ETRI

2017
Electronics and
Telecommunications
Trends

위성항법 신호생성기 기술 동향

Technical Trends of GNSS Signal Generator

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 위성항법 신호생성기 기술
Ⅲ. 위성항법 신호생성기 국외 기술 동향
Ⅳ. 위성항법 신호생성기 국내 연구 현황
Ⅴ. 결론

김태희 (T.H. Kim, thkim72@etri.re.kr) 위성기술연구그룹 책임연구원
신천식 (C.S. Sin, cssin@etri.re.kr) 위성기술연구그룹 책임연구원
염인복 (I.B. Yom, ibyom@etri.re.kr) 위성기술연구그룹 그룹장

* 본 연구는 미래창조과학부의 2014년도 정보통신 방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음 [GNSS 전파혼신 검증 플랫폼 기술개발].

GPS 등과 같은 위성항법 시스템은 정밀한 시각동기가 요구되는 동기식 이동통신망, 전력망, 금융망과 같은 분야와 사용자의 정밀한 위치를 요구하는 차량 내비게이션, 항공기 및 자동차, 측지 측량분야는 물론 향후 드론 및 자율주행 차량 등과 같은 다양한 응용분야에서 그 활용도가 증가될 것이다. 또한, 스마트폰에서는 기본적으로 위성항법 칩셋이 내장되어 사용자 위치를 제공하고 있다. 이렇듯 다양한 분야에서 활용되는 위성항법 수신 칩셋 또는 수신 시스템의 기능 및 성능을 다양한 환경에서 검증할 필요성이 대두되고 있다. 본고에서는 다양한 검증 환경을 제공할 수 있는 위성항법 신호생성기의 국외기술 동향을 살펴보고, 미래부 출연사업인 GNSS 전파교란 검증플랫폼 과제를 통해 개발된 GNSS 전파혼신 신호발생장치에서 확보한 실제 GPS 신호와 동기를 유지한 신호생성기술 개발 현황을 소개한다.

본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

© 2017 한국전자통신연구원

Ⅰ. 서론

1. 개요

현재, 위성항법 시스템 중 우리들의 실생활에서 대표적으로 접할 수 있는 시스템은 GPS 시스템이며, 사용자의 주된 활용분야는 차량에 탑재되어 운전자의 현재 위치를 알려주는 차량용 내비게이션이다. 'GPS(Global Positioning System)'란 중궤도(2만km 내외) 상에 다수의 인공위성을 배치시켜 이들 위성들에서 항법신호를 방송하는 위성항법 시스템을 의미하며, 위성항법 수신장치를 사용하면 규칙적으로 자신의 궤도를 돌고 있는 위성들이 송출하는 고유 주파수를 수신, 판독하여 현재 자신들의 위치는 물론 이동하는 방향과 속도까지도 알 수 있다.

대표적인 위성항법 시스템인 GPS는 전 지구 위성항법 시스템으로 당초 미국 국방성이 1978년에 미사일을 장거리 목표까지 정확히 유도하거나 비행기나 군함을 작전 지점으로 인도하기 위해 군사적 목적에서 개발한 것이지만, 민간 산업 부문에서의 효용성을 높일 수 있도록 고의적 오차(SA: Selective Availability)를 넣어 공개하였다[1]. 그러나 2000년 5월 1일을 기해 고의적 오차(SA) 발생을 중단함으로써 현재 민간용 GPS의 정밀도는 30m 이하로 제공되고 있다[2].

위성항법 수신기는 항법위성에서 방송하는 항법신호를 수신 처리하여 수신기의 위치, 속도 및 시간을 결정한다. 이러한 정보를 이용하여 무기 유도, 항법, 측량, 지도제작, 측지, 시각동기 등의 군용 및 다양한 민간용 목적으로 활용되고 있다.

