

협대역 간섭신호에 의한 GPS 수신기 영향 분석

A Study on Effectiveness Analysis of the GPS Receiver by the Narrowband interference signals

김 준 오*
Kim, Jun-O

ABSTRACT

This paper presents the GPS receiver's inherent interference effectiveness based on the receiver's internal processing gain. This research is to verify the weakness of the GPS satellite signals and evaluate the receiver's vulnerability in an interference situation. The experiment for the narrow band interference effectiveness for the L1 C/A code GPS receiver has been performed by using the Spirent GSS4765 jamming simulator. After analyzing the experimental result, it is compared with the calculated J/S value of the two different L1 C/A code GPS receivers. By the above result, the narrowband jamming effectiveness of the each jamming source and the jamming margin for the each receiver are to be analyzed in detail. Finally, we could utilize the result to analyze the jamming effectiveness on the GNSS receiver.

주요기술용어(주제어) : GPS(전지구 위치 확인 시스템), Jamming(방해신호), AJ(대재밍), SS(대역확산기법) J/S(재밍신호에 대한 위성신호 크기의 비)

1. 머리말

GPS는 고도 약 20,200km에서 운용되는 24개의 인공위성에서 전송되는 항법메시지를 이용하여 위치정보를 결정하는 시스템으로서, 군사, 통신, 물류 관리, 항법 등의 분야에 응용되고 있다. 군사적 목적의 GPS의 이용은 보다 정밀하고 안정적인 위치 확인 시스템이 요구 되며, 특히 재밍에 의한 영향을 심각히 고려해야한다. 이는, 항법전(navwar)과 관련

된 연구 활동이 시작되면서 재밍에 의한 GPS 수신기의 영향을 심각하게 인식하기 시작했다^[1]. 이러한 배경으로, 본 논문에서는 협대역 간섭신호에 대한 GPS 수신기의 재밍 영향 및 이에 대한 실험결과 내용을 분석한다. 그리고, 상용 L1 C/A GPS 수신기의 J/S(Jamming power to Satellite signal)의 수준을 계산한 값과 GSS4765 재밍 시뮬레이터를 이용하여 실험한 결과를 비교한다. 논문의 구성은 1장 머리말에 이어 2장에서 GPS 위성신호에 대한 내용을 설명하고, 3장에서 협대역 재밍 관련 계산식을 이용한 이론적 분석, 4장에서 재밍 시뮬레이터를 이용한 실험 결과를 분석하며, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

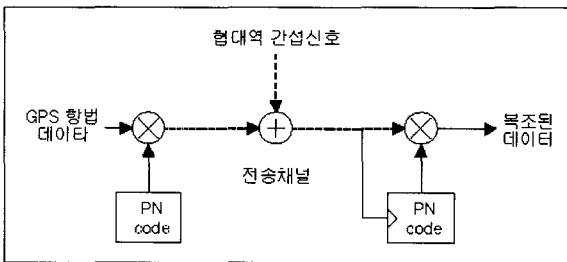
* 2004년 5월 15일 접수 ~ 2004년 6월 17일 심사완료

* 국방과학연구소(Agency for Defense Development)
주저자 이메일 : HL5PUE@hanmail.net

2. GPS 위성신호

가. GPS 위성신호

GPS 위성에서 송신되는 위성항법 신호는 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 변조 (Modulation) 기술을 이용한 CDMA(Code Division Multiple Access) 코드분할 다중접속 방식을 이용하여 설계되었다. 대역확산기법(SS)이란 전송할 데이터 대역폭(Bandwidth) 보다 상대적으로 넓은 주파수로 신호에 대해서 전력밀도를 낮춰 전송하고, 수신 신호의 전력레벨이 잡음수준 이하로 유지되게 함으로써 데이터를 확산시키며, 신호 확산에 이용된 동일한 의사잡음코드(PN)을 이용하여 전송된 신호를 복조 (Demodulation)할 수 있는 기술이다^[3]. 그림 1에서는 대역확산에 의한 통신방식을 사용하는 GPS 위성신호 송수신 시스템을 나타내며, 각 위성은 서로간의 낮은 상관특성의 PN 코드를 이용하여 위성 신호들의 간섭현상을 최소화 시키면서 GPS 위성 번호를 식별 할 수 있도록 구성되어 있다.



