

# 약 신호 환경에서의 Assisted-Galileo 신호 획득 성능 분석

## Performance Analysis of Assisted-Galileo Signal Acquisition Under Weak Signal Environment

임 정 민, 박 지 원, 성 태 경\*  
(Jeong-Min Lim<sup>1</sup>, Ji-Won Park<sup>2</sup>, and Tae-Kyung Sung<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>Department of Information and Communication Engineering, Chungnam National University

<sup>2</sup>Instrumentation and Control and Human Factors Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute

**Abstract:** EU's Galileo project is a market-based GNSS (Global Navigation Satellite System) that is under development. It is expected that Galileo will provide the positioning services based on new technologies in 2020s. Because Galileo E1 signal for OS (Open Service) shares the same center frequency with GPS L1 C/A signal, CBOC (Composite Binary Offset Carrier) modulation scheme is used in the E1 signal to guarantee interoperability between two systems. With E1 signal consisting of a data channel and a pilot channel at the same frequency band, there exist several options in designing signal acquisition for Assisted-Galileo receivers. Furthermore, compared to SNR worksheet of Assisted-GPS, some factors should be examined in Assisted-Galileo due to different correlation profile and code length of E1 signal. This paper presents SNR worksheets of Galileo E1 signals in E1-B and E1-C channel. Three implementation losses that are quite different from GPS are mainly analyzed in establishing SNR worksheets. In the worksheet, hybrid long integration of 1.5s is considered to acquire weak signal less than -150dBm. Simulation results show that the final SNR of E1-B signal with -150dBm is 19.4dB and that of E1-C signal is 25.2dB. Comparison of relative computation shows that E1-B channel is more profitable to acquire the strongest signal in weak signal environment. With information from the first satellite signal acquisition, fast acquisition of the weak signal around -155dBm can be performed with E1-C signal in the subsequent satellites.

**Keywords:** Galileo, composite-BOC, implementation losses, SNR worksheet, signal acquisition

### I. 서론

유럽연합의 Galileo 계획은 군 주도의 GPS, GLONASS 등과 다르게 시장 기반의 독립적인 측위 시스템이다. 계획은 크게 IOV (In-Orbit Validation)와 FOC (Full Operational Capability)로 나뉠 수 있다. ESA (European Space Agency)는 두 대의 Galileo 테스트베드 위성에 대한 시험을 마쳤으며, 2011년 10월에 두 대의 IOV 위성을 발사하였고 2012년 10월에 남은 두 대의 IOV 위성을 발사하여 우주 및 지상국에 대한 성능 평가를 진행 중에 있다. IOV 단계가 종료되면 더 많은 위성을 발사하여 2020년대에는 FOC 단계에 도달할 예정이다[1].

Galileo는 E1, E5, E6의 세 개의 주파수 대역을 사용하며, 일반 사용자가 무료로 사용할 수 있는 OS (Open Service)는 E1과 E5 대역에서 제공한다. 이 중 E1 대역은 GPS L1 대역과 중심주파수를 공유하는 동시에 신호의 기본 주파수가 1.023MHz로 같기 때문에 GPS L1 및 Galileo E1 OS 신호를 동시에 사용할 수 있는 다중 GNSS (Global Navigation Satellite System) 수신기를 쉽게 설계, 구현할 수 있다. 두 시스템을 동시에 사용하게 되면 DOP (Dilution of Precision) 이 개선되며, 더 많은 위성으로부터의 거리정보를 이용하여 측위 성능을 향상시킬 수 있다[2].

한편 Galileo E1과 같은 L1 대역의 GNSS 신호는 실내에서 약 20dB, 콘크리트 건물 안에서는 30dB 이상 감소하기 때문에 [2] 실내에서는 낮은 SNR (Signal-to-Noise Ratio)과 원근 효과 (near-far effect)로 인하여 미약 신호를 검출하기 어렵다. 더욱이 다중 GNSS (Global Navigation Satellite System) 환경 하에서는 시스템 간 간섭에 의하여 약 신호에 대한 SNIR (Signal to Noise plus Interference Ratio)이 기존의 상황보다 현저히 저하되기 때문에 약 신호 획득이 더욱 어려워진다. 따라서 미래 GNSS 환경에서는 미약 신호 획득을 위한 민감도 향상 기법이 중요하다. A-GNSS (Assisted-GNSS) 기술은 무선 통신망을 이용하여 GNSS 수신기에 보조 정보를 제공하여 TTFF (Time To First Fix)를 줄이고 수신감도를 향상시킬 수 있는 기술로서 미래 GNSS 환경에서 GNSS 신호 음영지역 문제를 경감시켜 줄 것으로 예상된다[3].

A-GNSS 수신기는 일반적으로 동기 누적(coherent integration) 결과를 비동기 누적(non-coherent integration)하는 혼합 장기 중첩(hybrid long integration)을 통하여 수신감도를 개선하며, 이를 통하여 약 신호 환경에서도 의사거리 추정이 가능해진다[4]. 동기 누적 방식은 신호의 주기적 특성을 이용하여 일정 개수의 주기 신호를 누적하여 수신감도를 향상시키는 기법이나, 동기 누적 이득을 높이기 위하여 동기 누적 길이를 길게 하면 주파수 부정합 오차가 증가한다[5]. 주파수 부정합 오차의 영향을 줄이기 위하여 주파수 탐색 간격을 줄이면 신호 획득에 필요한 계산량이 증가하는 단점이 있다[6]. 한편, 동기 누적 후 이득이 작으면 비동기 누적 시 제곱 손실이 크게 발생하여 혼합 장기 중첩의 전체 이득이 낮아지는

\* 책임저자(Corresponding Author)

Manuscript received August 9, 2012 / revised January 18, 2013 / accepted May 16, 2013

임정민: 충남대학교 전자전과정정보통신공학과(likebasic@cnu.ac.kr)

박지원: 한국원자력연구원 계측제어인간공학연구부(jiwon@kaeri.re.kr)

성태경: 충남대학교 정보통신공학과(ksaint@cnu.ac.kr)

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

문제가 있다[2]. 고감도 A-GNSS 수신기 개발을 위해서는 이러한 동기/비동기 중첩 및 계산량을 고려한 혼합 중첩 알고리즘의 설계가 필요하다. 주파수 탐색 구간은 첫 번째 위성 탐색 시보다 이후의 위성을 탐색할 시에 줄어들 수 있으므로 이를 이용하여 약 신호 검출을 용이하게 할 수 있다.