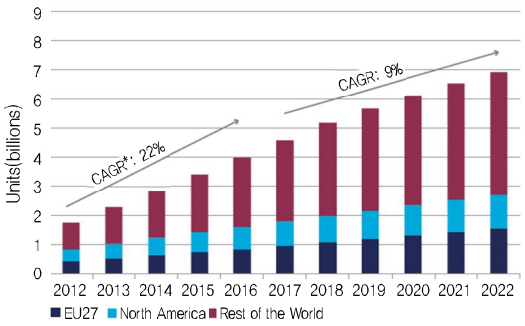
민간용 목적으로 활용되는 위성항법 중 가장 대중적으로 이용되고 있는 것은 차량용 내비게이션이며, 선박과 항공기 충돌 방지를 위한 유도 관제 및 토목 공사를 위한 측량 그리고 전자지도의 제작 등에 널리 사용되고 있다.

2. 위성항법 분야의 시장 전망

위성항법 장비 및 서비스와 관련하여 GSA(European GNSS Agency)의 위성항법 시장보고서는 2022년까지 전 세계 위성항법 장비가 70억 개씩 설치되고, 위성항법 응용 및 핵심의 수입이 매년 4,780억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다[3].

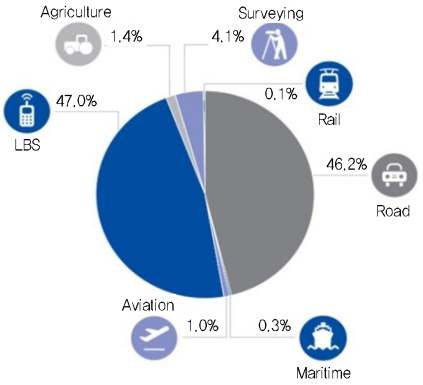
위성항법 응용분야 시장은 2020년까지 5%씩 증가하여 연간 3,410억 달러에 이를 전망이며, 핵심기술(칩(Chip)부터 사용자 제품) 시장은 2022년경에 4,780억 달러 중 1,370억 달러를 차지할 전망이다. 지역별 위성항법 장비 기반으로 설치되는 규모는 (그림 1), 2022년까지 핵심기술의 분야별 누적분 규모는 (그림 2)에 각각 나타내었다.

또한, GSA의 시장 조사에 따르면 (그림 3)과 같이 위



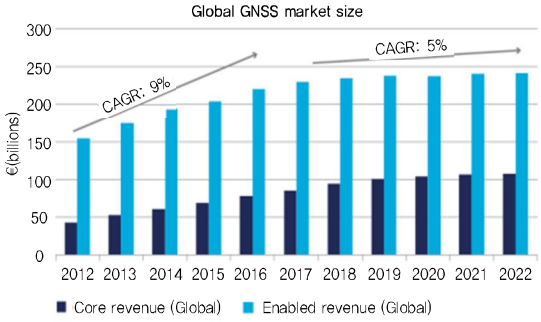
(그림 1) 전세계 지역별 위성항법 장비시장 전망

[출처] Inside GNSS News, Oct. 17, 2013.



(그림 2) 위성항법 응용분야별 시장 점유율 전망

[출처] Inside GNSS News, Oct. 17, 2013.



(그림 3) 위성항법 세계 시장 전망

[출처] GSA, "GNSS Market Report Issue 3," Oct. 2013.

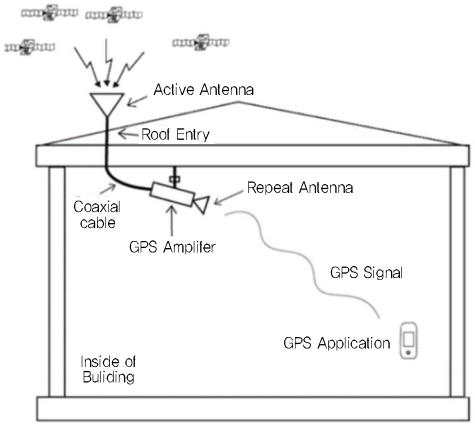
성항법 세계시장은 2017년에 위성항법 핵심분야 800억 유로, 관련 분야 2,400억 유로에서 2022년에는 1,000억 유로, 2,500억 유로로 각각 성장할 것으로 전망하고 있다[4].