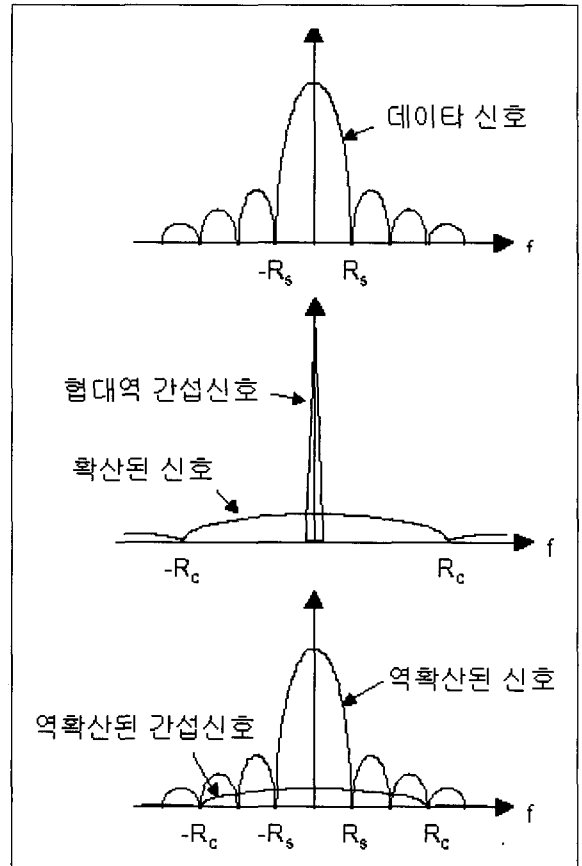
[그림 1] GPS 시스템의 대역확산 방식

나. 대역확산 방식과 협대역 간섭신호

위성신호 전송 중 대역확산 과정에서 발생하는 전파 간섭신호의 경우는 확산이득(Processing Gain)에 의해서 상당부분 제거 될 수 있으며, GPS L1 C/A코드의 경우 데이터 율 50bps와 칩율(Chip rate) 1.023 MHz를 갖는다. 이는 약 43dB의 확산이득을 가짐을 의미한다. 복조과정 이후 유효한 간섭신호의 세기를 결정하는 것은 데이터 발생율과 확산 코드율(Chip-rate)이다. 이러한 확산(Spreading)과정을 통한 얻을 수 있는 기본적인 재밍 마진(Margin)은 식 (1)과 같이 계산되어지며, C/A코드 및 P코드에 대한

[표 1] GPS L1/L2 신호의 확산 이득 [dB]

C/A 코드	$10\log G_p = 10\log(1.023 \times 10^6 / 50)$	43.11
P 코드	$10\log G_p = 10\log(10.23 \times 10^6 / 50)$	53.11



[그림 2] 대역확산과 협대역 간섭신호

확산이득은 표 1에 정리하였다.

$$Processing\ Gain = G_p = \frac{BW_{chip}}{R_{data}} \quad (1)$$

여기에서, BW_{chip} 은 PN 코드의 대역폭을 의미하며, R_{data} 는 데이터 전송 율에 해당한다.

GPS 위성 신호의 확산이득을 계산한 결과에 의하

면 칩율(Chip rate)이 10배 정도 높은 P코드의 경우 상용 L1 C/A 코드 신호보다 역확산(Despreading)에 의한 상대적으로 높은 확산이득을 얻음을 알 수 있다.

각 위성들이 동일한 주파수를 사용하며, 코드 공간에서 상호 직교성(Orthogonal)을 유지하도록 하는 이러한 GPS 시스템의 통신 방식에서 특징적인 점은 그림 2와 같이 대역확산 과정을 이용하여 협대역 간섭신호에 의한 위성신호 열화(Distortion) 현상을 상당부분 경감시킨다는 점이며 이는 GPS 수신기 자체적인 간섭 신호 제거 기능을 보유함을 의미한다.

3. 계산 결과에 의한 재밍 영향 분석

가. J/S 값 계산

L1 C/A코드 GPS 수신기의 재밍 영향을 분석하기 위해서는 신호에 사용된 두 가지 대역폭(Bandwidth)을 고려해야한다. 첫 번째는 RF대역과 베이스밴드(Baseband)의 대역폭이다. 그리고 재밍 신호가 존재하지 않는 경우의 베이스밴드의 신호 대 잡음비(SNR)에 대한 값을 이용하여 수신기의 재밍 영향을 분석한다^[2]. ICD-GPS-200에서 보장하는 최소 수신 신호의 크기는 L1 C/A코드의 경우 -159.6 dBw로 주어진다. 위성항법 시스템의 수신 SNR과 C/N(Carrier power to Noise Ratio)는 일반적으로 수신기의 신호 추적 임계값(Threshold)로 사용된다. 잡음 전력의 경우 광대역으로 분포되어 있지만, GPS에서의 경우는 의미 있는 신호가 분포되어 있는 협대역에만 해당된다. 수신기에 내장된 필터(Filter)의 경우는 위성신호의 대역폭을 줄임으로써 잡음의 수준을 가능한 낮게 하며, 반면에 위성신호의 크기는 높게 하는 쪽으로 선택되어 있다. GPS 수신기의 위성 추적 성능의 척도로 사용되는 C/N₀의 경우는 1Hz 대역에 분포한 반송파의 크기에 대한 잡음의 비율을 나타내며 단위는 dB·Hz로 표기한다. 그리고 베이스밴드(Baseband) 내에서 재밍 되지 않은 C/N₀의 계산의 경우는 다음 식 (2)와 같이 표현된다^[2].