본 논문에서는 Galileo E1 OS 신호를 이용한 수신기의 민감도를 SNR 분석표(SNR worksheet)를 작성하여 분석하였다. Galileo E1 OS 대역에서는 CBOC (Composite Binary Offset Carrier) 변조 기법을 사용하기 때문에 자기상관 특성이 GPS 신호와 다르며, 이를 고려하여 분석표를 작성하였다. 또한 E1 OS 신호는 데이터 채널인 E1-B와 파일럿 채널인 E1-C로 이루어져 있고 E1-C 채널에는 항법 데이터가 실려 있지 않기 때문에 이를 고려하여 두 개의 신호에 대한 SNR 분석표를 각각 작성하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 Galileo 수신기의 주요 구현 손실 요소인 주파수 부정합 손실, 코드 조절 손실, 양자화 손실 등에 대하여 분석하였다. 이를 토대로 정상상태의 신호에 대하여 Galileo E1 OS SNR 분석표를 작성하였으며, 시뮬레이터를 통하여 이를 검증하였다. III 장에서는 -150dBm의 약 신호에 대하여 1.5초 간 동기 및 비동기 누적을 수행한 Galileo E1 OS SNR 분석표를 E1-B 및 E1-C 신호의 특성에 맞게 각각 작성하였으며, 시뮬레이터를 통하여 SNR 분석표를 검증하였다. IV 장에서는 1.5초 혼합 중첩을 수행하는 네 가지의 서로 다른 시나리오를 설정한 후 이들의 최종 SNR 및 상대 계산량을 비교함으로써 첫 번째 위성 검색을 할 때와 이후의 위성 검색을 할 때 최적의 방법론을 제시한다.

## II. Galileo E1 OS 신호의 변조 기법 및 Assisted-Galileo 수신기의 손실 요소 분석

### 1. Galileo E1 OS 신호의 변조 기법

Galileo E1 대역에는 PRS (Public Regulated Service)인 E1-A 채널이 quadrature-phase로, OS 신호가 in-phase로 전송된다[7]. Galileo E1 OS 신호는 데이터 채널인 E1-B 채널과 파일럿 채널인 E1-C 채널로 구성된다[8]. 이 두 채널을 구별하기 위하여 서로 다른 메모리 코드가 할당된다. 4,092칩의 길이를 가지는 100개의 메모리 코드 조합이 정의되어 있으며, E1-B와 E1-C 채널에 각각 50개씩 할당되어 있다. 두 채널 모두 1.023MHz의 칩률(chip rate)을 가지고, 코드의 반복주기는 4ms이다. 한편 E1 OS 신호의 중심주파수는 1575.42MHz로 GPS L1 대역과 일치하며, GPS와 Galileo 시스템 간 간섭을 줄이기 위하여 BOC (Binary Offset Carrier) 변조 기법에 대하여 연구가 진행되었다. BOC를 단독으로 사용하는 것보다 두 개의 BOC의 선형 결합인 CBOC (Composite BOC)으로 신호를 변조했을 때 GPS L1 C/A와 Galileo E1 OS 신호의 더 높은 스펙트럼 간 분리를 달성할 수 있다[7]. Galileo ICD (Interface Control Document)에 주어진 E1 OS 신호는 다음과 같다[9].

$$S_{E1}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ e_{E1-B}(t) \left\{ \sqrt{\frac{10}{11}} sc_{1.023MHz}(t) + \sqrt{\frac{1}{11}} sc_{6.138MHz}(t) \right\} - e_{E1-C}(t) \left\{ \sqrt{\frac{10}{11}} sc_{1.023MHz}(t) - \sqrt{\frac{1}{11}} sc_{6.138MHz}(t) \right\} \right] \quad (1)$$

표 1. Galileo E1 OS 채널 별 코드 특성.

Table 1. Code properties of Galileo E1 OS channel.

채널	전체 코드 길이(ms)	칩률 (MChip/s)	코드길이(chips)	
			Primary	Secondary
E1-B	4	1,023	4,092	N/A
E1-C	100	1,023	4,092	25

여기서 부반송파(subcarrier)  $sc_x(t) = \text{sign}(\sin(2\pi x t))$  이고  $sc_{1.023MHz}(t)$  와  $sc_{6.138MHz}(t)$  의 파워 비율은 10대 1이다[11]. 한편, 데이터 채널인  $e_{E1-B}(t)$  와 파일럿 채널인  $e_{E1-C}(t)$  는 각각 다음과 같다.

$$e_{E1-B}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[ C_{E1-B, |i|_{4,092}} D_{E1-B, [i]_{4,092}} \text{rect}_{T_{c,E1-B}}(t - iT_{c,E1-B}) \right] \quad (2)$$

$$e_{E1-C}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[ C_{E1-C, |i|_{4,092 \times 25}} \text{rect}_{T_{c,E1-C}}(t - iT_{c,E1-C}) \right]$$

여기에서  $|i|_L$  은  $i$  를  $L$  로 나눈 나머지를 의미하고,  $[i]_{DC}$  는  $i$  를 DC로 나누었을 때의 정수부분을 의미한다.  $T_{c,E1-B} = T_{c,E1-C} = 1/(1.023 \times 10^6)$  (sec) 는 기본 주파수 주기이며,  $\text{rect}_T(t)$  는 0부터 T까지 1의 값을 갖는 구형파 신호를 의미하고,  $C_{E1-B}$  는 E1-B 채널의 코드,  $D_{E1-B}$  는 E1-B 채널의 항법 데이터, 그리고  $C_{E1-C}$  는 E1-C 채널의 코드이다. 한편,  $C_{E1-C}$  채널의 코드는 25칩으로 이루어진 Secondary 코드의 한 칩에 4ms의 길이를 가지는 Primary 코드가 곱해져 100ms의 Tiered 코드를 이룬다[8]. Galileo E1 OS 대역 채널의 코드 특성을 표 1에 정리하였다.

