

항재밍용 가변대역 다중모드 위성항법수신기 설계 및 성능분석

Performance Analysis and Design of Variable Bandwidth Multi-Mode GNSS Receiver for Anti-Jamming

안 승 관* 이 상 정**
Seung-Gwan Ahn Sang-Jeong Lee

Abstract

GNSS receiver which uses the weak satellite signal is very vulnerable to the intentional jamming or non-intentional electromagnetic interference. It is a very simple method among the use method of GNSS receiver to vary tracking loop bandwidth of satellite signal appropriately as the jamming signal level. In this paper, this anti-jamming performance is experimented and analyzed in the laboratory and the anechoic chamber by the GNSS simulator to generate the satellite signal and the jamming signal generator to generate the jamming signal.

Keywords : GNSS(Global Navigation Satellite System)(위성항법 시스템), GNSS Receiver(위성항법수신기), GNSS Simulator(위성항법신호 모의 발생기)

1. 서론

Global Positioning System(GPS)은 지구 전역에서 시간과 기상에 관계없이 사용 가능한 이상적인 항법시스템이고, GNSS 수신기는 항체의 위치/속도/시각 등의 항법정보를 비교적 정확하게 측정할 수 있다^[1]. 그러나 중궤도 위성인 GNSS 위성은 고도 2만km에서 전지구적으로 전송하기 때문에 지상에서 수신전력이 -130dBm 정도로 자연상태에서 발생하는 열잡음보다

작다. 따라서 의도적인 재밍신호나 비의도적인 간섭신호가 안테나에 수신될 경우 쉽게 위성신호를 잃어버린다^[2]. 이러한 취약점을 보완하기 위한 기법이 오래전부터 연구되고 있으며 크게 상관 전 처리기법과 상관 후 처리기법으로 나뉜다. 첫째 상관 전 처리기법은 배열안테나(Array Antenna)를 이용하는 기술이다^[3~5]. 배열안테나 기술은 여러 개의 안테나를 사용하여 특정방향의 원하지 않는 재밍신호를 감쇄시키는 기술이다. 이 기술에는 시간영역에서 신호처리하는 STAP(Space Time Adaptive Processing)과 주파수영역에서 신호처리하는 SFAP(Space Frequency Adaptive Processing)이 있으며, 대부분의 재밍신호에 가장 효과적으로 대항할 수 있는 기술이다. 두 번째 상관 후 처리기법은 GNSS 수신기의 신호추적루프 성능을 향상시키는 기술

† 2009년 9월 17일 접수~2009년 12월 18일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

** 충남대학교(Chungnam National University)

책임저자 : 안승관(ahnseung@add.re.kr)

로, 속도 보정 방식의 강결합 기술, I/Q 데이터를 이용하는 초강결합 및 심층결합 기술, 가변대역 위성신호 적응추적 기술 등이다^[1,2].

본 논문에서는 GNSS 수신기의 신호추적루프 성능을 향상시키는 기술 중에서 기존 GNSS 수신기의 하드웨어는 수정없이 간단하게 소프트웨어만 수정하여 GPSL1/L2, GLONASS G1대역의 재밍신호에 대해서 효과적으로 대응할 수 있는 가변대역 위성신호 적응추적 알고리즘을 설계하고 구현하였다. 그리고 GNSS 시뮬레이터와 재밍신호 발생기를 이용하여 실내 및 무반향 챔버내 시험을 통해서 재밍신호에 대한 가변대역 알고리즘의 재밍대응 성능을 분석한다.

2. 다중모드 위성항법수신기 구조

다중모드 위성항법수신기의 구성도는 Fig. 1 이다.

