

# 신호감시국용 위성항법 L1 수신기 성능 안정화에 대한 연구

김명순\*, 김재현\*\*, 이상욱\*\* 정회원

## Research of L1 GSS Receiver Performance Stabilization

Myung Soon Kim\*, Jae Hyun Kim\*\*, Sang Uk Lee\*\* Regular Members

### 요 약

본 연구는 위성항법신호감시국용으로 기 개발된 GPS L1 수신기를 실제 GPS Live 신호수신처리 동작의 장기시험을 통하여 기 개발된 수신기의 성능을 향상시키고, 수신기의 동작 및 성능의 안정화를 얻고자 수행되었다. 본 연구를 통해서 위성항법신호감시국용 수신기 설계 및 개발 시 간과되었던 사안들에 대해 수정보완이 이루어졌으며, 설계 및 구현 결과에서 성능 열화 요인을 제거함으로써 성능향상을 이루었다. 또한, GPS Live 신호 수신처리의 장기시험을 통하여, 개발 시 사용했던 항법 시뮬레이터 환경에서 제공되지 않는 실제 환경을 반영한 시험을 수행하였고, 그 결과 위성항법신호감시국용 GPS L1 수신기가 수개월동안 안정적으로 동작 중에 있다. 또한, 본 연구 결과가 반영된 위성항법신호감시국용 수신기 기술은 위성항법 지상인프라 핵심기술을 국산 기술로 개발했다는 점에서 큰 의미를 갖는다.

**Key Words** : GPS 수신기(GPS Receiver), 위성항법신호감시국(GSS)

### ABSTRACT

This research is performed to upgrade the performance and stabilize ther operation of GSS L1 receiver. One of the this research result is that the pre-development GSS receiver is amended to remove performance degradation factor so GSS L1 receiver performance enhancement is achieved. Other is that as a result of long run test, real environment test is performed and GSS L1 receiver operate under the GPS live signal receiving environment. Key result of this research is localization of GSS receiver.

## I. 서 론

GPS(Global Positioning System)를 포함한 GNSS(Global Navigation Satellite System)는 위성을 이용하여 전 세계 어디서나 위치, 속도, 시각 정보를 제공하는 전파 항법 시스템으로 육상 해상 및 비행기 항법뿐만 아니라 시각 동기 등 많은 분야에서 이용되고 있으며 그 사용이 점차 확대되고 있는 추세이다[1].

위성항법시스템은 중궤도상에 다수개의 항법위성을 배치하여 레인징 신호와 항법메시지를 송출하여 지상에 있는 항법수신기를 통해 사용자의 정확한 위치 및 시각 정보를 제공하는 시스템으로 서비스 커버리지에 따라 전지구와 지역항법시스템으로 구분한다. GNSS로는 GPS와 글로나스가 운용되고 있다. 2020년경에는 갈릴레오, 컴파스가 서비스를 제공할 것으로 전망된다[2].

위성항법시스템이 제공하는 항법신호에는 누구나 이용이 가능한 민간용 신호에서 군용 등 특수 목적의 항법신호에 이르기까지 다양하며 이용하는 서비스 형태도 차량 내비게이션을 비롯하여 각종 위치기반 서비스 창출에 기여할 수 있는 형태가 출현되고 있다. 위치기반 서비스에 대한 관심도가 증가하고 있고, 요구하는 위치정확도가 점차 고정밀화됨은 물론 개인화 되는 추세로 발전하고 있다. 이와 같은 추세를 고려하여 한국전자통신연구원에서는 2007년부터 2010년까지 위성항법 지상국 시스템 관련 기술개발을 수행하였다[3].

위성항법 지상국 시스템은 위성항법 신호감시국과 감시제어시스템, 상향링크국으로 구성되나 본 논문에서는 위성항법 신호감시국용 L1 수신기의 기술개발 결과에 대한 Long Run 시험에 관한 사항만을 다룬다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 본론으로 3개의 절로 구성된다. 각각의 절은 위성항법 신호감시국용 수신기의 구조/안정적 수신동작을 위한 개선항목/개선된 수신기 Long

※본 연구는 방송통신위원회 지원을 받아 수행된 연구 결과임.

