

# 위성항법시스템을 위한 항재밍 기술 분석

김기윤\*

## Analysis of Anti-Jamming Techniques for Satellite Navigation Systems

Ki-yun Kim\*

요 약

위성항법시스템은 현재 민간과 군에게 위치와 시간 정보를 제공하는 유용한 시스템으로 널리 활용되고 있으며, 국방-IT 간 대표적 융합 기술로 거론되고 있다. 그러나 위성항법시스템은 지구로부터 2만 Km 상공의 원거리에서 신호를 송신하므로 위성항법 수신기의 수신 감도가 매우 미약하여, 재밍(jamming) 공격에 취약한 특성을 가진다. 이와 같은 위성항법시스템을 위한 항재밍(anti-jamming) 기술에 관한 연구는 위성항법시스템을 소유한 국가가 공개하는 기술적 정보에 의존적이어서 국내 국방 분야에서는 소극적 수준의 연구에 머물러 있다. 본 논문에서는 먼저 위성항법시스템의 다양한 재밍원 소개와 J/S와 재머-수신기 간의 거리 링크 버짓 분석을 통한 위성항법시스템의 재밍 취약성을 분석하였다. 또한 위성항법시스템 수신기 설계에 적용 가능한 항재밍 기술을 분류하고 분석하였으며, 최근 연구되고 있는 국내외 항재밍 관련 제품 및 기술을 분석하였다.

**Key Words** : GNSS, Anti-jamming, Link-budget, J/S, CRPA

ABSTRACT

GNSS(Global Navigation Satellite System) is now being widely used in both civilian and military applications where accurate positioning and timing information are required and it is considered as a representative convergence technique in IT-Military application techniques. However, GNSS has low sensitivity level of GNSS receivers and is vulnerable to jamming signal, since the signals come from the satellite located at approximately 20,000 Km above the earth. The studies for the anti-jamming techniques in military applications have been passively performed in the domestic, because the information related GNSS are dependent on the countries that have GNSS. In this paper, we show the effect of jammer ERP by analyzing the link budget of GPS J/S power as a function of distance between jammer and receiver. Also, we categorize the anti-jamming techniques based on the functional block diagram of GNSS receiver structure and analyze the recent anti-jamming GNSS products and their technologies developed in domestic and foreign countries.

### I. 서 론

위성항법시스템은 인공위성을 이용하여 지상에 있는 목표물의 위치를 정확히 추정하는 시스템으로 공식적인 명칭은 GNSS(Global Navigation Satellite

System)다. 위성항법시스템은 우리에게 잘 알려진 GPS(Global Positioning System)가 시초이며, 이것은 1970년대 미국 국방부가 지구상에 있는 물체의 위치를 측정하기 위해 만든 군사 목적의 시스템이었으나 오늘날에는 민간용으로 특정 부분이 허용되

\* First Author : 명지전문대학 전기과, kkim@mjc.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2013-09-402, 접수일자 : 2013년 9월 13일, 심사일자 : 2013년 10월 8일, 최종논문접수일자 : 2013년 12월 11일

어 우리 생활에 널리 활용되고 있다. 위성항법 시스템은 국방-IT 융합의 대표적 기술로써 연구될 가치가 매우 높으나, 우리나라는 다른 나라의 위성항법 시스템을 사용하고 있고 군용을 제외한 상용 부분만 접근할 수 있어 제한적인 기술만 연구되는 실정이다.