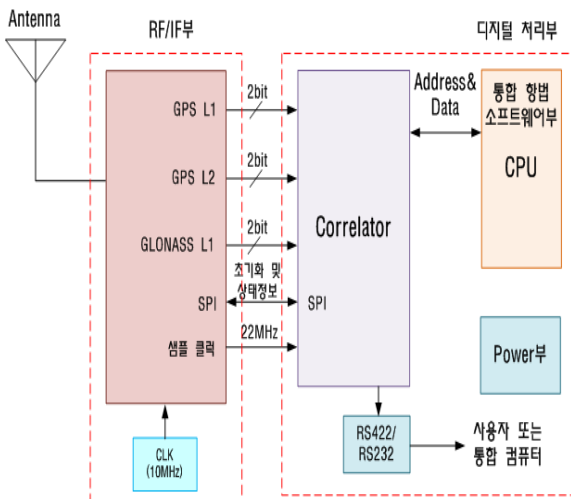


Fig. 1. 다중모드 위성항법수신기 구성도

Fig. 1에서처럼 RF/IF부는 안테나에 입력된 GNSS (GPS L1 : 1575.42MHz, GPS L2 : 1227.6MHz, GLONASS : 1602MHz) 신호를 IF로 낮추고 22MHz로 샘플링하여 2비트 디지털 신호를 출력한다. GPS의 신호는 CDMA(Code Division Multiple Access) 방식으로 2MHz 대역폭을 가지기 때문에 샘플링 주파수가 4MHz 이상이면 되지만 GLONASS는 FDMA(Frequency Division Multiple Access)방식으로 약 8.5MHz의 대역폭을 가지며, 이로 인해 17MHz 이상의 샘플링 주파수로 디지털

화 해야 된다. 하지만 GNSS 신호마다 샘플링 주파수를 다르게 가져가는 복잡성을 줄이고 새로운 디지털 상관처리기법의 적용의 편의성과 RF/IF부의 RF칩에서 사용하는 주파수에서 쉽게 분주하여 생성할 수 있는 22MHz로 샘플링 하였다. 22MHz, 2비트의 디지털 신호는 디지털 처리부의 상관기(Correlator)에서는 반송파 추적 및 역확산을 수행하고, 통합 항법 소프트웨어에서는 각각의 신호를 통합하여 항법해를 계산하게 된다. Fig. 2는 지상항체용 다중모드 위성항법 수신기의 외형과 내부를 나타내는데, 위치/속도/시간 정확도, 데이터 출력률, 초기위치 획득시간, 재획득시간 등의 규격을 고려하여 개발되었다.



Fig. 2. 다중모드 위성항법수신기 외형과 내부

가. RF/IF부

Fig. 3은 다중모드 위성항법 수신기의 RF/IF부의 구조와 주파수 계획을 나타낸다. Fig. 3에서와 같이 다중모드 위성항법수신기의 RF/IF부는 2단의 하향변환 구조를 사용하여 설계하였다. GPS L1(1575.42MHz)과 GLONASS(1602MHz)신호는 주파수 대역이 비슷하기 때문에 첫 번째 혼합기(Mixer)는 공통으로 사용하고, SAW 필터와 두 번째 혼합기는 각각 사용하여 각각의 디지털 IF 신호가 된다. RF/IF부의 제작 규격은 Table 1과 같다.

Table 1에서 잡음지수(Noise Figure)는 안테나 미장착시의 수치이며, 다중모드 위성항법수신기의 전용안테나는 내부에 LNA를 장착하고 있기 때문에 안테나와 연동시에는 3dB 이하로 낮아지게 된다.

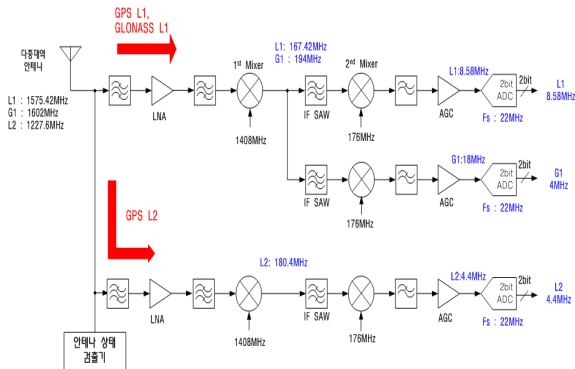


Fig. 3. 다중모드 위성항법수신기의 RF/IF구조

Table 1. RF/IF부 규격

| 항목 | 제작 규격 | 비고 |
|---------------------------|----------|-------------------------------|
| Input VSWR | 1.6:1 이하 | |
| Noise Figure[dB] | 5 이하 | 안테나 미장착시 |
| Total Gain[dB] | 100 이하 | AGC 사용 |
| AGC Range[dB] | 50 이상 | |
| Input 1dB Compression[dB] | -70 이상 | 최소 Gain 일때 |
| Phase noise[dBc/Hz] | -90 이하 | at 100kHz offset from carrier |
| Clock output[mV] | 200mVpp | 200Ω, 22MHz |