\*ETRI LED통신연구팀 (mskim75@etri.re.kr), \*\*ETRI 위성항법연구팀(longinus@etri.re.kr, slee@etri.re.kr)

접수일자: 2012년 1월 14일, 수정완료일자 : 2012년 3월 27일, 최종 게재확정일자: 2012년 6월 19일

Run 시험 결과에 대해서 기술하였다. 다음으로 3장에 결론을 기술하였다.

## II. 본론

### 1. GSS 수신기 구조

#### 1.1 하드웨어 구조

위성항법 신호감시국용 수신기의 하드웨어 구조는 그림 1과 같다. 하나의 플랫폼은 1개의 RF/IF Front-End 모듈, 4개의 기저대역 신호처리 보드, 1개의 주제어부(PC)를 포함한다. 각각의 기저대역 신호처리 보드는 그림 1에 명기된 항법 주파수 대역의 기저대역 신호처리를 담당한다. 참조 클럭 유닛은 플랫폼 내의 각 모듈들이 공통으로 사용할 클럭을 제공한다. 또한, 각각의 신호처리 보드는 cPCI 버스를 사용해서 주 제어부와 통신한다.

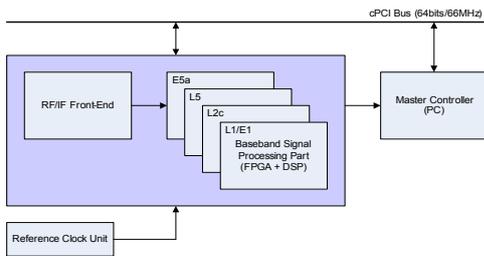


그림 1. GSS 수신기 하드웨어 구조

#### 1.2 소프트웨어 구조

각각의 신호처리보드에는 FPGA와 DSP가 존재하여 해당 규격에 맞게 동작할 수 있도록 신호처리부가 포함된다. 그림 2는 FPGA에 구현된 신호처리부 설계이다. 보여지는 바와 같이, FPGA 내부에 신호획득부 대부분과 연산량이 많은 신호추적부의 일부가 포함된다. 그림 3은 DSP에 구현된 신호처리부 설계를 나타낸다. 보여지는 바와 같이 신호추적부 대부분과 데이터 복조, 메시지 복호, 항법해 연산 등이 포함된다.

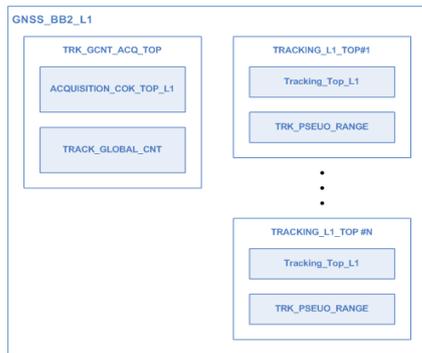


그림 2. 신호처리보드의 FPGA 설계

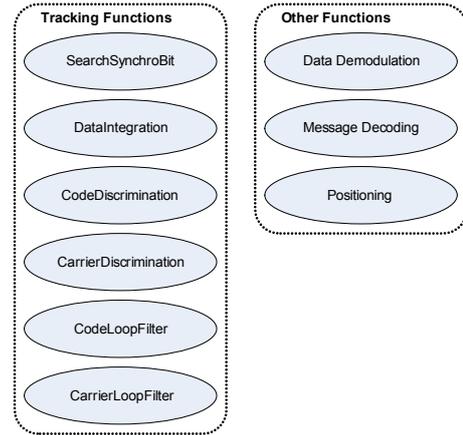


그림 3. 신호처리보드의 DSP 설계

### 2. 수신기 개선항목

전 절에서 설명한 바와 같은 구조를 갖는 기 개발된 위성항법 신호감시국용 수신기에 대한 장기 시험을 수행하였다.