위성항법시스템의 위성들은 지구상으로부터 약 2만 Km 떨어진 위치에서 신호를 송신하므로 수신 감도가 매우 미약하며, 간섭(interference)에 매우 취약한 특징을 가진다<sup>11-31</sup>. 이러한 위성항법 신호의 취약성을 이용하여 군사적 상황에서 적군은 위성항법 신호 수신을 방해하기 위해 세 가지 종류의 교란 기법을 이용한다. 하나는 위성항법신호가 사용되는 주파수 대역에 강한 전력의 동일 주파수 신호를 인가하여 위성항법 수신을 방해하는 재밍(jamming, 전파방해) 기법과, 다른 하나는 교란용 송신기가 의도적으로 위성항법 신호를 수신하고 저장하였다가 이를 시차를 두고 재방송하여 수신기에 항로 혼란을 갖게 하는 미코닝(meaconing, 항법방해) 기법과, 또 다른 하나는 일반에게 공개된 상용 GPS 신호 구조(signal frame)를 모방하여 거짓 신호 정보가 담긴 고출력 위성항법 신호를 발생시켜 위성항법 수신기가 잘못된 위치를 인식하도록 하는 스푸핑(spoofing, 전파기만) 기법이다<sup>4-51</sup>. 이 중 재밍 기법은 저렴한 비용과 간단한 기술로 손쉽게 재머(jammer, 전파방해 장치)를 제작하여 공격을 전개할 수 있기 때문에 세계적으로 재밍 공격에 대처하기 위한 다양한 항재밍(anti-jamming) 위성항법시스템 기술에 관심이 집중되고 있다.

본 논문에서는 위성항법시스템에 대한 재밍 공격에 대처하기 위해 위성항법시스템의 재밍 취약성을 분석하고, 최근 국내외 연구 결과물들을 기반으로 항재밍 기술을 분석하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 국내에서 민군 모두 널리 사용하고 있는 GPS(Global Positioning System)의 특징을 소개하고 3장에서는 위성항법시스템에 적용되는 다양한 재밍 신호원과 재밍 취약성을 분석하고 시뮬레이션하였다. 4장에서는 현재 소개되고 있는 다양한 항재밍 기술을 항재밍 위성항법 수신기 구조에 따라 분류하고 분석하였다. 5장에서는 국내외 항재밍 위성항법시스템과 관련된 제품과 기술을 분석하고, 6장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. GPS 시스템의 특징

GPS는 앞서 언급한 바와 같이 미국이 자국의 군사 목적을 위해 개발한 시스템이다. 1978년부터 첫 발사를 시작으로 현재는 24개의 위성과 6개의 보조 위성을 합하여 30개의 위성을 운용하고 있다. GPS는 민간용으로 개방하고 있지만, 전시에는 미국이 군 전용으로 전환할 가능성이 매우 높기 때문에 세계 선진국은 자국의 위성항법시스템을 독자적으로 갖추거나 개발을 추진 중에 있다. 예로써, 러시아는 24개의 위성으로 GLONASS(Global Navigation Satellite System)를 운영하고 있으며, 유럽연합(EU)은 독자적인 위성항법 시스템을 갖추기 위해 32개의 위성 배치를 목표로 갈릴레오(Galileo) 프로젝트를 추진 중에 있다. 그 밖에 일본에서는 7개의 위성으로 동아시아 지역에 위치정보를 제공하는 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System) 프로젝트를 추진 중이다. 또한 중국에서는 3개의 위성으로 군사용 위성항법시스템을 구축하려는 “바이두(北斗)”를 추진하는 등 각 나라마다 미국의 GPS와 유사한 위성항법시스템 개발에 열을 올리고 있다.

위성항법시스템을 이용하면 기본적으로 위치와 시간 정보를 획득할 수 있다. GPS는 24개의 GPS 위성이 서로 다른 궤도로 지구 대기권을 계속 회전하고 있는데 이는 지구상 어느 시간 어느 곳에서도 4개 이상의 위성신호를 얻을 수 있도록 하기 위함이다. 위성항법시스템을 이용하여 위치를 측정하기 위해서는 동시에 최소 4개의 위성으로부터 신호를 받아야 한다. 물론 더 많은 위성으로부터 신호를 받으면 보다 정확한 위치값을 얻을 수 있다. 일반적으로 GPS 수신기는 동시에 처리하는 위성신호의 개수에 따라 4 채널, 8 채널 등으로 구분한다.