### 2. Galileo E1 OS 수신기의 구현 손실 분석

Galileo E1 OS 수신기의 민감도를 분석하기 위하여 SNR 분석표[2]를 작성하였다. Galileo E1 OS 신호는 GPS L1 C/A 신호와 칩률은 같지만 CBOC 변조 기법을 거치면서 최고 주파수 성분은 1.023MHz(칩률)와 6.138MHz(부반송파)의 합인 7.161MHz가 되며, 그 결과 E1 OS 신호의 대역폭은 14.322MHz가 된다. 따라서 도플러 등을 고려하여 중간주파수 대역을 7.26MHz로 가정하였으며, 이러한 경우 잡음 전력은 다음과 같다 [2].

$$\text{잡음 전력} = 30 + 10 \log_{10}(k \times T_{\text{eff}} \times BW) \quad (\text{dBm}) \quad (3)$$

식에서  $k = 1.38 \times 10^{-23}$  (J/K)는 볼츠만(Boltzmann) 상수이고 온도  $T_{\text{eff}}$  는 296.4K로 가정한다. BW는 중간주파수의 대역폭으로서 14.52MHz이고 잡음 세기는 -102.3dBm로 계산된다. 이는 GPS의 잡음 세기인 -109.1dBm [2]보다 큰 값이며, CBOC 변조 기법을 거치면서 신호 대역폭이 넓어져 잡음 세기도 높아졌기 때문이다. 반면 신호 대역폭이 넓어지면 거리 정보의 정밀도를 향상시킬 수 있는 장점이 있어[10] 측위 성능의 향상이 가능해진다.

GNSS 수신기를 구현하면서 발생하는 손실을 구현 손실이라 하며, 동기 누적 수행 시 발생하는 구현 손실에는 주파수 부정합 손실, 코드 조절 손실, 양자화 손실, 비트 조절 손실 등이 있다. Galileo의 항법 데이터는 E1-B 채널을 통하여 전송

되는데 항법 데이터의 길이는 코드 길이인 4ms와 같으며 4ms 동기 누적을 수행하게 되면 항법 데이터의 비트 반전으로 인한 비트 조절 손실이 발생하지 않는다. 본 논문에서는 4ms의 동기 누적을 가정하였으며 비트 조절 손실을 제외한 세 가지 구현 손실만을 고려하였다.

주파수 부정합 손실은 동기 누적 시 잔여 주파수 성분 때문에 발생하는 손실로, 실제 잔여 주파수 성분이 크게 남아 있을 경우 상관기의 출력이 작아진다[6]. 신호 획득 시, 잔여 주파수  $f_m$ 의 최대값은 주파수 탐색 빈 크기의 절반이다. 주파수 부정합 손실의 최대값  $\Delta f$ 는 다음과 같다.

$$\Delta f = 20 \log_{10} \left| \frac{\sin(\pi f_m T_c)}{(\pi f_m T_c)} \right| \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

여기서  $f_m$ 은 최대 잔여주파수이고  $T_c$ 는 동기 누적 시간이다. 주파수 부정합 손실을 줄이려면  $f_m$  또는  $T_c$ 를 줄여야 한다. 만일 최대 잔여주파수  $f_m$ 을 줄이게 될 경우, 주파수 탐색 빈 크기도 따라서 줄어들게 되며, 그 결과 주파수 영역 탐색 시간의 증가를 초래한다[3]. 반대로 동기 누적 시간  $T_c$ 를 줄이게 되면 최종 SNR이 낮아지므로 미약 신호 검출이 어려워진다. 본 논문에서는 주파수 부정합 손실이 -1.0dB가 되도록 수신기를 설계하였으며, 이를 위하여  $f_m T_c$ 가 0.26이 되도록 설정하였다. E1-B 채널의 경우 동기 누적 시간이 4ms이므로 이 때 1dB의 손실을 발생시키는 최대 잔여주파수는 65Hz이므로 주파수 탐색 빈 크기를 130Hz로 설정하였다. E1-C 채널의 경우는 동기 누적 시간 길이에 제한이 없지만 동기 누적시간이 길어지면 주파수 탐색 빈 크기를 줄여야 하므로 본 논문에서는 E1-C 채널의 Tiered 코드 길이인 100ms의 동기 누적을 가정하였고 이 때 1dB의 손실을 발생시키는 주파수 탐색 빈 크기는 5.2Hz이다.

코드 조절 손실은 코드 위상 빈 간격에 따라 잔여 코드 위상으로 인하여 발생하는 손실로서 자기상관함수의 기울기와 표본화 주파수의 함수이다[2]. 그림 1에 Galileo E1 OS와 GPS L1 C/A 신호의 자기상관함수를 비교하였다. Galileo E1 OS 신호의 자기상관함수는 GPS L1 C/A의 경우와 비교하였을 때

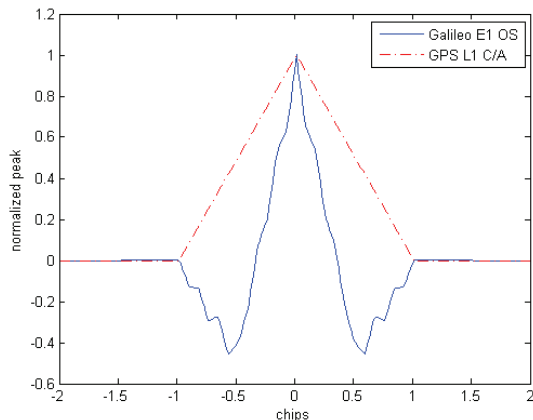


그림 1. Galileo E1 OS와 GPS L1 C/A 신호의 자기상관함수.  
Fig. 1. Autocorrelation function of Galileo E1 OS and GPS L1 C/A signal.

기울기가 크기 때문에 동일한 표본화 주파수일 경우에 잔여 코드 위상으로 인하여 발생하는 손실이 크다.