그림 4에 개선 사항 반영 전의 장기 시험 결과를 나타내었다. 파란색은 East, 연두색은 North, 빨간색은 Up(Height) 각각의 에러를 의미한다. X축의 단위는 초(seconds), Y축의 단위는 미터(m) 이다. 수신기 장기 시험을 통한 원인 분석 및 개선 사항 반영 이전에는 그림 4에 나타난 바와 같이, 위성항법 신호감시국용 수신기로 활용 가능한 정도를 보였으나, 시험 기간이 길어지면, ENU 에러가 수백km까지 증가하는 등의 ENU burst(ENU 에러가 급격히 증가하는 상황)가 발생하면서, 수신기의 동작 상태가 비정상적인 상태로 천이하는 현상이 발생하였다. 본래의 용도인 위성항법 신호감시국용 수신기로 활용을 위해 장기시험을 통해 현상을 분석하고, 개선 사항을 반영하였다.

시험 수행 중 발생된 현상 및 원인 분석을 통해서 몇 가지의 개선항목이 발생하였다. 개선항목 및 작업내용 요약을 표 1에 나타내었다.

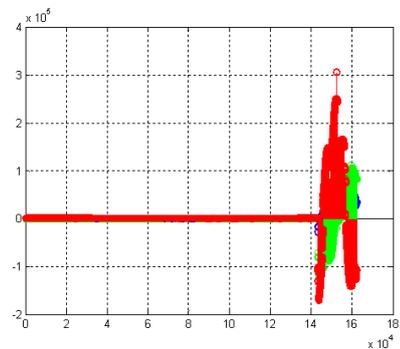


그림 4. 개선 사항 반영전의 장기시험 시 ENU값 변화

표 1. 개선항목 및 작업내용 요약

문제점 개선항목	작업내용
신호획득 민감도 모드 적용	민감도 모드로 수정 NC(Non-Coherent) 숫자 = 8
항법수신 동작순서도 수정	CNo임계값=33dB-Hz, 해당 임계값 이하의 위성은 신호획득부터 재 수행
항법해 계산을 위한 요건 추가	PVT 계산에 포함되는 위성의 조건을 CNo 40dB-Hz 이상, 양각 5도 이상인 경우로 한정 (이전조건: CNo 25dB-Hz 이상)
항법해 계산에 사용되는 기준시간 초기화	- 의사거리 계산에 사용되는 수신기 및 위성 시간을 1주일(604,800초) 단위로 계산하도록 수정 - FPGA 출력 카운터 값 초기화 루틴 삽입 (604,800에서 초기화)
항법해 계산에 사용되는 Ephemeris 초기화 문제	- 이전과 현재 Ephemeris 간 시간차가 2시간 이상인 경우는 새로운 Ephemeris 정보 업데이트 - 지는 위성에 대한 채널 / PRN Ephemeris Clear 루틴 삽입

2.1 신호획득 민감도모드 적용

GPS L1 Live 신호를 이용하여 Long Run Test 시 새로 떠오르는 위성의 경우 낮은 양각에서 신호처리 되지 않고, 시간이 흐른 후 위성의 양각이 높아지면 신호처리가 되는 현상 발생한다. 해당 위성이 더욱 시간이 흘러 다시 양각이 낮아지더라도 신호처리가 되는 현상이 발생하였다. 이러한 현상을 분석한 결과 이미 신호 획득이 완료된 위성에 대한 신호 추적은 해당 위성의 양각이 낮아도 신호처리가 유지 되지만, 처음 낮은 양각에서 시작하는 위성에 대한 신호획득 단계에서 문제가 되는 것으로 판단되었다.