나. 디지털 처리부

디지털 처리부는 상관기와 통합항법 소프트웨어부로 구성된다. 디지털 처리부의 상관기 구조는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 상관기는 1개 채널의 구조이며, 1개 대역당 12개 위성신호를 처리하기 위해 12채널을 사용하므로, 3개 대역은 36채널로 구성된다. GPS L1/L2와 GLONASS 신호의 구분없이 레지스터의 셋팅만으로 자유로이 상관기 채널을 선택할 수 있으며, 각 대역의 디지털 IF 신호로부터 반송파 및 코드를 제거하여 각 코드의 몇 주기 동안의 적분값을 통합 항법 소프트웨어부로 전달한다. 통합 항법 소프트웨어부에서는 상관기로부터 받은 데이터로 GNSS 위성신호와의 동기를 맞추고 데이터를 복조하여 항법을 수행하게 된다. Fig. 5는 통합 항법 소프트웨어부 구성도를 나타낸다. Fig. 5에서와 같이 통합 항법 소프트웨어부에서는 먼저 위성 신호를 검색하고 추적을 하게 된다. GNSS 위성을

추적하게 되면 위성 궤도 정보(Ephemeris 또는 Almanac)을 이용하여 위성위치와 시간을 계산하며, 또한 위성의 생성 프레임과 수신기 수신 프레임의 코드 위상의 차로 의사거리와 의사거리율(Pseudo-Range, Pseudo-Range Rate)을 계산하며, 이것을 이용하여 항법해를 계산한다.

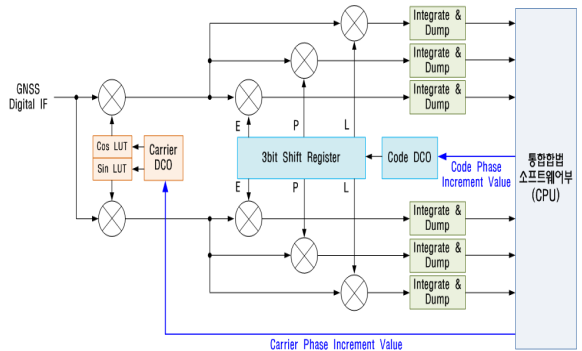


Fig. 4. 다중모드 위성항법수신기의 상관기 구조

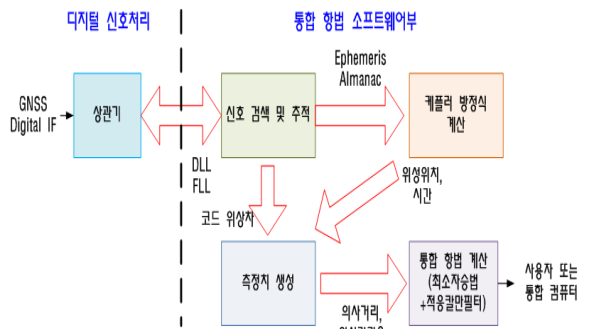


Fig. 5. 통합 항법 소프트웨어부 구성도

GPS와 GLONASS의 통합 항법 계산은 Fig. 6과 같은 과정으로 처리된다. Fig. 6에서와 같이 다중모드 위성항법 수신기의 좌표계는 GPS의 좌표계와 같은 기본 WGS-84를 사용하며, GLONASS는 PZ-90 좌표계를 사용하므로 WGS-84 좌표계로 변환하는 과정을 거친다.

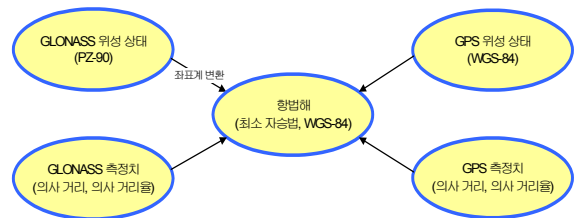


Fig. 6. GPS/GLONASS 통합 항법 과정

3. 가변대역 위성신호 적응추적 알고리즘 설계

위성항법수신기는 특정 문턱값 이상의 위성신호를 추적함으로써 데이터를 디코딩하고 원시측정치를 생성하여 위치/속도/시각 등의 항법정보를 계산한다. 즉 신호추적 오차는 아래 수식 (1)과 같은 관계식을 가지며, 그것이 특정 문턱값 이하로 유지되어야 한다. 그런데 수식 (1)에서 알 수 있듯이 신호추적오차는 대역폭과 비례관계에 있다.