코드 조절 손실을 정량적으로 분석하기 위해 기존의 GPS 신호의 코드 조절 손실에 대한 식 [2]을 변형하여 Galileo 신호에 대한 식을 유도하였다. 하나의 코드 칩을 M번 표본화하는 시스템에서 발생할 수 있는 최대 잔여 코드 위상은 1/2M칩이다. 자기상관함수의 기울기가 s라고 할 때 코드 조절 손실  $\Delta c$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta c = 20 \log_{10} \left( 1 - s \cdot \frac{1}{2M} \right) = 20 \log_{10} \frac{2M - s}{2M} \quad (5)$$

잔여 코드 위상이 있을 때 자기상관함수의 값은 자기상관함수 기울기 s와 최대 잔여 코드 위상의 곱만큼 낮아지며, GPS L1 C/A의 경우 s=1이다.

Galileo E1 OS 신호의 경우, 잔여 코드 위상과 자기상관함수의 값과의 관계를 따지기 위해 부반송파 성분 별로 계산한 자기상관함수를 그림 2에 도시하였다. 그림에서 BOC(1,1)는  $sc_{1.023MHz}(t)$ 이 곱해진 코드이고 BOC(6,1)는  $sc_{6.138MHz}(t)$ 가 곱해진 코드이다. 0칩 근처의 BOC(1,1)의 기울기는 2.82, BOC(6,1)의 기울기는 2.1이다. 그리고 BOC(1,1)과 BOC(6,1)이 더해진 CBOC 변조된 자기상관함수는 0칩 근처에서 4.4의

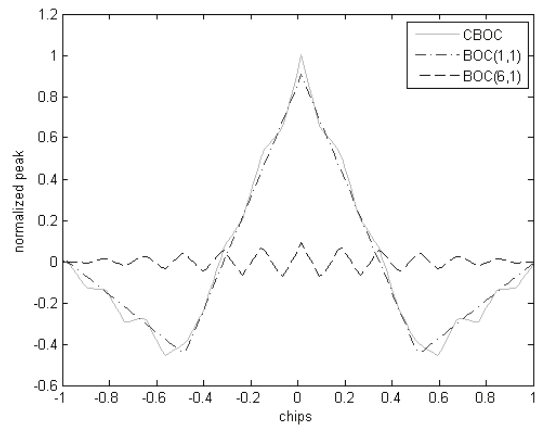


그림 2. BOC(1,1)과 BOC(6,1)의 자기상관함수.  
Fig. 2. Autocorrelation function of BOC(1,1) and BOC(6,1).

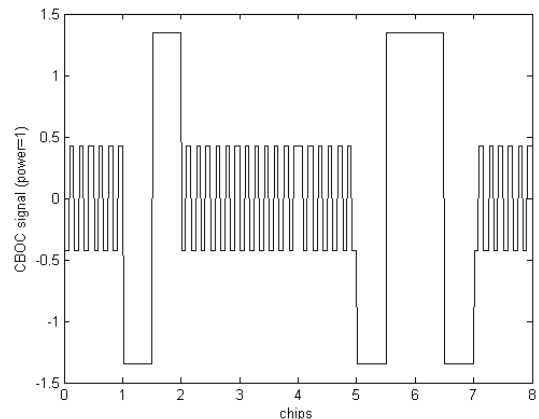


그림 3. CBOC 변조된 신호 (위상 1번).  
Fig. 3. CBOC modulated signal (PRN #1).

기울기를 가진다.

코드 조절 손실을 정하기 전에 먼저 표본화 주파수를 선택하여야 한다. 중간주파수가 7.26MHz일 때 최대 주파수는 14.421MHz이고 나이퀴스트(Nyquist) 표본화 정리에 의하여 수신기는 최소 28.842MHz의 표본화 주파수를 가져야 한다. 여기에서는 기본주파수 1.023MHz의 32배인 32.736MHz로 표본화를 하였다고 가정한다. 이러한 경우, 칩두값 근처에서의 기울기는 4.4이고 M이 32이므로  $\Delta c$  는 -0.6dB 로 계산된다.

양자화 손실은 GNSS 신호를 이산화하고 양자화하는 과정에서 발생하는 손실[9]을 말한다. GPS L1 C/A 신호는 1 또는 -1의 상태를 가지나 GPS L1 C/A와 달리 Galileo E1 OS 신호는 CBOC 변조 기법을 거치면서 신호 레벨이 4단계로 바뀌며, 1 번 위상의 경우 변조된 E1 OS 신호는 그림 3과 같다.

4가지 상태를 갖는  $S_{E1}(t)$  를 양자화 할 때 최소 양자화 비트 수는 2이며, 이때의 양자화 손실은 약 -0.6dB이다[2]. 양자화 비트 수를 2로 설정하는 것이 충분함을 보이기 위하여 SNR 분석표를 작성하였다. -130dBm의 수신 신호를 7.26MHz

표 2. Galileo E1-B 신호의 SNR 분석표 (-130dBm).  
Table 2. Galileo E1-B signal SNR worksheet (-130dBm).

	구분	SS to SNR	식	단위
	Front End			
1	신호 세기	-130		dBm
2	잡음 세기	-102.3		dBm
3	IF SNR	-27.7	=(1)-(2)	dB
	동기 누적			
4	샘플링	32.736		MHz
5	동기 누적 시간	4		ms
6	총 샘플 개수	130944	=(4)x(5)x10 <sup>3</sup>	
7	이상적인 동기 누적 이득	51.2	=10log <sub>10</sub> (6)	dB
8	양자화 손실	-0.6		dB
9	코드 조절 손실	-0.6		dB
10	주파수 부정합 손실	-1.0		dB
11	총 손실	-2.2	=(8)+(9)+(10)	dB
12	실제 동기 누적 이득	49.0	=(7)+(11)	dB
13	동기 누적 후 SNR	21.3	=(12)+(3)	dB
	최종 SNR	21.3	=(13)	dB

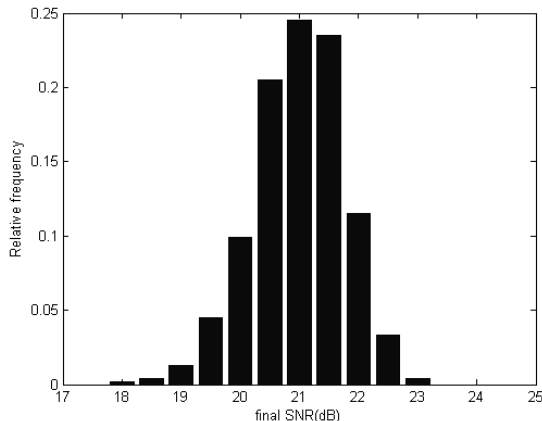


그림 4. Galileo E1-B 신호의 최종 SNR 분포도 (-130dBm).  
Fig. 4. Histogram of final SNR of Galileo E1-B signal (-130dBm).