본 수신기와 상용 수신기를 동일 수신 신호에 대하여 수신 결과를 비교하면, 수신기 동작 시작 시 신호획득 되는 위성의 수가 2~3개 적은 것을 볼 수 있으며, CNo는 적절하나 양각이 낮은 새로 올라오는 위성의 경우 신호처리 하지 않는 현상을 발견하였다.

신호획득부는 일반 모드와 민감도 모드로 나누어져 동작할 수 있도록 되어 있으며, 일반 모드의 경우 -126dBm, 민감도 모드의 경우 -142dBm을 기준으로 획득 가능한 알고리즘이 적용되었다. GPS L1 Live 신호의 경우 최소 도달 신호세기 -130dBm이므로 일반 모드의 경우 신호획득이 되지 않는 경우가 발생하고, 민감도 모드를 적용하여야 모든 위성에 대하여 신호획득이 가능해 짐을 알 수 있다. 하지만 -142dBm 신호까지 신호획득하기 위한 민감도 모드는 신호획득에 걸리는 시간이 위성당 1초 이상 걸리므로 실질적인 신호처리에 있어서 애로사항이 발생하게 된다.

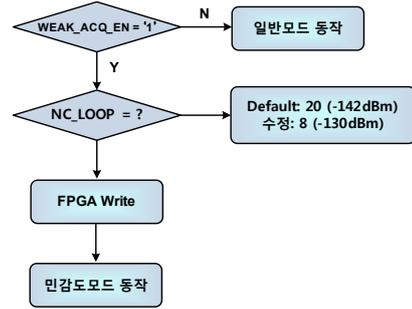


그림 5. 민감도모드 동작순서도

본 응용에서는 그림 5의 민감도 동작 순서도를 바탕으로, 민감도 모드에서의 동작이 -130dBm 까지 신호획득이 되도록 수정하였다. 또한 과도한 누적으로 인한 획득 소요 시간을 줄이기 위해, -130dBm에서 정상적으로 신호획득이 가능하도록 누적횟수를 '8'로 설정하였다.

결과적으로 낮은 양각의 떠오르는 위성에 대해서 정상적으로 신호획득이 이루어지며, 상용 수신기와 동일한 수의 위성에 대해서 신호처리가 가능함을 확인하였다.

2.2 항법수신 동작순서도 수정

신호획득 이후 해당 위성에 대한 신호추적 시 특정 위성에서 CNo 값이 낮게 나오는 현상이 발생하였다. 이는 신호획득 이후 신호추적 시 정상적인 위치에서 신호추적이 이루어지지 못하는 경우에 발생할 수 있을 것으로 추정되며, 해당 신호추적은 시간이 흘러 위성이 지평선 너머로 사라질 때까지 유지된다. 이 때 비정상적인 신호추적에 따라 해당 위성의 측정치에 오차가 큰 값으로 발생하며, 따라서 이 값을 이용하여 항법해를 할 경우 항법해 오차가 증가하게 된다. 비정상적인 신호추적의 경우 DSP 채널제어를 통해 해당 위성을 정상화시킬 수 있어야 한다. Long Run Test 이전의 DSP 채널제어는 채널 초기화 관련 기준 CNo가 15dB-Hz 였으며, 이에 따라 비정상적 신호추적 시에도 해당 채널이 계속 유지되며, 항법해가 수행되었다.

채널초기화관련 기준 CNo를 33dB-Hz, 25dB-Hz의 2가지 경우에 대하여 채널제어를 수행하였다. 채널제어 변경 결과 CNo 값이 낮은 경우, 해당 위성 관련 신호처리에서 신호추적을 초기화 하여 신호획득부터 재 수행됨을 볼 수 있으며, 기존의 낮은 CNo에 따른 현상은 나타나지 않았다. 이는 성능향상의 접근이라기보다는 상태 천이도의 정비에 따른 채널 제어 최적화로 볼 수 있다.

