>, 기창돈<sup>1\*</sup>, 노태수<sup>2</sup>, 김정래<sup>3</sup>, 권기호<sup>4</sup>, 이상곤<sup>4</sup>

Chongwon Kim<sup>1</sup>, Ojong Kim<sup>1</sup>, Ghangho Kim<sup>1</sup>, Sanghoon Jeon<sup>1</sup>, Changdon Kee<sup>1\*</sup>,

Taesoo No<sup>2</sup>, Jeongrae Kim<sup>3</sup>, Kiho Kwon<sup>4</sup>, Sangkon Lee<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 서울대학교 기계항공공학부, 정밀기계설계공동연구소, <sup>2</sup>전북대학교 항공우주공학과, <sup>3</sup>한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과, <sup>4</sup>항공우주연구원

<sup>1</sup>School of Mechanical and Aerospace Engineering and SNU-IAMD, Seoul National University, <sup>2</sup>Department of Aerospace Engineering, Chonbuk National University, <sup>3</sup>Department of Aerospace & Mechanical Engineering, Korea Aerospace University, <sup>4</sup>Korea Aerospace Research Institute (KARI)

주소 : 서울시 관악구 대학동 서울대학교 공과대학 301 동 1319 호

연락처 : 02-880-1912

이메일 : kee@snu.ac.kr

**Abstract:** 본 논문은 저궤도 위성 환경에서 활용 가능한 GPS/Galileo 복합 수신기 기술 개발에 대한 것으로, GPS/Galileo 통합 수신기와 OD(Onboard Determinator), OOP(Onboard Orbit Propagator)의 개발을 포함한다. 저궤도 위성의 빠른 운동으로 인한 가시위성의 잦은 변화, 높은 도플러 변화율 등을 고려하였으며 수신 신호는 GPS L1/L2C/L5, Galileo E1B/E5a를 포함한다. OD, OOP는 GNSS 동역학 모델과 궤도 정보를 이용하여 수신기가 비정상 동작하는 상황에 대비할 수 있도록 한다. 개발된 복합 수신기는 MATLAB 소프트웨어로 개발되었으며 H/W 시뮬레이터 신호를 이용하여 검증된다.

**Keywords:** GPS/Galileo 수신기, Onboard Navigator, 저궤도 위성

### 1. 서론

GNSS에 기반한 항법은 지상, 해양, 항공 사용자뿐만 아니라 발사체, 인공위성 등 우주 환경에서도 주요한 항법 도구로 활용되고 있다. 우주 환경에서의 GNSS 신호는 지상에서와 다른 특징을 가지는데, 특히 저궤도 위성의 경우 빠른 운동으로 인한 가시위성의 잦은 변화, 높은 도플러 변화율 등에 대한 대처가 필요하며 이에 대하여 다수의 연구가 진행되어 왔다. 본 논문은 MATLAB을 이용한 저궤도 위성용 복합 수신기 기술 개발에 대한 것으로 GPS/Galileo 통합 수신기의 개발 및 Onboard Navigator로써 OD(Onboard Determinator)와 OOP(Onboard Orbit Propagator)의 개발을 포함한다. GPS/Galileo 통합 수신기는 L1 대역(1575.42MHz)의 GPS L1, Galileo E1B 신호, L2 대역(1227.6MHz)의 GPS L2C 신호, L5 대역(1176.5MHz)의 GPS L5, Galileo E5a 신호를 수신 대상으로 한다. OD, OOP는 동역학 모델과 궤도 정보를 이용하여 수신기의 비정상 동작에 대응할 수 있도록 한다. 개발된 복합 수신기는 시뮬레이터와 실제 데이터를 이용하여 모듈별 검증이 이루어진다.

### 2. 저궤도 위성용 복합 수신기

개발된 저궤도 위성용 복합 수신기는 RF 파트를 거친 샘플 데이터를 처리 대상으로 한다. 먼저 GPS/Galileo 통합 수신 소프트웨어에서 위치 계산이 수행되며, 그 결과가 Onboard Navigator에 전달되면 항법 필터를 이용하여 보다 정밀한 해를 계산하고 오동작을 판단하며 이에 대응하게 된다. 개발된 저궤도 위성용 복합 수신기의 구조를 그림 1에 나타내었다. 복합 수신기의 각 요소를 유기적으로 결합하기 위하여 상황에