의 중간주파수로 변조한 후 32.768MHz로 표본화하여 4ms의 동기누적을 수행할 때의 최종 SNR은 표 2와 같다.

표 2에서 정리한 시스템을 작성하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4는 시뮬레이션을 통하여 1000번의 최종 SNR을 구한 후 최종 SNR의 상대빈도수를 이용하여 0.5dB 간격의 히스토그램을 보인 것이다. 최종 SNR값의 평균은 21.3dB로 실제 이론치에 근접한 것을 확인하였다. 따라서 Galileo E1 OS 채널의 디지털 기반 신호처리 시 양자화 비트 수를 2로 설정하는 것이 충분함을 알 수 있다.

### III. 약 신호 환경에서의 Galileo E1-B 채널과 E1-C 채널에 대한 Assisted-Galileo 수신기의 민감도 분석

본 장에서는 II 장에서 분석한 손실 및 이득을 갖는 수신기를 이용한다고 가정하고, 약 신호 환경에서 신호를 획득하기 위하여 혼합 중첩 기법을 도입한 경우의 SNR 분석표를 작성하였다. 데이터 채널인 E1-B에는 항법 메시지가 실려있기 때문에 최대 동기 누적 길이를 4ms로 설정하지만 파일럿 채널인 E1-C에는 데이터가 실려있지 않고 25비트의 Secondary 코드가 실려 있으므로 100ms 이내에서 필요에 따라 동기 누적 길이를 조절 할 수 있다. 그림 5에 혼합 중첩 기법의 블록 다이어그램을 나타내었다. 수신신호  $x(t_k)$  를 처리하는 Assisted-GNSS 수신기는 상관기 값의 출력을 최대화하는 도플러 주파수  $f_r$  및 지연시간  $T_0$  를 탐색한다. 4ms의 상관기를 거친 신호는 M번 동기 누적을 수행하고 N번 비동기 누적을 수행한 후 신호검출 문턱값  $\eta$  을 넘는지 확인한다. 이 때 추가적으로 지원받은 감도 지원정보를 이용할 수 있다. 신호가 검출되면 신호 획득이 완료된 것이고 그렇지 않을 시에는  $f_r$  및  $T_0$  을 변경하여 신호 탐색을 계속 수행한다[7].

한편, 비동기 누적 과정에서 제곱화(squaring)를 수행하면 백색 가우시안 잡음이었던 잡음의 형태가 바뀌면서 추가적으로 손실이 발생하는데 이를 제곱 손실[3]이라고 한다. -150 dBm의 E1-B 신호를 수신하여 4ms 동기 누적 후 375번의 비동기 누적을 수행하여 총 1.5초의 혼합 중첩을 수행한 결과를 표 3에 나타내었다. 4ms 동기 누적 후의 SNR은 1.3dB이나 비동기 누적 시 발생하는 -7.6dB의 제곱 손실에도 불구하고 비동기 누적 이득으로 인하여 19.4dB의 최종 SNR을 얻을 수 있다.

한편, 파일럿 채널인 E1-C는 E1-B보다 동기 누적 시간을 늘릴 수 있다. 100ms 동기 누적한 결과를 이용하여 15번 비

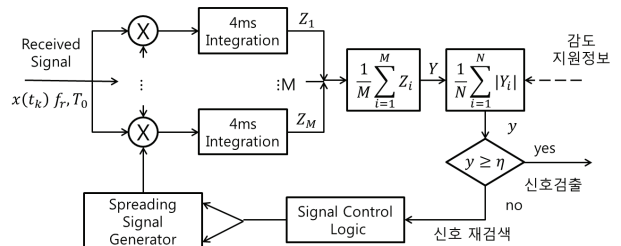


그림 5. Assisted Galileo 수신기의 신호 획득 구조.  
Fig. 5. Structure of signal acquisition in Assisted Galileo receiver.



표 3. Galileo E1-B 신호의 SNR 분석표 (-150dBm).

Table 3. SNR worksheet of Galileo E1-B signal (-150dBm).

구분	SS to SNR	식	단위
Front End			
1	신호 세기	-150	dBm
2	잡음 세기	-102.3	dBm
3	IF SNR	= (1)-(2)	dB
동기 누적			
4	샘플링	32.736	MHz
5	동기 누적 시간	4	ms
6	총 샘플 개수	130944	= (4)x(5)x10 <sup>3</sup>
7	이상적인 동기 누적 이득	51.2	= 10log <sub>10</sub> (6)
8	양자화 손실	-0.6	dB
9	코드 조절 손실	-0.6	dB
10	주파수 부정합 손실	-1.0	dB
11	총 손실	-2.2	= (8)+(9)+(10)
12	실제 동기 누적 이득	49.0	= (7)+(11)
13	동기 누적 후 SNR	1.3	= (12)+(3)
비동기 누적			
14	제공 손실	-7.6	dB
15	총 누적 시간	1500	ms
16	비동기 누적 횟수	375	= (15)/(5)
17	비동기 이득	18.1	= 10log <sub>10</sub> (16)+(14)
	최종 SNR	19.4	= (13)+(17)

표 4. Galileo E1-C 신호의 SNR 분석표 (-150dBm).

Table 4. SNR worksheet of Galileo E1-C signal (-150dBm).