$$\sigma_{tFLL} \leq \frac{1}{2\pi T} \sqrt{\frac{4 \cdot F \cdot B_{nF}}{C/N_0} \left(1 + \frac{1}{T \cdot C/N_0}\right)} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

여기서 σ 는 신호추적오차, T 는 적분시간, B_n 는 추적루프 대역폭, C/N_0 는 캐리어대 잡음비, F 는 C/N_0 따른 상수이다.

Fig. 7은 2~16Hz 대역폭에 따른 신호추적 오차를 표현한 것으로 대역폭이 낮을수록 더 작은 위성신호에 대해서 추적할 수 있음을 알 수 있다. 이를 달리 표현하면 재밍신호가 인가되어 위성신호가 상대적으로 작을 때도 대역폭을 낮추면 신호추적이 가능하다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 위성항법수신기의 신호추적루프를 2Hz 및 12Hz FLL 추적루프로 설계하였으며 재밍신호가 존재한다고 판단되면 2Hz로 동작하도록 개발하였다. 이러한 대역폭 감소로 인한 재밍 대응 성능 향상효과는 약 +5dB J/S이다. 그리고 추적루프 대역폭이 작으면 재밍신호에 대한 대역폭도 작아서 영향이 작다는 것을 Fig. 8을 통해 알 수 있다. 또한 항재밍 성능향상을 위해 추적루프 대역폭을 가변하는 절차는 Fig. 9와 같다.