II. 위성항법 신호생성기 기술

1. 위성항법 신호생성기의 필요성

위성항법 신호를 이용한 다양한 응용 분야가 있지만, 위성항법 신호의 송출전력(GPS 위성의 경우 개방된 장소를 기준으로 약 −160dBW)이 매우 낮아 빌딩 내부, 고층빌딩 지역 등과 같은 지역에서는 위성항법 신호를 수신하기 어렵게 된다. 이를 해결하기 위해서는 다양한 방법이 고려되는데, 위성항법 중계기를 이용하여 항법 신호를 실내에 송출하는 방법과 자체적으로 위성항법 신호를 생성하여 송출하는 방법이 있다.

우선 위성항법 중계기를 이용한 방법을 살펴보면, 옥외에 위성항법 신호 수신용 Active 안테나를 설치하고 옥외 안테나를 통해 들어오는 신호를 신호증폭기를 이용해서 증폭한 후 실내로 재송출하는 방법이다. (그림 4)는 위성항법 중계기를 이용하는 방법으로써 비교적 적은 비용으로 항법 수신단말의 성능을 시험할 수 있는 장점은 있으나 반복적인 위성신호 환경, 수신기의 이동환경과 같은 다양한 성능을 확인하기에 어려움이 있다.



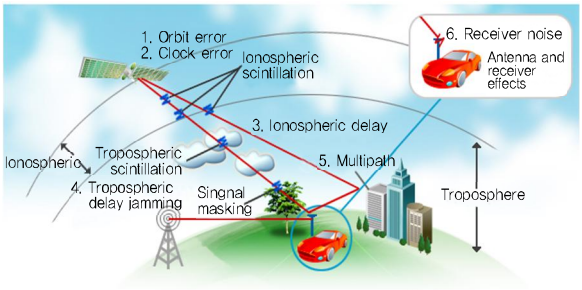
(그림 4) 위성항법 중계기를 이용한 항법신호 송출방법

[출처] 와이즈시스템㈜, "GPS 중계기 개요."

따라서 다양한 위성항법 신호환경에 대한 위성항법 수신기 및 항법 수신기를 사용하는 시스템에 대한 성능 검증을 위한 방법으로 위성항법 신호를 생성할 수 있는 위성항법 시뮬레이터를 이용하는 것이 있다.

위성항법 시뮬레이터는 차량 및 위성 운동, 신호 특성, 대기 및 기타 효과를 모델링하여 동적 플랫폼에서 위성항법 수신 환경을 제공하고, 실제 수신기의 이동환경에서 항법위성의 신호와 동일한 테스트를 수행할 수 있다. 또한, 항법위성의 실제 환경에서는 시간이나 위성의 이동에 따라 가시 위성의 수, 위성의 신호세기 등이 변화하므로 동일한 위성신호에 대한 반복적인 테스트를 수행할 수 없게 된다. 이에 위성항법 시뮬레이터는 실제 항법 신호를 이용하는 테스트와 달리 동일한 항법위성 신호를 다양한 효과와 조합을 동일한 제어 실험실 환경에서 모두 테스트할 수 있다.

위성항법 시뮬레이터의 또 다른 특징은 다음과 같다. 위성항법 신호의 생성 날짜, 시간 및 위치를 사용자의 시험 시나리오에 따라 결정할 수 있으며, (그림 5)와 같이 위성항법 신호의 환경적인 조건으로 대기의 조건, 다중 경로 반사, 안테나 특성 및 간섭 신호와 같은 위성항법 수신기 성능에 영향을 미치는 모델 효과를 모델링 할 수 있다. 위성항법 신호의 오류 및 부정확 조건으로 위



(그림 5) 위성항법 신호에 대한 오차 요인

[출처] 수도권매립지관리공사, "통합반입관리시스템 소개 및 구성."