구분	SS to SNR	식	단위
Front End			
1	신호 세기	-150	dBm
2	잡음 세기	-102.3	dBm
3	IF SNR	= (1)-(2)	dB
동기 누적			
4	샘플링	32.736	MHz
5	동기 누적 시간	100	ms
6	총 샘플 개수	3273600	= (4)x(5)x10 <sup>3</sup>
7	이상적인 동기 누적 이득	65.2	= 10log <sub>10</sub> (6)
8	양자화 손실	-0.6	dB
9	코드 조절 손실	-0.6	dB
10	주파수 부정합 손실	-1.0	dB
11	총 손실	-2.2	= (8)+(9)+(10)
12	실제 동기 누적 이득	63.0	= (7)+(11)
13	동기 누적 후 SNR	15.3	= (12)+(3)
비동기 누적			
14	제공 손실	-1.9	dB
15	총 누적 시간	1500	ms
16	비동기 누적 횟수	15	= (15)/(5)
17	비동기 이득	9.9	= 10log <sub>10</sub> (16)+(14)
	최종 SNR	25.2	= (13)+(17)

동기 누적을 수행함으로써 총 1.5초의 혼합 중첩을 수행한 결과는 표 4와 같다. 동기누적시간이 25배 늘어난 결과 동기 누적 후 SNR이 15.3dB이 되며, 제공손실이 -1.9dB 로 감소한다. 그 결과, 최종 SNR은 25.2dB로 5.8dB 개선됨을 알 수 있

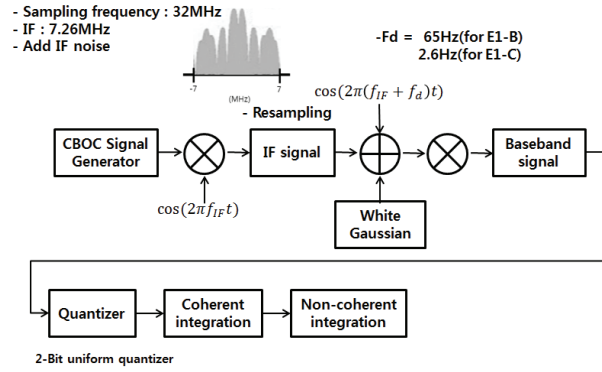


그림 6. Galileo E1 OS 시뮬레이터의 구조.

Fig. 6. Structure of Galileo E1 OS simulator.

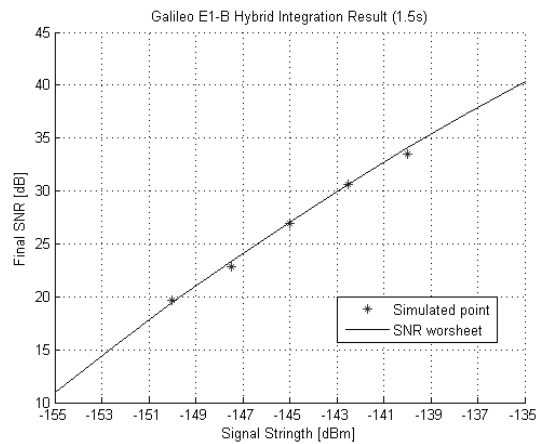


그림 7. 시뮬레이션 결과와 SNR 분석표 비교 (E1-B).

Fig. 7. Comparison of simulation result to SNR worksheet (E1-B).

다. 동기 누적이 길어지면 동기 누적 후 SNR이 높아지므로 제공 손실이 적게 발생하여 보다 높은 최종 SNR을 얻을 수 있다.

SNR 분석표를 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 중간주파수 (IF; Intermediate Frequency) 대역의 신호를 생성한 후 동기 누적 및 비동기 누적을 수행하여 최종 SNR을 구하였다. 중간주파수가 7.26MHz의 신호가 32.768MHz의 표본화 주파수로 생성되며, 생성된 신호는 주파수 부정합 손실을 -1 dB가 되도록 잔여 주파수 성분을 추가하여 기저대역 신호로 변조한다. 변조된 신호는 2비트 균일 양자화기를 통과하여 동기 및 비동기 누적을 수행하게 되며, 그림 6은 이러한 시뮬레이터의 구조를 보인 것이다.

SNR 분석표 작성을 통하여 얻은 최종 SNR과 시뮬레이션을 통하여 얻은 최종 SNR을 비교하였다. 그림 7과 그림 8은 E1-B 채널과 E1-C 채널에 대하여 RF Front End 신호 세기에 따른 최종 SNR의 변화를 보인 것이다. 그림 7은 4ms 동기 누적한 신호를 375번 비동기 누적을 했을 때의 결과이며, 시뮬레이션은 -140dBm부터 -150dBm까지 5 포인트에 대하여 수행하였다. 그림 8은 100ms 동기 누적한 신호를 15번 비동기 누적을 했을 때의 결과이며, 시뮬레이션은 -145dBm부터 -155dBm까지 5 포인트에 대하여 수행하였다. 그림에서 시뮬레이션 결과값은 100회 시뮬레이션을 수행한 결과의 평균값

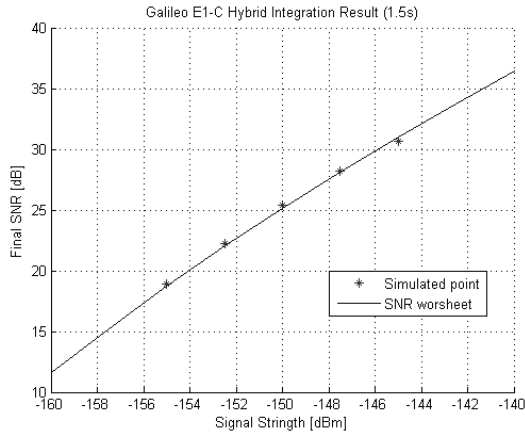


그림 8. 시뮬레이션 결과와 SNR 분석표 비교 (E1-C).  
Fig. 8. Comparison of simulation result to SNR worksheet (E1-C).

이다. 시뮬레이션을 통하여 얻은 값이 SNR 분석표에서 예측했던 최종 SNR과 1dB 이내의 오차로 일치함을 확인하였다.