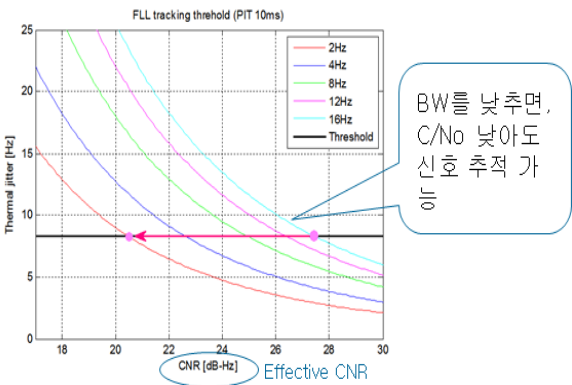


Fig. 7. 추적루프 대역폭 및 위성신호크기 관계

역확산(despreading)재밍신호

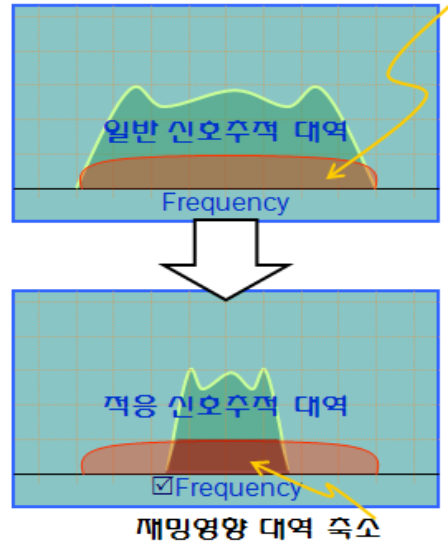


Fig. 8. 추적루프 대역폭과 재밍영향 관계

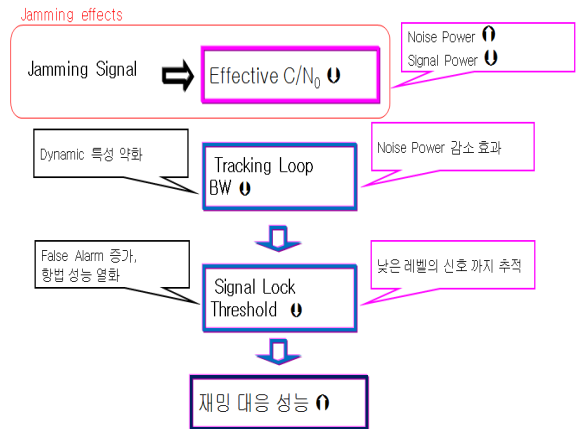


Fig. 9. 항재밍 가변대역 수행 절차

한편 재밍신호 유무의 탐지는 Fig. 10과 같이 안테나, 아날로그계인조정기, 및 상관기/신호처리기에서 가능하다. 그 중에서 상관기로 입력되는 2bit 신호의 특성을 분석함으로써 해결하였다. 즉 +1에 대한 통계치가 특정값 이상이면 재밍신호 유로 판단하고 특정값 이하이면 재밍신호 무로 판단하였다. AGC 레벨로 판단할 수도 있으나 큰 재밍신호에 대한 신뢰성있는 판단이 불가능하였다. 이와같은 기술을 개발함으로써 위성항법수신기 자체적으로 +5dB J/S 향상 효과를 확인할 수 있었다.

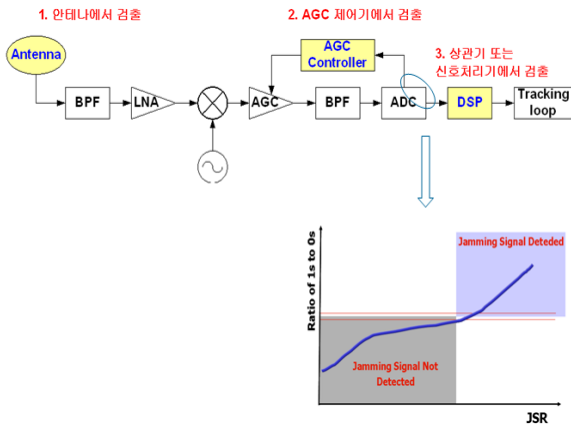


Fig. 10. 재밍신호 유무 탐지 기법

$$\left\{ \begin{aligned} GPS \text{ power } (P_s) &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s^2(t) \\ Noise \text{ power } (P_n) &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N n^2(t) \\ Jamming \text{ pwr } (P_j) &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N j^2(t) \end{aligned} \right. \quad (2)$$

나. 성능분석

1) 실내 GNSS 시뮬레이터로 성능분석

실내에서 GNSS 시뮬레이터를 이용한 항재밍 가변대역 다중대역 위성항법수신기 성능시험 구성도는 Fig. 12이다. GNSS 시뮬레이터에서 신호 세기는 -110dBm이며 정적 시나리오를 선택하였고, 재밍 신호는 신호 발생기를 이용하여 발생시켰다. 수신기에 입력되는 재밍크기는 시뮬레이터의 재밍 감쇄(Jamming Attenuation)와 케이블 손실로 인해 약 20dB 정도의 약한 신호가 입력되었다.

4. 항재밍 가변대역 알고리즘 성능분석

가. 성능분석 환경

성능분석을 위해서 모의실험에 이용된 GPS신호는 -130dBm를 기준으로 설정 한 후, 수신기 잡음신호는 +20dBm을 높여서 생성한다. GPS신호, 백색부가잡음(AWGN) 및 재밍 신호를 생성하여 전력을 계산하였으며 식 (2)에 표시하였다. 가변대역 알고리즘 시뮬레이션 환경은 Fig. 11과 같다. 위성신호 발생은 GNSS시뮬레이터, 재밍신호는 신호발생기, 위성신호와 재밍신호의 합성은 결합기를 사용하여 위성항법수신기에 인가하고, 위성항법에 사용되는 위성수, 잡음대신호의 크기 및 항법상태는 점검장비로 확인한다.