따른 동작 시나리오를 정의하였다. 복합 수신기의 동작 상황은,

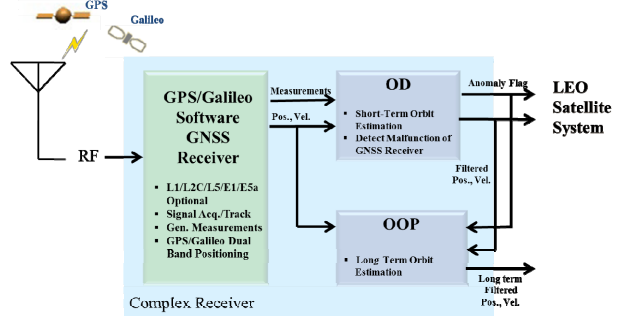


그림 1 저궤도 위성용 복합 수신기 구조

Fig. 1 Structure of complex receiver

정상적인 위치 결과를 제공하는 ‘정상 동작 상황’, 연속적인 위치가 나오지만 위치 오차가 발생하거나 혹은 일시적으로 위치해가 나오지 않는 ‘비정상 동작 상황’으로 구분되며 각 상황에서 OD 및 OOP의 기능은 다음 표 1에 정의하였다.

표 1 OD와 OOP의 동작 시나리오  
Table 1 Function Scenario of OD and OOP

		OD	OOP
수신기 정상 동작 상황	일시적	동역학 모델 기반 위치 산출	재생된 위성 궤도와 비교한 장기 누적 오차 감시 위성 궤도 압축 정보 저장 및 계수 산출
	연속적	-	궤도 전파를 통한 위성 위치해 산출

이하에서는 저궤도 위성용 복합 수신기를 구성하는 GPS/Galileo 통합 수신 소프트웨어와 Orbit Determinator, 그리고 Onboard Orbit Propagator에 대하여 설명한다.

### 2.1 GPS/Galileo 통합 수신기 개발

GPS/Galileo 통합 수신기는 L1/L2/L5 대역의 GPS/Galileo 신호를 수신 처리한다. 입력신호는 RF 파트를 거쳐 중간주파수 혹은 기저 대역의 샘플 데이터로 수집된 저장 파일을 사용한다. 초기화 함수, 신호 획득 모듈, 신호 추적 모듈, 항법 메시지 디코딩 모듈, 그리고 항법해 계산 모듈로 구성되며, 각 모듈은 GPS L1/L2C/L5, Galileo E1B/E5a 신호에 대하여 신호 처리를 수행한다. 최종적으로 항법해 계산 모듈에서는 각 신호 별 단독 항법해 계산, 이중 주파수 항법해 계산, 그리고 GPS/Galileo 통합 항법해 계산을 수행한다. 통합 항법해의 계산을 위하여 GPS와 Galileo 시스템 간 시각 오차를 위치해와 함께 추정하는 방법을 사용하였다.

### 2.2 Orbit Determinator 개발

위성항법 신호로 계산한 위치정보는 많은 오차가 포함되어 있고 신호 손실이 일어날 수 있으므로, OD에서 동역학 모델 기반의 칼만 필터를 이용하여 GPS/Galileo 통합 수신기의 출력인 위치와 속도 결과를 필터링하고 오동작 여부를 판단한다. 사용된 동역학 모델에는 중역가속도 모델, 3체 중력 모델, 공기저항 모델 및 태양 복사압 모델 등이 포함된다.

### 2.3 Onboard Orbit Propagator 개발

OD는 일시적인 수신기 오동작에 대응할 수 있지만 연속적으로 긴 시간 동안 수신기가 정상 동작하지 않는 경우에는 OOP를 활용하게 된다. OOP는 위성의 실제 궤도 데이터인 위치와 속도를 이용해서 실제 궤도 요소에 가장 근접하는 저차항의 기준 궤도를 생성한다. 이렇게 생성한 기준 궤도와 실제 궤도 사이에는 잔차가 발생하는데 이 잔차를 CW 좌표계에서 분석하고 이를 Fourier 함수의 계수로 압축하여 OOP 데이터를 생성하게 된다. 생성된 데이터를 기반으로 수신기 오동작시 기준궤도와 잔차를 미래 시점에 대해서 외간법을 통해서 예측하는 방식으로 궤도를 추정한다.

## 3. 시뮬레이션 결과

개발된 복합 수신기는 GPS/Galileo 통합수신기, OD, OOP가 각각 독립적으로 검증되었다. 먼저 GPS/Galileo 수신기는 Spirent사의 GSS8800 시뮬레이터를 이용하여 생성된 저궤도 위성 환경의 GPS/Galileo 신호를 처리하였다. 다음 그림 2에 L1/E1B/L2C 신호를 이용한 위치 결과를 나타내었다. 3차원 위치 오차는 약 170m, 표준편차는 약 63로 계산되었다.