GPS에는 두 가지 확산코드가 사용되는데 Precision Code(P-code), Coarse-acquisition code(C/A code)가 있다. P-Code는 군사용 및 정밀 위치 측정 서비스를 허가받은 사용자가 사용하며, P-Code에 암호화를 수행한 P(Y) 코드도 있다. C/A Code는 상용에 활용되도록 정확도를 고의적으로 낮추어 서비스하고 있다. 최근 이러한 오차를 보정하는 방법으로 특정 위치의 좌표값과 그 곳의 측정값과의 차이를 이용하여 보정된 데이터를 반영하는 DGPS(Differential GPS)가 사용되기도 하며, GLONASS와 GPS 신호 등 2종 이상의 위성항법시스템 신호를 동시에 이용해 오차범위를 줄이고 스마트폰에 탑재 가능한 소형 칩셋이 개발되기도 하였다.

GPS에는 L1 및 L2 주파수대역이 있으며 각각

1575 MHz, 1227 MHz의 중심 주파수를 사용한다. C/A code의 경우 2.05 MHz의 대역폭을 사용하고 P-code인 경우 20.46 MHz의 대역폭을 사용한다.

현재 위성항법시스템은 그림 1에 나타난 바와 같이 주로 비행기, 선박, 차량의 항법장치에 전자지도(GIS)와 함께 사용되고 있으며, 사람이나 차량 등 이동체의 위치를 파악하거나, 철도 선로 제어(railroad control), 측량, 동기식 이동 통신 시스템 등에 사용되고 있다. 이 밖에 현재 군용 목적으로 위성항법장치는 항공기, 선박, 차량의 항법 시스템 외에도 미사일 유도(missile guidance)와 포대 및 목표물 위치 파악(position location estimation), 통신 장비간의 동기(synchronization) 등 민군 활동 전반에 활용되며 의존도 및 중요성이 날로 증가하고 있다.



그림 1. 위성항법시스템의 민군 응용 분야  
Fig. 1. Military and civil applications of GNSS

### III. 위성항법시스템의 재밍 취약성 분석

위성항법시스템은 유비쿼터스 환경에 진입함에 따라 최근 부각되고 있는 위치기반서비스(LBS), 지리정보, 이동체 추적, 텔레메틱스, SA(Situation Awareness), C4I(Command, Control, Communication, Computer and Intelligence) 분야 등 상용 및 군용 각종 시스템에 거의 적용될 만큼 중요한 역할을 감당하고 있으나, 약 2만 Km 상공에 위치한 위성이 방송(broadcasting) 형식의 신호를 지구로 송신하므로 그 수신 감도가 약 -160dBw 수준으로 미약하여 재밍 및 간섭에 매우 취약하다.

위성항법 수신기에 유입되는 신호 간섭은 의도적인 간섭과 비의도적인 간섭으로 나눌 수 있다. 의도적인 간섭(intentional interference)은 주로 군용 시스템에서 상대의 위성항법 신호 수신을 방해할 목

적으로 상대 위성항법 수신기에 재밍 신호를 인가하는 경우이며, 비의도적인 간섭(unintentional interference)은 일상에서 다른 주파수 대역에서 발생하는 TV 및 FM 하모닉 주파수와 Radar, MSS(Mobile Satellite Service) 등에 의해서 발생하는 경우가 해당한다. 표 1에 GPS 사용 주파수에 영향을 미치는 전형적인 간섭 신호원들을 나타내었다<sup>3,6)</sup>.