$$\frac{C}{N_0} = S_r + G_a - 10\log(kT_0) - N_f - L \quad (2)$$

- S_r : 수신된 GPS 신호 전력 (dBw)
- G_a : 수신 안테나 이득 (dBic)
- 10log(kT₀) : 열잡음 밀도 = -204 dBw · Hz
- k : 볼츠만 상수 = 1.38 × 10⁻²³
- T₀ : 열잡음 기준 온도 (K) = 290K
- N_f : 잡음지수 (NF) 와 케이블 손실 (dB)
- L : AD변환기 손실 (dB)
- C : 수신된 신호 전력
- N₀ : 시스템의 잡음전력 밀도

수신된 위성신호 전력 S_r = -159.6 dBw, 안테나 이득 G_a = 0 dBic, 수신기 잡음지수 N_f = 4 dB, 그리고 시스템 손실 L = 2 dB 라고 하면, C/N₀ 값은 38.4 dB·Hz가 된다. 그리고 간섭신호가 존재하는 경우의 재밍 되지 않은(unjammed) C/N₀ 값은 일정하게 감소하게 된다. 이러한 값을 나타내는 방식으로 는 소문자로 적힌 c/n₀로 표시한다. 대문자로 표현된 경우에는 dB·Hz 의 단위가 주어진다. 그리고 동가(equivalent) c/n₀로 표현되는 값은 재밍 되지 않은 c/n₀와 j/s의 관계를 나타내며, 식 (3)과 같이 전력비(power ratio) 형태로 표현된다^[1,2].

$$\left| \frac{c}{n_0} \right|_{eqv} = \frac{1}{\left(\frac{1}{c/n_0} \right) + \frac{j/s}{Q \cdot f_c}} \quad (3)$$

- c/n₀ : 재밍 되지않은 반송파대 잡음전력의비
- j/s : 재밍 전력에 대한 신호전력의비
- f_c : GPS PRN 코드 칩 율 (chip/sec)
- Q : 대역 확산 처리 이득 조절 값
 - = 1.0 협대역 재밍신호
 - = 1.36 대역확산 재밍신호
 - = 2.21 광대역 잡음신호

식 (3)을 dB·Hz의 단위를 가진 수식의 형태를 이용하여 표현하면 아래의 식 (4)와 같이 정리되어

진다.

$$\left| \frac{C}{N_0} \right|_{eqv} = -10 \log \left(10^{-\left| \frac{C}{N_0} \right|} + \frac{10^{\frac{J}{S}/10}}{Q \cdot f} \right) \quad (4)$$

C/N_0 : 재밍 되지않은 반송파 대 잡음전력
 $= 10 \log(c/n_0) \text{ (dB} \cdot \text{Hz)}$

J/S : 재밍전력과 신호전력의 비
 $= 10 \log(j/s) \text{ (dB)}$

J/S 는 수신기 입력 단 쪽에 인가되는 재밍 신호에 따라 신호 추적 능력과 관련된 C/N 값을 본질적으로 약화시키는 요소로 작용한다. 따라서 추적루프 성능을 저하시키는 C/N 값의 수준(Level)에 따라서 수신기의 $(C/N_0)_{eqv}$ 를 나타낼 수 있다. 이러한 관계는 식 (4)를 이용하여 식 (5)와 같은 J/S [dB]에 대한 관계식을 유도할 수 있다.

$$\frac{J}{S} = 10 \log \left(Q \cdot f_c \left(\frac{1}{10^{\left| \frac{C}{N_0} \right|_{eqv}/10}} - \frac{1}{10^{\left(\frac{C}{N_0} \right)/10}} \right) \right) \quad (5)$$

협대역 간섭신호(Narrowband interference)에 대한 J/S 값의 계산은 $Q=1$, C/A 코드에 대한 칩율(Chip rate) $f_c = 1.023 \times 10^6$ 및 표 2에 정리되어 있는 XR5-M 수신기의 GPS 위성 신호 추적(Tracking) 임계 값(Threshold)^[1] $(C/N_0)_{eqv} = 28.0 \text{ [dB} \cdot \text{Hz]}$ 를 이용하여 계산한 후, 식 (2)에서 주어진 최소 수준의 C/N_0 값인 $38.4 \text{ [dB} \cdot \text{Hz]}$ 과 식 (5)를 이용해서 계산하면 J/S 는 31.7 [dB] 이 된다는 것을 알 수 있다. 그리고 재밍 전력 과 신호 전력의 관계를 데시벨[dB] 단위로 간단히 나타내면 식 (6)과 같이 수신기에 인가된 재밍 전력과 위성신호의 차이를 이용하여 표현이 가능하다.