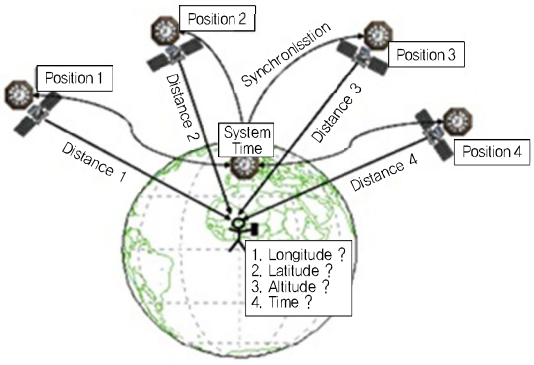
성항법 위성신호의 궤도오차, 위성시계오차, 항법데이터 오차 등의 특성을 제어하여 위성항법 신호 오류에 따른 수신 장비의 정상동작 유무를 테스트할 수 있다.

현재 위성항법 신호생성기를 이용하여 수신 칩셋, 휴대용 내비게이션 기기, 스마트 폰 및 주요 자동차 회사의 테스트, 개발 및 생산 프로세스 상에서 여러 주요 제조업체들이 사용하고 있다.

2. 위성항법 신호생성기의 동작 원리

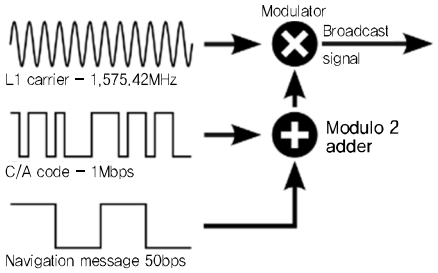
위성항법 신호생성기의 특성을 살펴보기에 앞서 항법위성의 동작 원리를 보면 항법위성은 내부 원자시계로 모두 동기 되어 있으며, 원자시계의 오차는 제어국에서 감시하고 동기를 유지시키고 있다. 이렇게 동기된 항법위성들은 독립된 코드 정보를 기반으로 항법메시지를 반송파신호에 실어 지상으로 방송하면, 항법 수신기는 위성항법 신호를 수신 처리해서 항법데이터 및 위성과의 상대적 거리에 의한 지연을 위성별로 의사거리를 측정하여 항법해 정보를 산출한다. 수신기에서 고도를 포함한 항법해 산출을 위해 (그림 6)과 같이 4개 이상의 위성신호를 처리해야 하며, 위성별로 전송된 항법 신호 도착 시간차를 이용해서 위성과 수신기간 의사거리를 계산하고 항법메시지를 처리하여 수신기의 위치 및 시간을 결정하게 된다[5].

위성항법 신호 생성기에서의 항법신호 생성을 위해서는 실제 위성과 동일하게 물리적으로 이격된 지점에서



(그림 6) 위성별 항법신호를 이용한 항법해 측위 원리

[출처] European Commission Memo, Oct. 11, 2012.



(그림 7) 위성항법신호 생성 개념

[출처] GPS 위키백과, https://ko.wikipedia.org/wiki/GPS, CC BY-SA.

동기된 신호를 생성할 수 없기 때문에, 위성항법 신호생성기에서는 위성과 수신기간의 시간지연을 고려하여 위성 채널 별로 신호를 생성하고 이를 합성한 뒤 송출해줌으로써 실제 위성환경과 동일한 효과를 제공한다.

위성항법 신호(예: GPS L1 신호)는 (그림 7)과 같이 코드, 항법데이터, 반송파의 결합으로 이루어진다[6].

위성항법 신호생성기는 신호의 출력 형태에 따라 2가지 형태로 분류 가능하다. 일반적으로 소프트웨어 기반의 위성항법 수신 알고리즘의 검증을 위한 IF 신호생성기와 RF 신호를 수신 처리하는 상용 위성항법 수신기 검증을 위한 RF기반의 신호생성기이다.