2.3 항법해 계산을 위한 요건 추가

항법수신기의 Long Run 시험 결과 분석은 계산된 ENU Error 값을 통해서도 가능하다. ENU Error가 순간적으로 큰 값을 갖는 ENU Burst 발생 이전과 발생 시점의 수신 상태를 분석해본 결과, 새로운 위성이 PVT (Position, Velocity, Time) 계산하는 데 포함되는 시점이었다. 새로운 위성의 상

태가 양각이 낮고, CNo가 낮은 경우, 특히 지는 위성에 관한 경우는 ENU Burst에 대해서 좋지 않은 결과를 보였다. 보다 상술하면 다음과 같다. 임의의 위성 채널의 수신기 내부에서의 상태가 PVT 값 산출하는 집합에 포함되는 상태로 변화하면 ENU 결과값이 큰 폭으로 변화하면서 ENU Error값이 일시적으로 커진다. 이 상황을 기점으로 진후를 분석해보면 해당 위성이 지는 위성인 경우, 양각이 낮아져서 비 가시위성으로 분류되는 경우, 일시적으로 커졌던 ENU Error값이 정상 범위로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 또한, 떠오르는 위성인 경우, 양각이 높아지면서 CNo가 일정 값 이상을 넘어서는 경우, 일시적으로 커진 ENU Error 값이 정상범위로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상의 해결을 위해, PVT 계산에 포함되는 위성의 상태에 대한 조건을 강화하여 CNo가 40dB-Hz 이상이고, 양각이 5도 이상인 위성에 한해 PVT 계산을 수행하도록 수정하였다. 수정 이전 조건은 CNo가 25dB-Hz 이상인 경우에 대해서만 PVT 계산을 수행하였다. 보다 상술하면, DSP 내부에 Calculate\_PR이라는 함수가 실행되면, 해당 추적 위성의 의사거리가 유효함을 나타내는 신호가 발생하는 데, 이 신호의 발생 조건식을 추가 하였다. 또한, 채널의 상태가 한번 PVT 계산하는 집합에 포함되면, 해당 위성이 사라지지 않는 한은 계속해서 PVT 계산하는 집합에 포함되던 상태천이도를, 그림 6과 같이 일정 조건을 만족하지 않으면, PVT 계산하는 집합에서 제외시키는 루틴을 삽입하였다. 이 결과 ENU Burst 발생 빈도가 현격히 감소하였다.

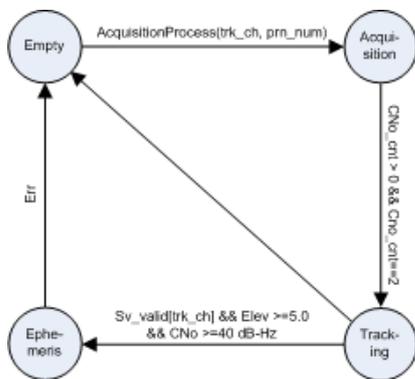


그림 6. 위성의 수신동작 상태천이도

2.4 항법해 계산에 사용되는 기준시간 초기화

GPS Live 신호에 대한 Long Run 시험의 경우 Week Number가 바뀌는 일요일 이후 신호추적 채널이 하나씩 줄어들어 최종적으로 하나의 채널도 신호처리가 되지 않는 현상이 발생하였다. 일요일 자정에 TOW(Time of Week) 값이 604,800초 (일주일일 604,800 초)에서 초기화된 이후 특정 순간에 파라미터 오류가 발생하며, 이후 해당 채널에 오류 발생 후 동작이 정지되고 다시 신호처리 시에도 계속해서 오류 발생하다가, 이후 동작이 정지된다. 이 경우 수신기 시계는 정상 동작 도중 특정 순간 xyz 오차가 Nan(not available number) 값으로 아주 큰 값을 차례로 가지며 수신기 시계오

차가 커지고, 이 값이 수신기 시간의 보정 값으로 반영되어 수신기 시계가 틀어져버리는 현상이 발생하였다.