**IV. 효율적인 약 신호 획득을 위한 Assisted-Galileo 혼합 중첩 구조**

파일럿 채널인 Galileo E1-C 코드는 4ms의 Primary 코드와 25개의 Secondary 코드가 계층적 구조로 되어 있다. Galileo E1-C 채널의 혼합 중첩의 경우, 앞에서 가정한 동기 누적 100ms 후 15번 비동기 누적 외에 동기 누적 25ms 후 60번 비동기 누적, 그리고 4ms 동기 누적 후 375번 비동기 누적을 하는 시나리오 등을 생각할 수 있다. 또한 E1-B 채널과 E1-C 채널을 동시에 이용하여 4ms 동기 누적 후 375번 비동기 누적을 하는 경우를 생각할 수 있는데 채널을 하나만 이용했을 때보다 동기 누적 이득이 3dB 상승하는 이점이 있다. 그림 9는 수신 신호 세기에 따른 네 가지 시나리오 각각의 최종 SNR 양상을 보인 것이다. 그림에서 E1-C( $T_c, N_{mc}$ )는 E1-C 신호를  $T_c$  동안 동기 누적이 한 후  $N_{mc}$  번 비동기 누적을 하였음을 나타낸다. E1-C 혹은 E1-B 채널 단독으로 4ms 동기 누적, 375번 비동기 누적을 하는 경우의 성능이 가장 좋지 않고 동기 누적 시간이 25ms, 100ms로 늘어날수록 최종 SNR이 높

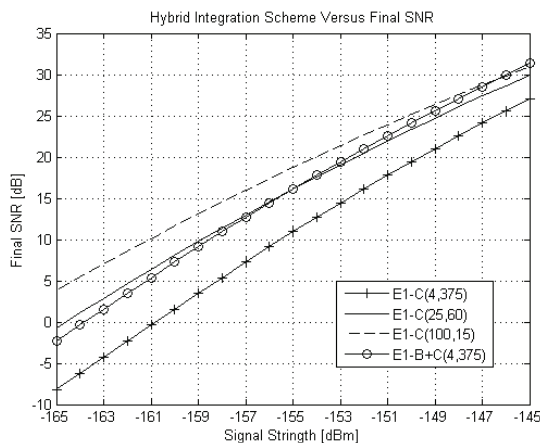


그림 9. 혼합 중첩 구조에 따른 최종 SNR.  
Fig. 9. Final SNR of four different integration schemes.

표 5. Assisted-Galileo 수신기의 검색범위.

Table 5. Search space of Assisted-Galileo receivers.

오차 원인	주파수 검색 범위 [Hz]		코드 위상 검색 범위 [Chip]	
	첫 번째 위성	두 번째 위성 이후	첫 번째 위성	두 번째 위성 이후
위치 오차	±3	±3	의사 잡음 코드 길이	±11
지연시간	±1.6	±1.6		±6
수신기 클럭 주파수 오차	±122.76	-		±17
총 검색 범위	±127.36	±4.6		±34

아지는 것을 확인할 수 있다. E1-B와 E1-C 채널을 동시에 이용하는 것은 E1-C(25, 60)과 대등한 성능을 가진다.

앞에서 살펴본 바와 같이 동기 누적 길이를 길게 하면 제곱 손실을 줄일 수 있기 때문에 최종 SNR을 높일 수 있다. 하지만 주파수 부정합 손실은 동기 누적 길이와 잔여주파수의 곱이 커짐에 따라 증가한다. 따라서 동기 누적 길이를 길게 하면서 주파수 부정합 손실을 일정 값 이하로 만들기 위해서는 주파수 탐색 빈의 간격을 줄여야 하며, 이는 계산량의 증가를 초래한다. 한편, 첫 번째 위성의 신호를 획득하면 두 번째 위성 신호 검출을 위해 찾아야 하는 코드 위상과 주파수 탐색 공간을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 첫 번째 위성의 신호를 탐색하는 경우와 첫 번째 위성의 신호를 탐색한 이후 다른 위성의 신호 검출하는 경우의 상대 계산량을 각각 분석하였다.

Assisted-Galileo 수신기는 다른 채널로부터 전송 받은 보조 정보를 이용하여 주파수 및 코드 위상의 탐색 구간을 줄일 수 있다. 보조정보 지연시간이 ±2초 이내, 사용자 대략 위치 오차는 3km 이내, 수신기 클럭의 주파수 오차가 ±90ppb이고 사용자가 정지 상태라고 가정하였을 때 Assisted-Galileo 수신기의 주파수 및 코드 위상 검색범위를 첫 번째 위성 검색 시와 두 번째 위성 이후로 나누어 정리하면 표 5과 같다[3].

Galileo 신호 획득을 위하여 정합 필터를 사용한다고 가정하고 신호 획득에 필요한 계산량을 비교하기 위하여 다음과 같은 성능 지표를 정의하였다[3].

$$C_{acq} = \frac{W(\tau)}{S(\tau)} \text{ceil} \left( \frac{2 \cdot W(f)}{S(f)} + 1 \right) \frac{T_c}{M \cdot T_s} N \quad (6)$$

식에서  $W(\tau)$  와  $S(\tau)$  는 각각 코드 위상의 검색 범위와 빈 크기로 단위는 chip이며,  $S(\tau) = 1/32$ 칩으로 가정하였다. 또한  $W(f)$  와  $S(f)$  는 주파수의 검색 범위와 빈 크기로 단위는 Hz이다.  $\text{ceil}(n)$  은 n보다 크면서 가장 작은 정수를 찾는 함수이고  $T_c$  는 동기 누적 시간,  $M$  은 정합 필터의 탭 수,  $T_s = 1/32.736 \mu\text{s}$  는 표본화 주기,  $N$  은 비동기 누적 횟수이다. 정합 필터의 탭 수  $M = 32,768$ 로 가정하였다. 표 6은 Assisted-Galileo 수신기의 혼합 중첩 구조에 따른 상대 계산시간을 보인 것이다. 표에서 상대 계산 시간은 정합 필터의 동작 속도가 100MSPS (symbol per second)로 가정하고 식 (6)의 상대 계산량을 이용하여 구하였다. 표에서 보는 바와 같이 첫 번째 위성의 경우, 동기 누적 길이를 길게 하면 최종 SNR이 높아

표 6. Assisted-Galileo 수신기의 상대 계산시간 비교.