IF 신호생성기는 위성항법 신호의 반송파(Carrier) 성분을 IF 주파수로 신호를 생성한 후 샘플링해서 Digitized-IF 데이터를 생성하여 파일 또는 스트림 형태로 출력한다.

RF 신호생성기는 위성항법 신호의 반송파 성분을 RF 주파수로 신호를 만들어 내는 것이다. 따라서 RF 출력을 수신기의 안테나 또는 RF 입력으로 제공할 수 있다. RF 신호 생성기의 위성항법 신호생성 방법으로 실제 위성항법 신호를 수집 저장하여 재생하는 방법과 위성의 궤도/환경오차/위성오차 등을 고려하여 신호를 생성하는 방법으로 나눌 수 있다.

Ⅲ. 위성항법 신호생성기 국외 기술 동향

1. 영국의 신호생성 기술 동향

가. RaceLogic사의 LabSat3[7]

(그림 8)은 영국의 RaceLogic사에서 출시한 LabSat3로서 크기가 작고 독립형 배터리와 일체형으로 설계하여 GPS 원시데이터를 수집하고 재생함으로써 일상적인 GPS 사용환경에서 사용하는 것과 같이 GPS 신호의 현실적인 테스트가 가능한 제품이다.

위성항법 신호를 기록하기 위해 LabSat 3을 PC에 연결할 필요 없이 원터치 방식으로 SD 카드에 기록하고, 배터리 수명을 늘려 실외 환경에서 실제 시나리오를 만들어 실험실에서 다시 재생할 수 있다.

일반적인 테스트는 위성의 상황이 수시로 바뀌는 곳을 여러 번 운전해야 하는 번거로움이 있는데 비해 LabSat3 장비는 이러한 번거로움 없이 위성항법 수신기의 에러나 수신 문제를 발견해 낼 수 있으며, 이같은 장점을 이용하여 사용자가 많은 시간을 절약할 수 있고, 현장에 나가지 않고도 오차를 정확히 찾아내어 검증할 수 있게 해 준다. 또한, LabSat3은 GPS/Galileo/SBAS/QZSS, GLONASS 또는 BDS(DeiDou Navigation Satellite System) 위성 중 단일/이중 신호에 대한 기록 및 재생 기능을 제공한다.

(그림 8) RaceLogic사의 LabSat3

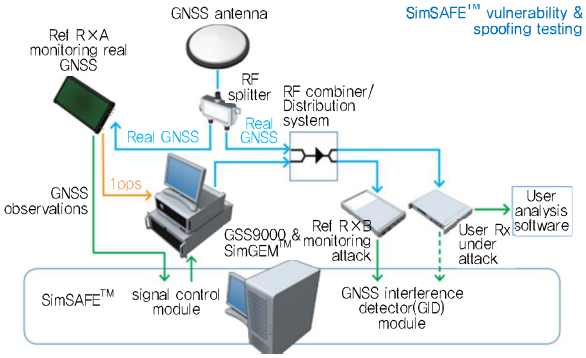
나. Spirent사의 GSS9900[7]

영국의 Spirent사는 위성항법 RF 신호생성기 분야에서 30년 이상의 개발 경력을 갖고 있는 세계 최고 수준의 기술을 보유한 업체로 전 세계 시장의 약 70%이상을 차지하고 있으며 신호생성기 분야에서 독보적이다. Spirent Federal은 하이 엔드 연구 및 개발부터 통합/검증, 단일 채널 생산 테스트에 이르기까지 모든 시뮬레이터를 제공하고 있다.