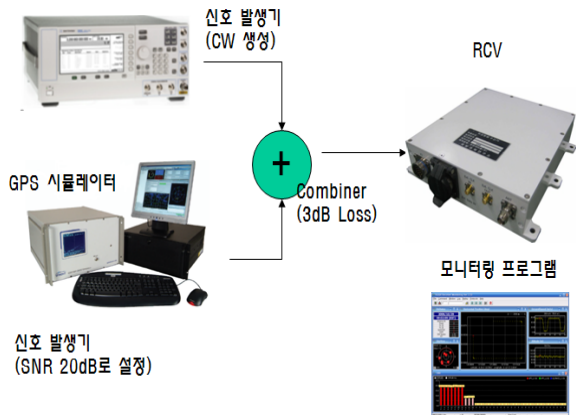


Fig. 12. 실내 성능시험 구성도

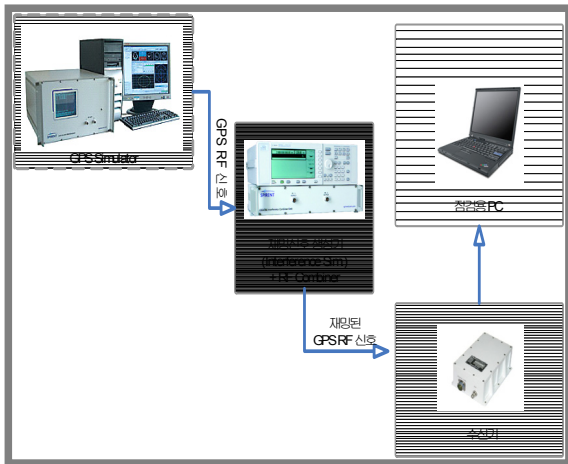


Fig. 11. 가변대역 알고리즘 시뮬레이션 환경

가변대역 위성신호 추적루프의 대역폭은 2Hz로 정하고, 재밍신호는 각 대역의 중간 주파수인 1575.42 MHz, 1227.6MHz 및 1602MHz로 인가하였다. 실내 GNSS 시뮬레이터를 이용한 실험에서는 항재밍 가변대역 알고리즘을 적용한 경우와 미적용한 경우의 재밍 대응 능력을 비교 측정하였다. CW 1개의 재밍신호에 대해 GPS L1과 GLONASS L1은 각각의 단독 항법에서 3D 항법을 놓치는 시점까지 재밍의 크기를 높여가며 측정했고 L2는 추적중인 위성의 수가 4개 미만이 될 때까지 확인했다. Fig. 13과 Fig. 14는 항재

밍 가변대역 알고리즘을 미적용한 경우와 적용한 경우의 재밍 대응 능력을 나타내고, 항재밍 성능은 5dB 향상 되었다. Table 2는 항재밍 가변대역 알고리즘을 미적용한 경우와 적용한 경우, 재밍신호 CW와 AWGN (2MHz)에 대해서 GPSL1/L2와 GLONASS G1신호의 재밍대응 마진을 나타내고, 항재밍 성능은 5dB이상 향상 되었다.

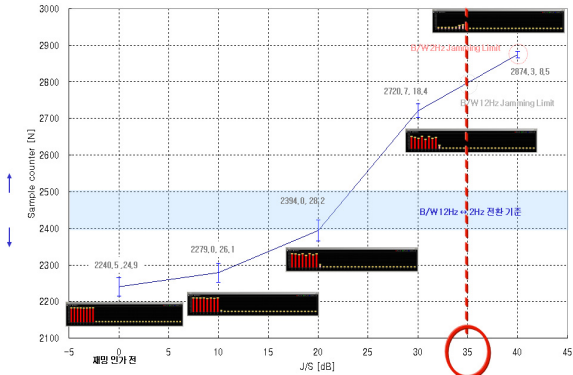


Fig. 13. 항재밍 가변대역 알고리즘 미적용

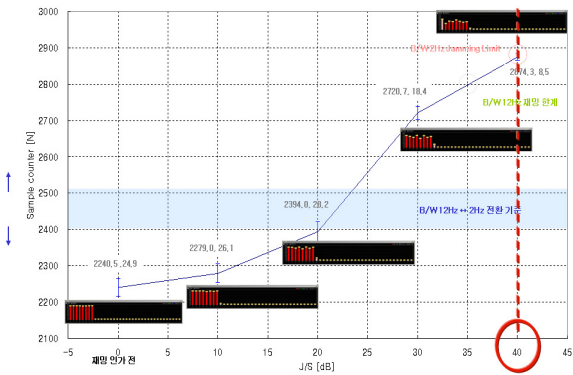


Fig. 14. 항재밍 가변대역 알고리즘 적용

Table 2. 재밍종류에 따른 재밍마진

| 항재밍 S/W | 재밍 신호 | J/S(dB) | | | +J/S (dB) |
|---------|-------|---------|----|----|-----------|
| | | L1 | L2 | G1 | |
| 미적용 | CW | 34 | 30 | 34 | |
| | AWGN | 31 | 30 | 34 | |
| 적용 | CW | 39 | 35 | 39 | +5 |
| | AWGN | 38 | 37 | 40 | +6 |

2) 챔버내 GNSS 시뮬레이터로 성능분석

챔버내에서 실험은 송·수신 안테나, 재밍신호 발생기 및 GNSS시뮬레이터를 이용하여 구축하였다. Fig. 15는 챔버내 실험의 구성도이다. Fig. 15에서처럼 GNSS 시뮬레이터와 재머는 각각의 송신 안테나로 출력하고, 수신기는 수신안테나로 신호를 수신하도록 구성하였다. GNSS 신호의 세기는 안테나에 -130dBm이 입력되도록 설정하였다.