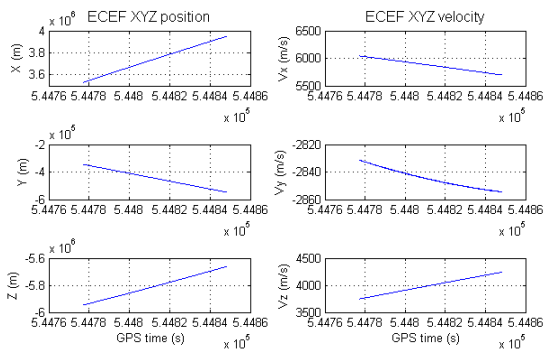


그림 2 L1/E1B/L2C 이중주파수 통합항법해 결과  
Fig 2 L1/E1B/L2C Solution

OD의 검증을 위하여 NASA의 GRACE 위성 데이터를 사용하였다. 그림 3과 같이 데이터가 없을 때나 outlier가 발생하더라도 항법필터에서 단기간 동안 위치 오차가 발산하지

않음을 확인할 수 있다.

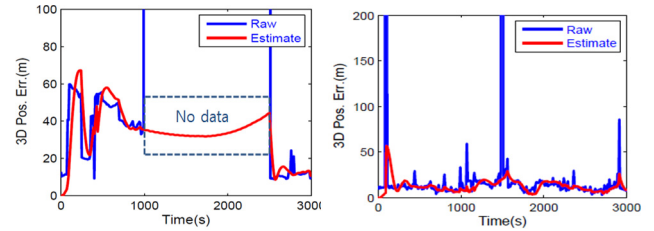


그림 3 GNSS 수신기 오동작 상황에서 OD 결과  
Fig. 3 OD output under malfunction of GNSS receiver

OOP는 KOMPSAT2 위성 데이터를 이용하여 검증되었다. 그림 4는 위성 위치 데이터를 3일 압축 7일 전파한 결과를 나타낸 것이다. 7일동안 수신기 없이 약 5km 이내의 위치 오차를 유지하였다.

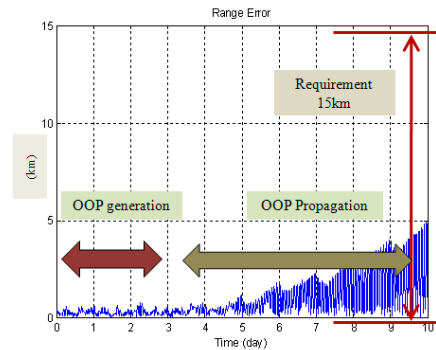


그림 4 OOP 결과(3일 압축, 7일 전파)

Fig. 3 OOP results (3 days data accumulation, 7 days propagation)

## 4. 결론

본 연구에서는 저궤도 위성용 복합 수신기 기술 개발에 대하여 소개하였다. 개발된 복합 수신기는 저궤도 위성용 GPS L1/L2C/L5, Galileo E1B/E5a 신호를 수신 처리하는 통합 GNSS 수신기와 Onboard Navigator로써 OD, OOP를 포함하며 각각에 대한 모듈별 검증이 시뮬레이터 신호와 실제 위성 수신 신호를 이용하여 이루어졌다. 이를 기반으로 향후에는 전체 시스템의 통합 검증이 이루어지고 실제 하드웨어 시스템에의 적용 방안이 논의될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 서울대학교 항공우주신기술연구소를 통해 계약된 항공우주연구원 학연협력강화사업 (성과창출형) 에서 저궤도 위성에 탑재 가능한 GPS/갈릴레오 복합 수신기 기술 개발 과제의 지원을 받았으며 이에 감사 드립니다.

## 참고 문헌

[1] Ghangho Kim, et al., Improved Onboard Orbit Propagator Test Result Using KOMPSAT-2 GPS Data, *ION ITM*, San Diego, CA, 2011.  
 [2] Inge Vanschoenbeek, GNSS Time Offset : Effect on GPS-Galileo Interoperability Performance, *Inside GNSS*, Sep/Oct, 2007, pp. 60-70.  
 [3] Michael Tran, Christopher Hegarty, Receiver Algorithms for the New Civil GPS Signals, *ION NTM* 2002.  
 [4] Moudrak, GPS Galileo Time Offset: How It Affects Positioning Accuracy and How to Cope with It, *ION ITM*, Long Beach, CA, 2004.