광대역(wide band) 간섭신호원은 확산된 GPS 신호 대역 전반에 걸쳐 광대역 변조된 신호가 영향을 미치는 것을 의미하며, 의도적 재밍신호를 발생시키는 재머를 제작할 경우 광대역에 따른 큰 전력과 비용이 소모된다. 반면 협대역(narrow band) 간섭신호원은 특정 좁은 주파수 대역에 협대역 변조된 신호가 영향을 미치는 것으로 재머 제작이 쉽고 용이하나, 일반적 통신환경에서는 FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum) 및 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 기술을 통한 항재밍 대처가 어느 정도 가능한 단점이 있다. 광대역 재밍의 대표적인 가우시안 잡음(Gaussian noise)은 가우시안 분포를 따르는 랜덤 특성의 잡음을 인가하여 재밍 여부를 인지하지 못하게 하는 대표적 재밍 방법이다. 협대역 재밍은 미리 정해진 상대적으로 좁은 주파수 대역에 재밍을 인가하는 것으로 임의의 순서 또는 "swept jamming" 으로 불리는 연속적 순서의 재밍을 수행한다. 또한 연속적 파형(continuous wave)을 인가하여 톤(tone) 내지 협대역 재밍 신호를 생성하고 더 나아가 다중(multi) 협대역 재밍을 수행하기도 한다. 때로는 상업용 TV 및 라디오 등의 신호 등이 GPS 신호에 간섭을 일으키기도 한다. 일례로 미국 메사추세츠 지역의 텔레비전 방송국은 782 MHz ~ 788 MHz 대역의 주파수를 2,000 KW급 ERP(Effective Radiated Power)로 송출하였는데, 그 결과 1.564 GHz ~ 1.576 GHz 대역의 하모닉 주파수를 발생시켜 C/A 코드 GPS 수신을 간섭시킨 사례가 있다.

이와 같이 위성항법시스템 사용 중에 여러 간섭원들의 영향으로 쉽게 동작 정지(outage) 상황이 발생할 수 있다. 이것은 위성항법시스템의 정확도와 신뢰도가 필수적으로 요구되는 시스템이나 위성항법 시스템을 적용하여 생명을 다루는 상용 시스템, 항공기의 항법 시스템, 그리고 유도 무기 사용시 오폭 등 치명적인 문제를 야기하게 된다.

표 1. 위성항법시스템 신호 간섭원  
Table 1. Interference sources of GNSS

구분	재밍 신호원 형태	
Wide Band	Gaussian Noise	Intentional jamming by jammer
	Phase/Frequency Modulation	Harmonics of TV transmitter
		Adjacent band micro-wave link transmitter etc.
	Spread Spectrum	Intentional spread spectrum jammer
Near electric field signal of pseudo-satellite		
Pulse	Radar transmitter	
Narrow Band	Phase/Frequency Modulation	Harmonics of AM broadcast transmitter
		Harmonics of CB transmitter
	Swept Continuous Wave	Intentional CW jammer
	Continuous Wave	Harmonics of FM broadcast transmitter
		Intentional CW jammer
Continuous Wave	Non modulation transmitter carriers of adjacent frequency band	

위성항법 수신기에 만약 재머에 의한 재밍 신호가 인가될 경우 식 (1)과 같은 관계로 링크 버짓(link budget)을 계산할 수 있다.

$$ERP_J = P_{J-Rx} - G_{GPS-Rx} + L_p + L_F \quad (1)$$

여기서,  $ERP_J$  는 재머의 유효 방사 전력,  $P_{J-Rx}$  는 수신된 재머 전력(dBw),  $G_{GPS-Rx}$  는 재머 방향으로의 위성항법 수신기 안테나 수신 이득(dBic),  $L_p$  는 경로 손실,  $L_F$  는 수신기의 프론트 엔드(front-end) 필터링에 의한 재머 전력 손실을 나타낸다.  $L_p$  는 자유공간상에서의 전파 손실을 가정할 경우 식 (2)와 같다.

$$L_p = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda_J} \right) \quad (2)$$

여기서,  $d$  는 재머와 위성항법 수신기와의 거리(meter),  $\lambda_J$  는 재밍 신호의 파장을 나타낸다.