수신기 시간은 수신기의 시작 이후 계속 증가하며, 위성이 지고 뜨는 것에 따라 위성 시간은 프레임 동기( TOW+Count값 from FPGA) 값으로 계산된다. 이 때 두 값을 뺀 것으로부터 의사거리가 계산 되며, 해당 값의 정상 범위(50ms~100ms) 내에 들어야만 신호추적을 유지 시키도록 구현되어 있다. 그러나 일주일이 지난 후 해당 값이 신호추적을 유지 시키도록 설정된 조건인50ms~100ms 범위를 넘어버리고, 따라서 3~5초 후에 제거된다. 이렇게 되는 이유는 위성 시간은 일주 후 TOW 값이 초기화되나, 수신기 시간은 계속 증가되어 생기는 현상이며, 따라서 두 값을 뺀 해당 값이 일정 범위를 벗어나게 된다. 여기에서는 의사거리 계산 시 수신기 시간과 위성 시간을 604,800(일주간 초) 모듈로 연산을 활용하여 나머지를 취하여 해결하였다. 또한, 이와 관련하여 FPGA의 카운터 값을 604,800초가 지나면 초기화 하는 형태로 수정 구현을 완료하였다.

DSP 내부에 구현된 수신기 시간과 위성 시간은 double 형의 변수를 가지고 있으며, double 형 변수에 대한 나머지를 구하기 위하여 각 시간에 대한 정수 부분을 따로 떼어내어 본래 각 시간에 대하여 차를 구하면 소수점 이하 나머지를 저장할 수 있다. 이후 정수 부분에 대하여 따로 604,800 초만큼 나머지를 구하고 소수점 이하 값을 더하면 수신기 시간과 위성 시간 모두 604,800을 넘지 않고 정상적인 의사거리 범위 내에 존재하게 된다. 해당 부분의 수정을 반영한 후, 채널수가 줄어들거나 수신기 시간이 틀어져 항법해가 나오지 않던 기존 현상이 사라졌다.

2.5 항법해 계산에 사용되는 Ephemeris 초기화

GPS L1 Live 신호에 대하여 Long Run 시험 수행 중 특정 순간에 항법해 오차가 수십 미터까지 발생하였다. 이는 특정 위성의 Ephemeris 정보가 일정 시간 경과 후에 위성이 지고, 시간이 흘러 해당 위성 신호를 재수신 시 Update 된 Ephemeris를 확인하지 못하고 기존 Ephemeris 를 사용함에 따라 잘못된 위성 위치로 항법을 수행하기 때문에 발생하는 오차로 분석되었다. 이러한 현상은, 발생 후 대략적으로 30초 가량 지난 이후 수신기에 새로운 Ephemeris가 업데이트 됨으로써 정상적인 항법해 결과를 보인다.

상기한 문제의 해결을 위해, 위성 위치 계산시 필요한 Ephemeris 정보의 TOW시간을 저장하고, 기존 수신기 시간과 Ephemeris TOW 시간 간의 차가 2시간 이상일 경우 Ephemeris 정보의 유효함에 대한 플래그를 초기화하여 기존 Ephemeris의 사용가능성을 없애도록 수정하였다. 또한 위성 위치를 계산할 때 기존 Ephemeris 정보에 대한 유효 Flag를 참조하여 정상 Ephemeris 정보에 대한 경우에만 위성 위치를 계산하도록 수정하였다. 또한, 지는 위성에 대해 PRN Ephemeris를 Clear하는 루틴을 삽입하였다. 이는 구현상의 특징에 따른 것으로 채널에 대한 Ephemeris와 PRN

Ephemeris를 별도로 관리하는 데 따른 것이다.

상기한 구현을 반영한 후, 유효하지 않은 Ephemeris를 통해서 음의 양각을 갖는 위성의 위치가 산출되고 그로 인해 항법해 오차가 크게 발생하는 현상이 더 이상 발생하지 않았다.