$$\frac{J}{S} = J_r - S_r \text{ [dB]} \quad (6)$$

J : 수신기에 인가된 재밍전력

S : 수신기에 인가된 위성 신호전력

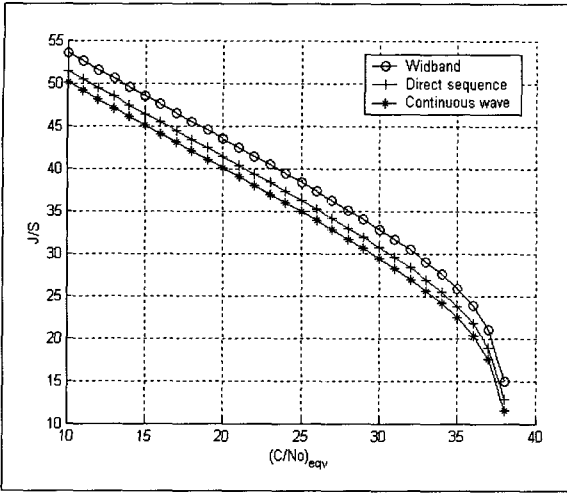
반송파 추적루프(Carrier tracking loop)의 경우는 GPS 수신기에서 외부환경에 의해서 영향을 받기 쉬운 부분이다. 따라서 위성추적(Tracking)의 임계값(Threshold)은 위성으로부터의 신호를 정상적으로 신호를 추적할 수 없는 순간의 값(End of tracking)을 의미하며, 재밍 효과(effectiveness)를 나타내는 중요한 변수(Parameter)이다. 그리고 베이스밴드에서의 위성 추적의 임계 값은 반송파 추적루프에서의 임계 값과 동일하다^[2]. 그러므로 상대적으로 낮은 수준의 임계 값 $(C/N_0)_{eqv}$ 를 갖는 수신기의 경우에는 더 강한 신호의 재밍 신호원(Source)가 필요하다는 것을 예상 할 수 있다.

표 2에서 Trimble사의 TRIMBLPACK-III L1 C/A 코드 GPS 수신기의 신호 추적 임계 값^[4] $(C/N_0)_{eqv} = 23 \text{ [dB} \cdot \text{Hz]}$ 그리고 지표면에서 최저 수준으로 보장된 $C/N_0 = 38.4 \text{ [dB} \cdot \text{Hz]}$ 을 이용하여 계산한 결과 $J/S = 36.9 \text{ [dB]}$ 가 됨 을 보여준다. 이러한 결과는 수신기 입력 단에서의 재밍 신호의 수준이 GPS 위성신호의 크기보다 36.9 [dB] 높은 신호에 대해서만 영향을 받는다는 것을 의미하며 수신기의 입력 단 쪽에 -122.7 [dBW] 이상의 재밍 신호를 인가하였을 경우 위성추적 루프의 동작에 영향을 주어 GPS 위성 추적을 방해 하여 정상적인 항법 수행을 할 수 없도록 한다는 것을 의미하며 GPS 수신기 종류에 따라서 간섭신호에 대한 반응특성이 다르다는 것을 알 수 있다^[6].

각 제조사 별로 표 2에 정리된 상용 L1 C/A코드 GPS 수신기의 C/N_{eqv} 값을 이용하여, J/S [dB]를 계산하여 표시하였다. 이러한 계산 결과는 식 (3), 식

[표 2] C/N_{eqv} 대한 J/S 값, $(C/N_0=38.4\text{dB} \cdot \text{Hz})$

수신기 \ 값	C/N_{eqv}	J/S [dB]
TRIMPACK-III	23	36.9
GG-24	26	33.8
XR5-M	28	31.7
K-161	33	25.6



[그림 3] GPS 위성 추적 임계 값에 따른 수신기의 대재밍 성능 그래프

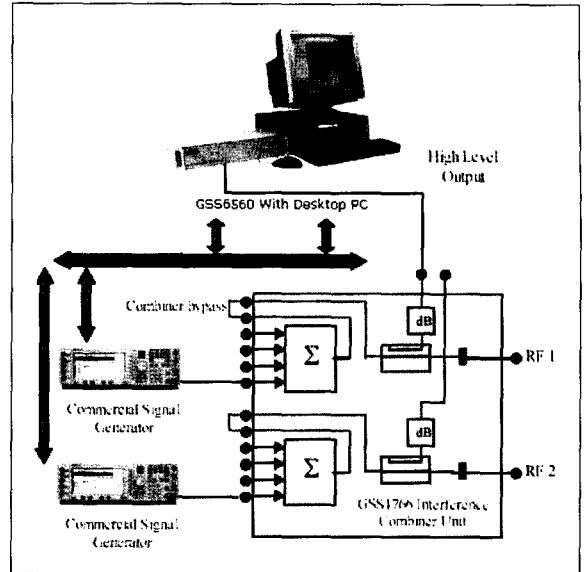
(5)를 이용하여 CW 협대역 재밍 환경에서 추적 임계 값 C/N_{eqv} 값의 차이에 따른 각 수신기의 재밍에 대한 반응 특성을 나타내는 J/S 값의 차이를 그림 3과 같은 그래프로 나타낼 수 있으며, 부가적으로 광대역(wideband) 재밍 신호 및 의사코드에 의한 잡음 신호의 영향과 비교하였다.