(그림 9)는 최근에 개발한 신호생성기인 GSS9000 모델로서 다중 주파수, 다중 위성항법 RF 궤도 시뮬레이터가 모든 항법신호에 대해 모든 지역에서 항법 시뮬레이션할 수 있도록 한다. 이는 신호생성기에서 자체적으로 위성의 궤도정보를 계산하고 위성 궤도에 따른 신호를 생성하는 것이다. GSS9000은 확장성이 뛰어나며 Galileo, GPS, GLONASS 및 BeiDou 시스템은 물론 지역/보강 시스템에 대한 광범위한 코드, 데이터 스트림을 지원할 수 있으며, 항법신호 생성 주기가 1,000Hz (1ms)로 더 정확하고, 더 높은 동적 시뮬레이션을 가능하게 한다.

또한 추가적 모듈(GSS6425)을 장착하여 실제 위성항법 신호 및 대기/간섭 효과에 대한 복잡한 실제 RF 환

(그림 9) Spirent사의 GSS9000



(그림 10) GSS9000을 이용한 실제 스푸핑 시험 구성

경을 빠르고 간단하게 기록하여 재생함으로써 실제 환경에 대한 반복적인 테스트를 지원하여 엔지니어링 비용을 줄일 수 있다.

GSS9000는 차동 위성항법 및 자세결정, 간섭/재밍 및 스푸핑 시험을 위한 다중 안테나/다중 차량 시뮬레이션 기능도 지원된다. (그림 10)은 SimSAFE와 결합한 실제 항법신호에 대한 스푸핑 시험 구성도이다.

2. 미국의 신호생성기 기술 동향

가. Cast Navigation, LLC사의 CAST-5000[8]

(그림 11)의 CAST-5000은 실험실 환경 또는 무반사실에서 반복 가능한 테스트를 제공하기 위해 GPS RF 신호의 단일 간섭 신호를 생성할 수 있다. CAST-5000은 다양한 GPS신호를 생성하기 위해 신호생성기 카드와 주파수 대역별 여러 개의 RF 발생기 카드를 장착하여 해당 GPS신호를 동시에 생성할 수 있다. 신호생성기 카드에서 항법신호를 생성하여 장착된 RF발생기 카드를 통해 RF 신호로 변환하는 방식으로서 신호생성의 일관성을 제공할 수 있다. 이때 장착된 RF 카드에서 발생되는 주파수 간의 위상오차를 1cm 미만으로 하여 정밀한 주파수 생성 성능을 제공한다. 또한 CAST-5000 CRPA(Controlled reception pattern antenna) 테스터는 안테나 시스템의 완벽한 엔드 투 엔드(End-to-end) 테스트를 제공할 수 있다. CRPA 안테나, 안테나 전자 장

(그림 11) CAST사의 CAST-5000

치 및 GPS 수신기는 신호를 방출하거나 수신하지 않고 장치로 검사할 수 있다.

나. IFEN Inc 의 NavX-NCS[8]

(그림 12)는 IFEN사의 NavX-NCS로 다중 항법신호에 대해 최대 108개의 채널을 구성할 수 있다. 다양한 항법신호를 생성하기 위해 추가적인 하드웨어 장착이 아닌 동일한 하드웨어 플랫폼에 소프트웨어 라이선스를 구입하여 신호를 생성하는 방식이다.

NavX-NCS는 최대 4개의 독립적인 RF 출력이 장착되어 사용자가 여러 안테나 위치를 동시에 시뮬레이션 할 수 있으며 이를 통해 CRPA 테스트가 가능하다.

(그림 12) IFEN사의 NavX-NCS

3. 독일의 신호생성기 기술 동향

가. Rohde & Schwarz사의 R&S SMBV 100A[8]

(그림 13)은 Rohde & Schwarz 사가 개발한 R&S

(그림 13) Rohde&Schwarz사의 R&S SMBV100A

SMBV100A로 사용자가 신호간섭 및 다중경로와 같은 다양한 조건에서 위성항법 수신기를 테스트하기 위한 다양한 옵션을 제공하고 있다. R&S SMBV-K107 옵션을 통해 위성항법 시뮬레이터는 현재 BeiDou뿐만 아니라 GPS, Galileo 및 GLONASS 위성 항법신호를 생성할 수 있다. BeiDou 위성 신호의 경우, 아직 궤도에 오르지 않은 위성까지 포함하여 최대 24 개의 BeiDou 인공위성으로 실시간 시나리오를 생성할 수 있다. 또한 위성항법 신호 외에도 R&S SMBV100A는 모바일 신호, 무선 및 무선 표준 시뮬레이션 기능을 제공한다.