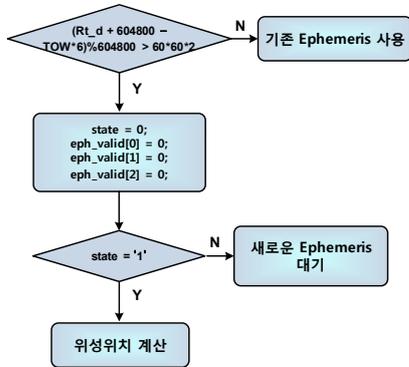


그림 7. 위성위치 계산 흐름도

### 3. 개선반영 후 Long Run 시험결과

개선된 수신기의 장기시험을 위한 환경은 다음과 같다. GPS L1 live 신호 수신을 위한 안테나로 위성항법 지상국 용으로 제작된 것을 연구소의 옥상에 설치하여 사용 하였다. 주파수 하향 변환기 또한 위성항법 지상국 용으로 자체 제작된 것을 사용 하였다. 개선사항이 반영된 곳인 GPS L1 수신신호처리부는 FPGA와 DSP에 나뉘어 구현되었고, 해당 구성을 포함하는 한 장의 보드 형태이다. 보드와 MCB의 연결은 PCI 형태로 지원되는 데, 해당 구성을 포함하는 플랫폼을 사용하였고, MCB 내부의 UI 및 프로그램을 활용하여 개선사항 반영 결과 확인 및 장기시험 수행 결과를 확인 하였다.

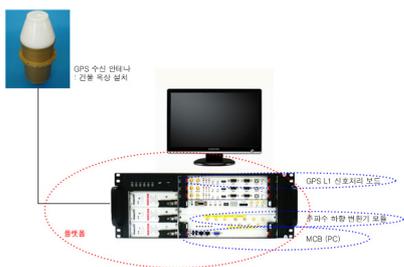


그림 7. 개선된 수신기의 장기시험을 위한 환경 셋업

개선된 수신기의 장기시험 결과는 다음과 같다. 시험 조건 중 특이사항은 PVT 계산식에 포함되는 위성의 조건을 추적 루프에서 계산된 CNo가 40dB-Hz 이상이며, 해당 위성의 양각이 5도 이상인 경우로 한정하였다. 일주일 동안의 시험 결과를 발췌하여 Plotting 하였다. 그림 8 / 그림 9 / 그림 10은 각각 항법해결과의 동서방향 에러값 / 남북방향 에러값 / 고도 에러 값을 나타낸다. 그림의 X축은 초(seconds)를 의미하며, Y축은 측위 에러로 단위는 미터(m) 이다. 해당 시간 동안 ENU Burst는 발생하지 않았으며, 감내할 수 있는 ENU

error 값을 가졌다.