식 (1)에 식 (2)를 이용하여 정리하면 식 (3)과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda_J} \right) = ERP_J - P_{J-Rx} + G_{GPS-Rx} - L_F \quad (3)$$

한편, 재머의 ERP는 다음과 같은 관계에 있다.

$$ERP_J = P_{J-Tx} + G_{J-Tx} \quad (4)$$

여기서,  $P_{J-Tx}$  는 송신된 재머 전력(dBw),  $G_{J-Tx}$  는 재머 송신 안테나 이득(dBic)을 나타낸다.

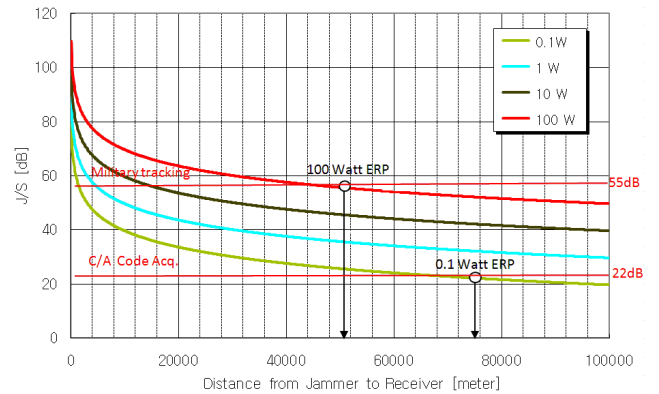


그림 2. 재머와 수신기 거리에 따른 J/S  
Fig. 2. J/S for distance from jammer to receiver

그림 2는 식 (3)과 식 (4)의 관계식으로부터 재머-수신기간의 거리(d)와 재밍 대 신호 전력(J/S: Jamming to Signal Power Ratio)간의 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 여기서 재머의 ERP는 100W, 10W, 1W, 0.1W 급으로 가정하였다. 군사용으로 쓰이는 GPS의 경우 55dB 정도의 J/S 에도 GPS 코드의 추적(tracking) 성능을 가지는 것으로 알려져 있다. 이를 가정하면 100W 급의 재머 공격은 50Km 반경에서 군사용 GPS 를 무력화시킬 수 있게 된다. 반면 C/A 코드의 경우 22dB 수준의 J/S 에도 일반적으로 코드 포착(acquisition)이 어려운 실정이다. 이 경우 0.1W급 재머 공격에도 약 76Km 반경내에서 초기 포착이 어렵게 된다. 이와 같이 상대적으로 매우 작은 전력의 재밍이나 간섭이 인가 되더라도 위성항법 수신기에 간섭원이 가깝게 위치 한다면 위성항법 신호 수신에 불가능하게 되므로 안전한 위성항법 신호 수신을 위해 항재밍 기술의 도입이 필요함을 알 수 있다.

아울러 위의 식 (3) 및 (4)를 이용하면 재머 ERP 에 따른 위성항법 수신기의 J/S 항 재밍 성능을 예

측할 수 있기 때문에 식 (1)의 링크 버짓을 기본으로 실제 구현 환경에 따른 현실화된 파라미터를 추가한다면 항재밍 시스템 설계에 적극 활용될 수 있을 것으로 보인다.

#### IV. 항재밍 기술 분석

위성항법 수신기로 유입되는 간섭 및 재밍 신호를 효율적으로 제거 또는 억압하기 위하여 다양한 항재밍 기술들이 연구되어 왔다. 그림 3 은 일반적인 위성항법 시스템 수신기 구조에 따른 항재밍 기술 적용 가능한 5개의 지점들을 나타낸 것이다. 각 지점에 적용 가능한 기술들을 간략히 분석하면 다음과 같다<sup>[3,7-9]</sup>.