Table 6. Relative computation time of Assisted-Galileo receivers.

	$T_s$ (us)	$N$	$S(f)$ (Hz)	상대 계산 시간 (s)	
				첫 번째 위성	두 번째 위성 이후
E1-B+C	4	375	130	11.7850	0.0653
E1-C	4	375	130	5.8925	0.0326
	25	60	20.8	171.8640	0.0326
	100	15	5.2	2455.20	0.0490

지만 계산량이 지수적으로 증가한다. 그러나 첫 번째 위성 신호가 획득된 후에는 동기 누적 길이에 관계없이 계산시간이 충분히 작음을 알 수 있다.

그러므로 Assisted-Galileo 수신기의 경우, 수신감도 성능과 신호획득 시간을 고려할 때 첫 번째 위성에 대해서는 E1-B와 E1-C를 동시에 이용하여 4ms 동기누적, 375번 비동기 누적 방식이 가장 유리하다. 그리고 두 번째 위성 이후에는 100ms 동기누적, 15번 비동기 누적 방식이 유리함을 알 수 있으며, 성공적인 신호획득을 위해서는 신호세기가 가장 강한 위성을 첫 번째 위성으로 선택하는 것이 유리하다.

## V. 결론

본 논문에서는 Galileo OS 신호의 E1-B 및 E1-C 채널을 이용한 Assisted-Galileo 수신기의 최종 SNR 및 상대 계산량을 비교 분석하였다. SNR 분석표를 이용하여 최종 SNR을 해석하고 시뮬레이션을 통하여 이를 검증하였다. CBOC으로 변조되는 Galileo E1 OS 신호는 코드 조절 손실이 GPS L1 C/A와 비교하였을 때 큰 것을 확인하였다. 약 신호 환경에서 Galileo 신호의 최종 SNR을 분석하였고 이를 통하여 -150 dBm의 E1-B 신호를 4ms 동기 누적, 375번 비동기 누적을 수행하면 19.4dB의 최종 SNR을 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 -150dBm의 E1-C 신호를 100ms 동기 누적, 15번 비동기 누적을 수행하면 E1-B 신호보다 5.8dB 더 큰 25.2dB의 최종 SNR을 얻을 수 있음을 확인하였다. 마지막으로 네 가지의 혼합 중첩 구조에 대하여 최종 SNR 및 상대 계산량을 분석하였다. 수신감도 성능과 신호획득 시간을 고려할 때, 첫 번째 위성 신호의 검색 시에는 상대적으로 신호가 강한 위성을 선택하여 4ms 동기 누적, 375번 비동기 누적하여 신호 획득을 수행하고 두 번째 위성 이후의 신호 검색 시에는 100ms 동기 누적, 15번 비동기 누적을 수행하는 것이 최적임을 확인하였다.

## REFERENCES

- [1] <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>
- [2] F. V. Diggelen, *AGPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS*, Artech House, 2009.
- [3] S. H. Song, J. W. Park, J. H. Park, and T. K. Sung, "Performance analysis of signal acquisition in L2C Assisted GPS receivers," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 1 pp. 61-67, Jan. 2011.
- [4] S. H. Park and S. J. Lee, "An efficient Assisted-GPS method in weak signal environment," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 10, no. 1, pp. 96-102, Jan. 2004.
- [5] J. W. Park, J. M. Lim, and T. K. Sung, "Enhancement of

hearability in geolocation using mobile WiMAX network with interference cancellation and long integration," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18 no. 4, pp. 375-383, Apr. 2012.

- [6] J. H. Park, H. J. Im, S. H. Song, and T. K. Sung, "Performance analysis of a residual frequency estimator for weak AGPS signals in frequency domain," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 16 no. 7, pp. 720-725, Jul. 2010.
- [7] E. Rebejrol, O. Julien, C. Macabiau, L. Ries, A. Delatour, and L. Lestarquit, "Galileo civil signal modulations," *GPS Solution*, vol. 11, pp. 159-171, Jul. 2007.
- [8] K. Borre, D. M. Akos, N. Bertelsen, P. Rinder, and S. H. Jensen, *A Software-defined GPS and Galileo Receiver*, Birkhäuser, 2007.
- [9] T. Pany, *Navigation Signal Processing for GNSS Software Receivers*, Artech House, 2010.
- [10] A. Bensky, *Wireless Positioning Technologies and Applications*, Artech House, 2008.
- [11] G. W. Hein, J.-A. Avila-Rodriguez, S. Wallner, A. R. Pratt, J. Owen, J. Issler, J. W. Betz, C. J. Hegarty, S. Lenahan, J. J. Rushanan, A. L. Kraay, and T. A. Stansell, "MBOC: the new optimized spreading modulation recommended for GALILEO L1 OS and GPS L1C," *Proc. of IEEE/ION PLANS 2006*, San Diego, pp. 883-892, Apr. 2006.



### 임 정 민

2011년 충남대 전자전파정보통신공학과 졸업. 2011년~2013년 동 대학원 전자전파정보통신공학과 석사졸업. 2013년~현재 동 대학원 전자전파정보통신공학과 박사과정. 관심분야는 갈릴레오 및 GNSS RTK.



### 박 지 원

2008년 충남대 전기정보통신공학부 졸업. 2010년 동 대학원 전자전파정보통신공학과 석사졸업. 2012년 동 대학원 전자전파정보통신공학과 박사수료. 2013년~현재 한국원자력연구원 계측제어인간공학연구부 연구원. 관심분야는 신호처리.



### 성 태 경

1984년 서울대 제어계측공학과 졸업. 1986년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박). 1997년~현재 충남대 정보통신공학과 교수. 관심분야는 GPS/GNSS, 지상과 측위, UWB WPAN 측위, 위치인지 신호처리.