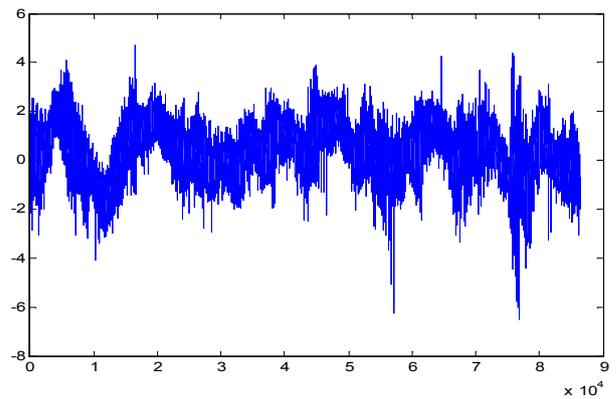


그림 8. 항법해결과의 동서방향에러

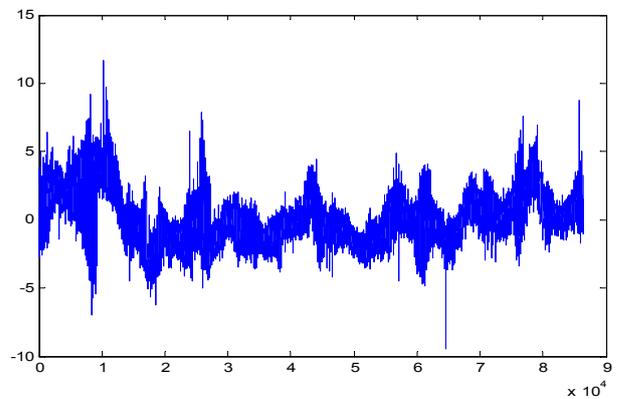


그림 9. 항법해결과의 남북방향에러

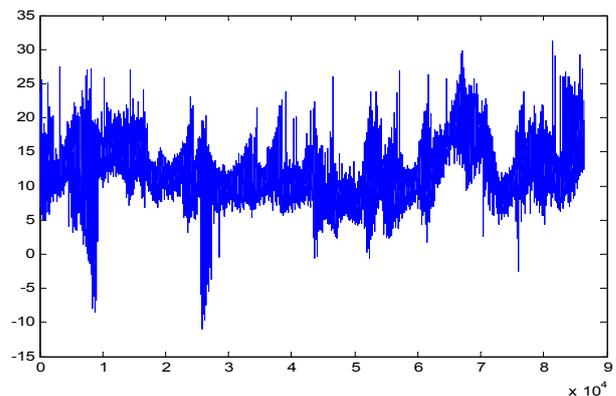


그림 10. 항법해결과의 고도에러

## III. 결론

본 논문은 위성항법신호감시국 용도로 개발된 위성항법 수신기의 장기 시험 및 시험에 따른 수정보완 구현결과에 대해 기술하였다.

이상적인 환경에서 개발 및 시험을 완료한 수신기이지만, 실제 Live 신호 수신을 위해서 고려되어야 할 각각의 요소에

대해서 시험 및 시험 결과를 바탕으로 한 수정보완이 이루어졌다.

이에 따라 당초 목표했던 수신기 성능을 만족하면서 안정적인 Long Run이 가능한 수신기로의 동작이 가능해졌다. 해당 시험을 위한 수신기의 동작이 수개월 동안 진행 중에 있으며, 이 기간 동안 수신기는 안정적으로 동작 중에 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] 한상목, “SoC를 이용한 GPS 수신기 구현”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 2004.
- [2] Jaehyun Kim, “Development and test of GNSS ground Station Technologies“, ICSANE, 2010.
- [3] 신천식, “위성항법 지상국 시스템 핵심기술개발에 관한 연구”, GNSS Workshop, 2010.
- [4] 김명순, “위성항법신호감시국용 수신기 장기시험을 통한 성능 향상 및 안정화”, GNSS Workshop, 2011.

### 저자

#### 김 명 순(Myung Soon Kim)



- 1999년 2월 : 전북대학교 정보통신공학 학사졸업
- 2001년 2월 : 전북대학교 정보통신공학 석사졸업
- 2001년 1월~현재 : ETRI 연구원

<관심분야> : 디지털신호처리, 통신시스템

#### 김 재 현(Jae Hyun Kim)



- 2005년 2월 : 한양대학교 전자공학 학사졸업
- 2007년 2월 : 한양대학교 전자공학 석사졸업
- 2007년 4월~현재 : ETRI 연구원

<관심분야> : 디지털신호처리, 무선측위

#### 이 상 욱(Sang Uk Lee)

#### 정회원



- 1988년 2월 : 연세대학교 천문학사졸업
- 1991년 3월 : Auburn 대학교 항공우주공학석사졸업
- 1994년 3월 : Auburn 대학교 항공우주공학박사졸업

· 1993년 3월~현재 : ETRI 연구원

<관심분야> : 위성항법, 제어, 시뮬레이션