4. 재밍 시뮬레이터를 이용한 성능분석

가. GPS 재밍 시뮬레이터

그림 4는 GPS 재밍 영향 분석에 사용된 GSS4765 GPS 재밍 실험 장치이다. GPS 위성신호 시뮬레이터와 재밍 신호발생 장치를 이용하여 인위적인 재밍 신호를 발생시켜 현재 사용되는 L1 C/A 코드 GPS 수신기의 재밍에 대한 취약성 정도를 정량적으로 확인할 수 있는 기능을 제공한다. 또한 시뮬레이터에서 간섭신호에 대한 특성을 변화 시킬 수 있으며, 재밍 신호의 주파수, 대역폭 및 신호세기 같은 요소를 직접 설정이 가능하도록 구성되어있다. 외부 재밍 신호 발생 장치를 네 개까지 연결이 가능하며 다중(Multiple) 재밍 환경에서의 GPS 수신기의 재밍 반응 특성을 분석할 수 있다.

시뮬레이터의 주요 구성 장비는 Agilent사의



[그림 4] 재밍 시뮬레이터 구성도

[표 3] 사용된 재밍 신호의 특성

신호	특성
CW	* Centre freq: 1575.42 MHz
Swept CW	* Centre freq: 1574.42~1576.42
AM	* Centre freq: 1575.42 MHz * Waveform: Sine * Frequency: 0.005 kHz * Deviation: 0%
FM	* Centre freq: 1575.42 MHz * Waveform: Sine * Frequency: 0.005 kHz * Deviation: 0%
PM	* Repetition: 1000 μ s * Width: 1000 μ s

E4420B 신호발생기와 ICU(Interference Combination Unit)로 구성되어있다. E4420B 신호발생기에서는 CW, SCW, AM, FM, PM 등의 간섭신호를 예상되는 재밍 환경에 따라서 재밍의 위치 및 송출 전력 등을 설정할 수 있다^[7]. 그리고 각 장치의 중심이 되는 ICU는 위성신호 시뮬레이터 신호와 신호발생기

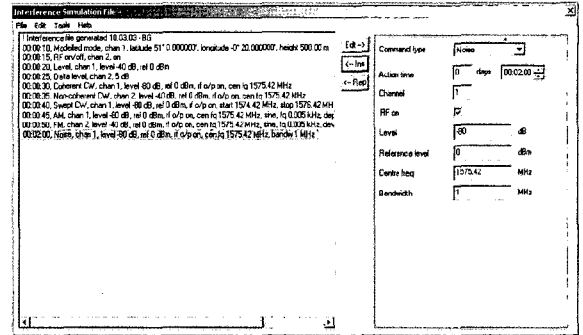
에서 발생시킨 변조 신호를 합(Sum)하여 재밍된 위성 신호를 GPS 수신기 쪽으로 전송할 수 있다. 재밍 시뮬레이터 운용 소프트웨어인 SimGEN에서 표 3에 정리한 재밍 신호원을 기준으로 가상 재밍 시나리오(Scenario)를 작성하여 재밍 신호의 동작 상태 및 재밍 환경에서의 GPS 수신기 교란 여부를 확인 하였다.

나. 재밍 실험

먼저 일반적인 상용 GPS 칩셋(Chipset)을 사용한 L1 C/A코드 GPS 수신기의 재밍에 대한 영향을 비교하기 위하여 미국 Ashtech 제품의 GG24 L1 GPS/GLONASS 수신기를 이용하여 동일한 재밍 시나리오 환경에서 위성항법 모드(mode) 변화와 관련된 위성신호 획득 및 추적 성능에 관한 실험을 수행 하였다. 먼저, 재밍 신호에 대한 두 가지 수신기의 재밍 영향 실험 방법은 표 4에 간략히 정리하여 표 시했다.

본 연구는 두 가지 GPS 수신기의 위성 획득 및 추적 성능과 관련된 3D, 2D 및 No Fix 항법모드 획득여부에 대한 내용을 분석하기 위해서 재밍 신호를 단계적으로 수신기에 인가함으로써, 항법 모드 변화에 따른 재밍 신호의 크기를 파악할 수 있다. 이는 두 가지 GPS 수신기의 재밍 영향 특성을 확인하여, 현대역 재밍 신호원에 대한 GPS 수신기의 재밍 영향을 분석할 수 있다.

그림 5에서는 재밍 시나리오 입력창을 표시하였으



[그림 5] SimGEN 재밍 시나리오 입력창

며, 다섯 가지 재밍 원의 특성을 발생 시각, 위치, 크기 및 간격을 임의로 설정할 수 있도록 구성되어 있다. 사용된 GPS 위성신호의 세기는 일반적으로 지표면에서 수신 가능한 수준인 -130 dBm으로 설정 하였다.

다. J/S 실험 결과 분석

본 실험의 분석 항목은 상용 GPS 칩셋을 사용한 수신기 및 GG24에 대해서 다섯 가지의 재밍 신호를 인가한 후 위성추적의 결과로 표시되는 3D, 2D 그리고 No Fix 변화 시의 재밍 전력 수준과 TTFF (Time To First Fix)에 요구되는 최소 J/S(Jamming to Signal power ratio) 수준에 관한 내용이다. 그리고 분석 결과를 통하여 각 재밍 원(Source)에 대한 간섭 영향의 크기를 확인하고, GPS 수신기의 기능을 저하시키는 효율적인 재밍 신호원에 대한 내용에 대해서도 정리한다.