4. 일본의 신호생성기 기술 동향

가. iP-Solutions의 Simceiver/Ninja[7]

iP-Solutions는 일본항공우주탐사기구(JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency)의 COSMODE 이온층 감시를 포함한 10 년간의 개발을 전세계의 일반 사용자에게 제공하고 있다. iP-Solutions 은 회사의 수신기에서 실시간으로 신호를 시뮬레이션하여 기록, 처리하고 거의 모든 위성항법 신호를 재생할 수 있게 한다.

iP-Solutions는 동일한 수준의 정확성과 신뢰성을 갖

(a) Mid-level Simceiver

(b) High-End Ninja

(그림 14) iP-Solutions사의 시뮬레이터

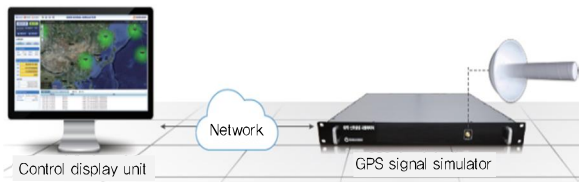
춘 미드 레벨과 하이 엔드 시뮬레이션 솔루션을 제공한다. (그림 14a)의 미드 레벨 시뮬레이터인 Simceiver는 다양한 항법주파수에 대한 시뮬레이션 및 신호간섭/스푸핑 시험을 제공하고, (그림 14b)의 하이 엔드 시뮬레이터인 Ninja는 다중 안테나의 CRPA 및 지역보정항법(LAAS) 시뮬레이션을 제공할 수 있다.

Ⅳ. 위성항법 신호생성기 국내 연구 현황

국내에서 GPS 신호생성기 관련 제품 출시 업체는 넷커스트마이즈사로 한국전자통신연구원으로부터 GPS 신호생성 관련 기술이전을 통해 RF 신호생성기 NcGSG를 개발하였다[(그림 15) 참조]. 해당 제품은 GPS L1/L2/L5 대역의 RF 항법신호를 생성할 수 있으며 추가적으로 재밍/기만신호를 생성할 수 있다. 또한 전자지도 기반으로 수신기의 궤적을 생성하여 시뮬레이션할 수 있는 기능을 제공한다.

한국전자통신연구원(ETRI)은 다원화 위성항법 주파수 감시 및 이용기술 개발을 통해 확보된 RF 위성항법 신호생성 기술을 활용하여 위성항법 전파혼신 신호생성장치 시제품을 개발한 바 있다. 위성항법 전파혼신 신호생성장치는 GPS L1/L2 및 GLONASS L1 주파수 대역의 재밍/재방송 기만신호와 GPS L1 대역의 기만신호를 생성하여 사용수신기의 전파혼신 특성을 검증하는데 사용된다. (그림 16)은 GPS L1대역에 대한 휴대형 전파혼신 발생장치로 재밍/재방송/기만 시험을 위한 구성방안을 도시한 것이다.

위성항법 전파혼신 신호생성장치는 국외의 위성항법 신호생성 시뮬레이터와 달리 GPS L1신호에 대해서는



(그림 15) 넷커스트마이즈사의 NcGSG

(그림 16) 위성항법 전파혼신 신호생성장치

실제 GPS 위성과 동기된 항법신호를 생성할 수 있다. GPS 위성과 동기된 신호는 상용 수신기의 기만특성을 분석할 수 있으며, 휴대가 간편하여 사용목적을 확장할 경우 군에서 기만기로도 활용이 가능하다.