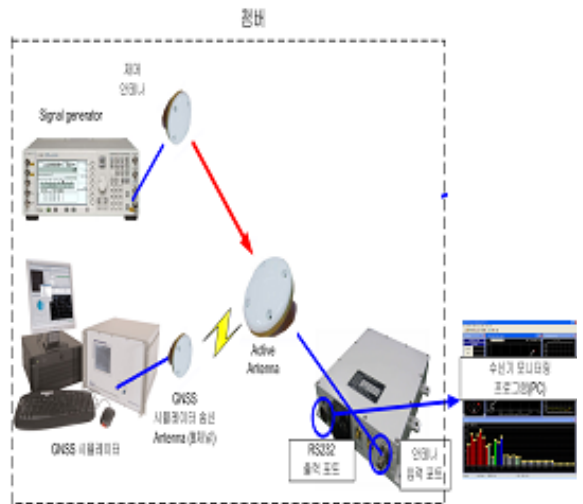


Fig. 15. 챔버내 성능시험 구성도

Table 3은 항재밍 가변대역 위성항법수신기의 재밍 마진을 나타낸다. 재밍신호 CW와 AWGN에 대해서 GPSL1/L2와 GLONASS G1신호의 재밍대응 마진을 나타내고, 항재밍 성능은 5dB이상 향상 되었다.

Table 3. 챔버내 항재밍용 가변대역 위성항법수신기의 재밍마진

| 항재밍 S/W | 재밍 신호 | J/S(dB) | | | +J/S (dB) |
|---------|-------|---------|----|----|-----------|
| | | L1 | L2 | G1 | |
| 미적용 | CW | 31 | 30 | 34 | |
| | AWGN | 30 | 30 | 34 | |
| 적용 | CW | 36 | 35 | 39 | +5 |
| | AWGN | 35 | 35 | 39 | +5 |

5. 결론

본 논문에서는 GNSS 수신기의 신호추적루프 성능을 향상시키는 기술 중에서 다중대역(GPS L1/L2, GLONASS G1)의 재밍신호에 대해 항재밍을 갖는 가변대역 위성신호 추적루프를 적용한 다중모드 위성항법수신기를 설계 및 구현하고 그 성능을 분석하였다. 실내 및 무반향 챔버내에서 다중대역의 재밍신호에 대해서 항재밍 가변대역 알고리즘을 적용한 위성항법 수신기가 미적용한 위성항법수신기보다 재밍대응 능력이 5dB정도 향상되었다.

References

- [1] Kaplan, E. D., Understanding GPS Principles and Applications, ArtechHouse, Boston, London, 1996.
- [2] Phillip W. Ward, "GPS Receiver RF Interference Monitoring, Mitigation, and Analysis Techniques", Journal of The Institute of Navigation, Vol. 41, No. 4, pp. 367~391, Winter 1994~1995.
- [3] Don H. Johnson, Dan E. Dudgeon, Array Signal Processing Concepts and Techniques, PrenticeHall, 1993.
- [4] R. L. Fante, and J. J. Vaccaro, "Wideband Cancellation of Interference in a GPS Receive Array", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 36, No. 2, pp. 549~564, April, 2000.
- [5] R. L. Fante, et al., "Cancellation of Jammers and Jammer Multipath in a GPS Receiver", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, pp. 622~625, 1998.
- [6] Chung-Liang Chang, and Jyh-Ching Juang, "Analysis of Spatial and Temporal Adaptive Processing for GNSS Interference Mitigation", 2006 International Symposium on GPS/GNSS, 2006.
- [7] 조득재, 김성태, 최일홍, 이상정, "GPS/GLONASS 통합 수신기 개발", 제7차 GNSS 워크샵 논문집, pp. 46~49, 2000. 12, 서울.