GPS 재밍 시뮬레이터를 이용하여 실험한 결과는 표 5~8에 정리된 내용에서 CW 신호 및 SCW (Swept CW) 재밍 신호 대한 GPS 수신기의 항법모드 변화 시의 재밍 전력의 크기 및 TTFF에 필요한 J/S 값을 표시하였다. 그리고 나머지 세 가지의 재밍 신호원 AM, FM 및 PM에 대한 재밍 신호 전력 및 J/S 값은 그림 6~11에 표시된 그래프를 이용하여 각 재밍원(Source)에 대해서 비교하였다.

각 재밍 신호원에 대해서 항법모드 변화와 관련하여 분석한 내용은 다음 세 가지로 요약할 수 있다. 첫 번째, GPS 수신기에 사용된 다섯 가지 재밍 신호에 대해서 수신기에 인가된 재밍 신호 세기를 기준으

[표 4] 재밍 실험 단계 요약

단 계	실 험 내 용
3D 획득	Cold Start 후 3분 30초 경과
재밍신호 발생	-130[dBm]기준, 0.02[dB]씩 증가
3D유지 실패 2D모드 획득	3D→2D 모드 재밍 전력 확인
2D유지 실패 NoFix 변화	2D→No Fix 재밍 전력 확인
TTFF	Cold Start 시작 후 수신기 재밍 상태에서 3D 획득 단계 확인

로 확인한 결과 상용 GPS 칩셋(Chipset)을 이용한 수신기의 경우에는 3D→2D 로의 항법모드가 변하는 순간의 재밍 전력 크기를 비교할 때, 동일한 재밍 시나리오를 이용한 GG24 수신기에 입력된 재밍 신호의 크기보다 각 재밍 신호원에 대해서 평균 8dB 정도

[표 5] Coherent CW 재밍 실험 (상용 칩셋)

Nav.Mod 재밍[dBm]	3D→2D	No Fix	TTFF
Coherent CW *Centre Freq. 1575.42 MHz	-91.34	-88.62	-104
	J/S [dB]		
	38.66	41.38	26

[표 6] Coherent CW 재밍 실험 (GG24)

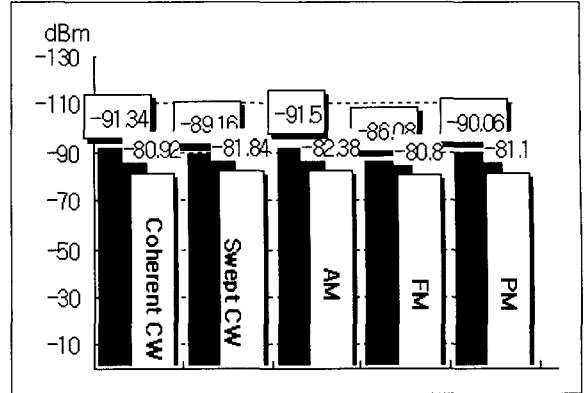
Nav.Mod 재밍[dBm]	3D→2D	No Fix	TTFF
Coherent CW *Centre Freq. 1575.42 MHz	-80.92	-78.9	-97
	J/S [dB]		
	49.08	51.1	26

[표 7] Swept CW 재밍 실험 (상용 칩셋)

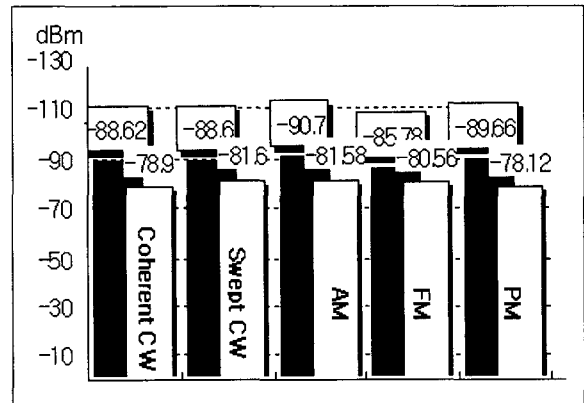
Nav.Mod 재밍[dBm]	3D→2D	No Fix	TTFF
Swept CW	-89.16	-88.6	-96
	J/S [dB]		
	40.84	41.4	34

[표 8] Swept CW 재밍 실험 (GG24)

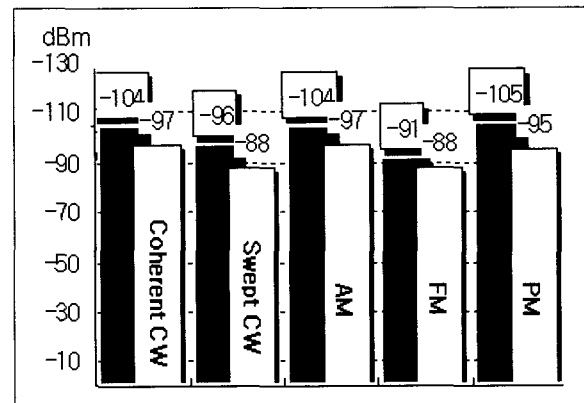
Nav.Mod 재밍[dBm]	3D→2D	No Fix	TTFF
Swept CW	-81.84	-81.6	-88
	J/S [dB]		
	48.16	48.4	42