V. 결론

최근에 위성항법 신호를 활용하는 분야 및 시장이 확장됨에 따라 다양한 응용 서비스를 제공하기 위한 항법 칩셋 및 시스템이 다각도로 개발되고 있다. 특히 개인 사용자가 휴대할 수 있는 스마트폰 시장의 확대가 눈에 띈다.

위성항법의 여러 사용목적에 따라 개발된 항법수신 모듈 또는 장비에 대한 기능 및 성능 검증이 무엇보다도 필요하게 되었다. 이러한 항법수신기 검증을 보다 효율적으로 실제 위성환경에 맞게 수행하기 위해서는 다양한 시험 환경이 요구된다. 본고에서는 위성항법중계기를 이용한 시험환경과 위성항법신호를 생성하는 시험환경의 장단점을 살펴보았으며, 특히 일정한 환경 오차 조건에서의 수신 성능검증 또는 수신기의 다양한 위치변화 등에 대한 시험을 위해 위성항법 신호생성기의 필요성을 기술하였다. 또한 국외에서 출시한 다양한 위성항법 신호생성기의 기술 동향을 살펴보고 현재 국내에서 진행중인 신호생성기에 대하여 분석하였다. 국외에서 출시한 제품은 실제 위성신호와 시각동기를 고려하지 않고 신호를 생성하지만, 위성항법 전파혼신 신호생성 장치에서는 실제 위성과 동기를 유지하면서 동일한 항법신호를 생성할 수 있는 기술을 개발하였다. 이는 실내외 연속 측위에 대한 수신기의 성능분석 및 수신기의 기만특성을 분석하는데 적합한 장치로 판단된다.

용어해설

GPS(Global Positioning System) 현재 완전하게 운용되고 있는 유일한 위성항법시스템으로, 중궤도를 도는 24개 이상의 인공위성에서 전송하는 전파를 GPS 수신기에서 수신하여 위치를 결정함. 미 국방부에서 개발되었으며 무기 유도, 항법, 측량, 지도제작, 측지, 시각동기 등의 군용 및 민간용 목적으로 사용됨

재밍(Jamming) 적의 전파와 주파수를 탐지해 통신체제를 혼란시키거나 방해하는 행위를 총칭하는 군사 용어

기만(Spoofing) GPS 위성신호보다 약간 높은 신호로 GPS 신호와 비슷한 위조된 정보를 방송하여 GPS 수신기가 잘못된 위치와 시각을 계산하도록 하는 공격

약어 정리

IF	Intermediate Frequency
BDS	DeiDou Navigation Satellite System
CRPA	Controlled Radiation Pattern Antenna
GSA	European GNSS Agency
GLONASS	GLObal Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
LAAS	Local Area Augmentation System
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RF	Radio Frequency
SA	Selective Availability
SBAS	Satellite Based Augmentation System

참고문헌

[1] Los Angeles Air Force Base, *Fact Sheets: Global Positioning System*, 2006. http://www.losangeles.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/

[2] Office of Science and Technology Policy, *Presidential Statement to Stop Degrading GPS*, May 1, 2000. https://www.whitehouse.gov/ostp

[3] G. Gibbons, "GSA Releases New Report on GNSS Markets: 7 Billion Devices, $478 Billion Revenues by 2022," Inside GNSS, Oct. 17, 2013. http://www.insidegnss.com/node/3752

[4] GSA, "GNSS Market Report Issue 3," GSA 2013 GNSS Market Report, Oct. 2013.

[5] P.H. Dana, "Receiver Position, Velocity, and Time," University of Colorado at Boulder, Retrieved July 7, 2008.

[6] SMC and SMC/GP, "Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces," IS-GPS-200D, Dec. 7, 2004.

[7] GPS World, *2017 Simulator Buyer Guide*, Mar. 21, 2017. http://gpsworld.com/2017-simulator-buyers-guide/

[8] GPS World, *2016 Simulator Buyer Guide*, Mar. 22, 2016. http://gpsworld.com/2016-simulator-buyers-guide/