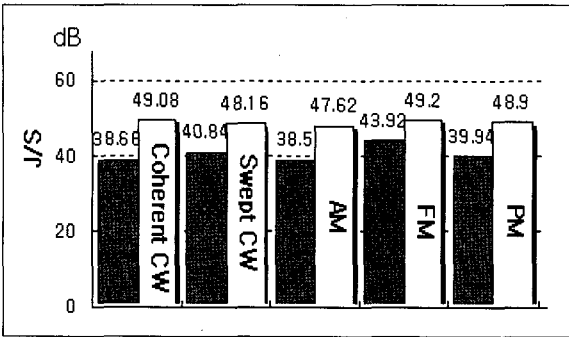
[그림 6] 3D→2D 단계 재밍 전력
(좌: 상용 칩셋, 우: GG24)



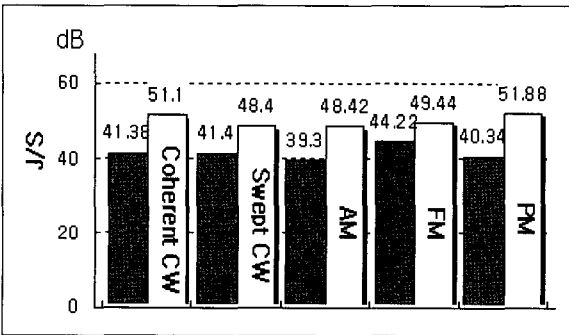
[그림 7] 2D→No Fix 단계 재밍 전력
(좌: 상용 칩셋, 우: GG24)



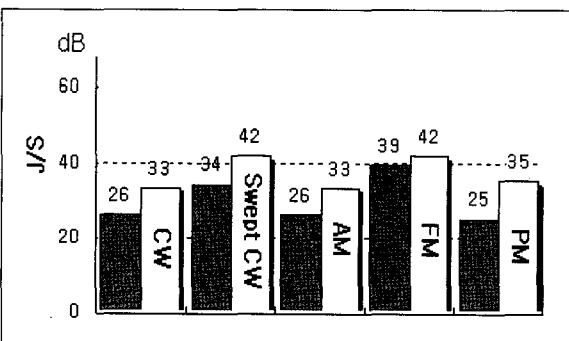
[그림 8] TTFF 단계 재밍 전력
(좌: 상용 칩셋, 우: GG24)



[그림 9] 3D→2D 단계의 J/S 값
(좌: 상용 칩셋, 우: GG24)



[그림 10] 2D→No Fix 단계의 J/S 값
(좌: 상용 칩셋, 우: GG24)



[그림 11] TTFF 단계의 J/S 값
(좌: 상용 칩셋, 우: GG24)

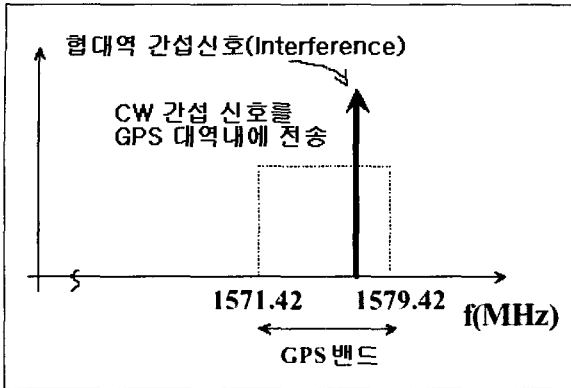
적은 J/S 값을 확인할 수 있었으며, 이러한 결과는 상용 칩셋을 이용하여 제작한 GPS 수신기를 GG24 수신기와 비교할 때 8dB 정도 상대적으로 재밍에 취약하다는 것을 의미한다. 두 번째로 No Fix의 경우

에도, 2D에서 No Fix로의 항법모드가 바뀌는 순간 각 신호원에 대해서 평균 8dB 정도의 차이를 나타냄을 보였다. 세 번째, J/S와 관련된 TTFF 확인 실험에서는 두 가지 GPS 수신기가 기존 위성정보가 없는 상태에서 3D 항법모드로 전환되는 순간을 확인한 결과, 상용 칩셋(Chipset)이 적용된 수신기의 경우 평균 J/S 값이 30dB 정도이며, GG24의 경우 37dB의 값을 가진다. 이는 GG24 수신기가 재밍 환경 하에서 위성신호 추적 성능 면에서 상대적으로 7dB 정도의 추가적인 재밍 마진(Margin)을 확보하고 있다는 것으로 판단된다.

각 실험 단계별로 사용된 재밍 신호의 효율성 측면에서는 첫 번째 3D→2D로의 항법모드 변화에서는 FM 방식이 효율이 약간 낮게 나타났으며, 나머지는 1dB 이내 범위에서 유사한 결과를 얻었다. 두 번째 2D→No Fix 단계에서는 FM 및 PM 기법이 상대적으로 약간 낮은 재밍 효율을 나타냈으며 그 외는 비슷한 수준을 유지했다. 재밍 환경하의 TTFF 획득 실험의 경우 두 가지 수신기에 공통적으로 효율적인 재밍 기법으로는 Coherent CW와 AM 방식을 들 수 있으며, PM(Pulse Modulation)의 경우 상용 칩셋 적용 수신기에 가장 효율적인 재밍 기법이다. 이러한 두 가지 수신기의 재밍 영향의 차이는 GPS 수신기 자체의 간섭신호 제거 기술 채택 여부에 의한 것이라고 판단된다. 상용 GPS 칩셋을 이용한 GPS 수신기의 경우 간섭신호 제거에 필요한 추가된 기술이 없으며, GG24 GPS/GLONASS 수신기의 경우 RF 회로 설계 기술의 차이와 자사 특허인 스트로브(Strobe) 및 엣지(Edge) 상관기(Correlator) 기술^[5]을 이용하여 간섭 신호에 대한 영향을 경감시켰다고 판단된다.

실험 내용의 결과는 그림 6~8에 표시된 그래프를 통해서 두 가지 GPS 수신기에 인가된 재밍 전력 수준을 표시하여 재밍 방식별로 비교할 수 있도록 표시하였으며, 그림 9~11에서는 두 종류의 수신기에 동일하게 인가된 재밍 신호에 대한 J/S 값을 그래프로 정리했다.

라. CW 신호에 대한 이론 및 실험 결과
대표적인 협대역 재밍 방식인 CW 간섭신호에 의한 GPS 대역내의 영향은 그림 12에서 표시한 것과



[그림 12] CW 협대역 간섭신호를 GPS 신호 대역 (band) 내에 전송하는 과정

[표 9] CW 신호에 대한 J/S 결과 비교

수신기 / J/S	상용 칩셋	GG24
계산 값	29.5 [dB]	33.8 [dB]
실험 값	26.0 [dB]	33.0 [dB]

같이 나타낼 수 있으며 이러한 경우 GPS 위성신호 중심 주파수 부근에서 직접 CW 재밍 신호를 인가할 때 동일한 전력수준의 전파 간섭신호에 대하여 더 많은 영향을 받으며 이러한 내용은 재밍 시뮬레이터를 이용한 실험에서도 확인 할 수 있다. 두 가지 수신기에 대한 결과는 3장에서 계산에 의한 J/S 값과 4장에 있는 그림 11에 제시된 재밍 시뮬레이터를 이용한 협대역 CW에 대한 재밍영향 분석 결과를 표 9에 정리하였다. GG24의 경우 Ashtech 사에서 제시한 추적 임계 값을 이용한 계산 결과와 유사한 결과를 얻었으나, 상용 칩셋 GPS 수신기의 경우 제시된 임계 값에 의한 계산 결과와 실험값 사이에 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 L1 C/A 코드 GPS 수신기의 재밍 영향 분석에 관한 연구를 수행했다. 이는 위성신호의

획득을 방해하는 협대역 간섭신호를 이용하여, 재밍 영향의 정도를 나타내는 J/S 값을 계산에 의한 결과 및 재밍 시뮬레이터에 의한 모의실험을 통하여 GPS 수신기의 재밍에 대한 취약성을 정량적으로 분석하여 제시하였다. 그리고 두 종류의 수신기를 이용하여 그 그래프로 정리한 실험 결과에 의하면, 각 수신기의 J/S 값은 협대역 간섭 신호원에 대해서 상용 칩셋을 적용한 수신기는 평균 30dB 이며, GG24의 경우 약 37dB 정도로 수신기 설계 구조에 따른 차이를 확인하였다. 마지막으로, 논문의 GPS 수신기의 재밍 영향 분석에 대한 결과는 협대역 간섭신호에 대한 위성항법 수신기의 재밍에 대한 영향 예측 및 항재밍(AJ) GPS 수신기 개발에 필요한 성능 분석에 유용하게 이용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Kenneth D. Johnston, B.Sc., "Analysis Of Radio Frequency Interference Effects On A Modern Coarse Acquisition(C/A)Code Global Positioning System(GPS)Receiver", Air Force Institute of Technology, March 1999.
- [2] Zdravko M. PONOS, "Analysis of GPS Receiver Anti-Jamming Characteristics", IECE TRANS. COM, VOL.E83-B, NO.10 OCT. 2000.
- [3] D.L. Nicholson, "Spread Spectrum Signal Design LPE & AJ Systems", Computer Science Press, Maryland, 1988.
- [4] "TRIMPACK - Specification, Installation and Reference Manual", Trimble, Sunnyvale, 1990.
- [5] "GG24 GPS and GLONASS Receiver Reference Manual", Ashtech, Sunnyvale, 1997.
- [6] Gregory D. Rash, "GPS Jamming in A Laboratory Environment", Naval Air Warfare Center Weapons Division, China Lake.
- [7] "User Manual For The GSS-4765 GPS Interference Simulation Systems operating with SimGEN for Windows", Spirent communication, UK, 2003.