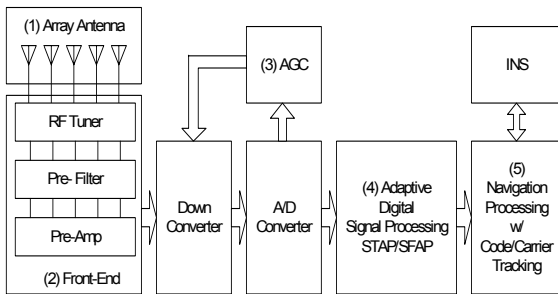


그림 3. 위성항법시스템 수신기 블록도  
Fig. 3. Block diagram of GNSS receiver

##### 4.1. 안테나 기술

이 기술은 적응형 안테나 어레이(adaptive array antenna)를 사용하는 기술로서 위성 신호 방향에 매우 좁은 빔폭의 빔을 형성하여 이득을 높이는 빔 조향 어레이(beam steered array) 기술과 재밍 신호 방향에 널(null)을 형성하여 재밍 신호를 억압하는 널 조향(null steered array) 기술로 나눌 수 있다. 전자의 경우는 매우 좁은 빔폭을 형성하기 위해 많은 수의 안테나가 필요하게 되고 안테나 크기도 커지게 되며 구현에 많은 비용이 드는 반면 후자의 경우는 CRPA(Controlled Reception Pattern Array)라는 기술로 재머 방향의 정보를 획득하여 각 안테나의 위상을 제어하여 널링을 수행한다<sup>[10-14]</sup>. 이론적으로 이 경우 안테나 빔의 기본 패턴은 반구(hemisphere)의 형태가 이상적이며 저가로 구현이 가능하기 때문에 항재밍 안테나 기술로 선호되고 있다. 이 때 안테나 수가 N 개라면 N-1 개의 재밍 신호에 대해 널을 형성할 수 있다. 그림 4는 CRPA를 이용하여 재밍신호에 대응하는 방법을 도시한 것이다. CRPA는 GPS 수신기에 장착되어 재머 방

향에 유입되는 재밍 신호에는 널을 형성하여 재밍 신호를 억압하고 위성 방향으로는 빔포밍을 형성하게 된다. 일반적으로 안테나 수가 많아지면 다수의 재머에 대처 가능하고 항재밍 성능이 우수해지지만 안테나 크기가 커지며, 신호처리 연산량이 늘어나는 단점이 있다.

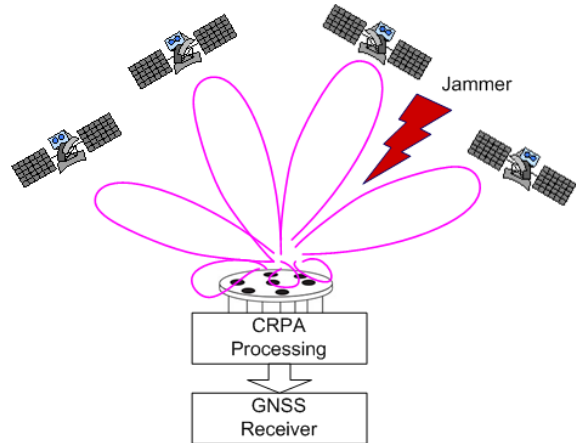


그림 4. CRPA 안테나 블록도  
Fig. 4. Block diagram of CRPA

##### 4.2. 프론트 엔드(front-end) 필터링 기술

프론트 엔드 필터링 기술은 수신기에 강하게 유입되는 재밍 전력을 차단하는 기술로서 위성항법 신호 대역이외의 재밍 신호를 억압하고 위성항법 신호만을 통과시키는 sharp cut-off 특성을 가지는 대역 필터를 사용한다. 이 경우 삽입 손실(insertion loss) 등이 우려되기도 하는데 공동 필터(cavity filter) 등을 사용하면 삽입 손실을 줄이고 대역 필터의 정지 대역(stop-band) 신호를 강하게 억압할 수 있다. 이와 더불어 필터단에서는 주파수 하향 변환(down-conversion)을 수행하는데 이 때 협대역의 필터링 효과를 기대할 수 있으며 국부 발진기(local oscillator) 전후로 필터링을 수행하게 된다. 이러한 하향 변환단에서의 협대역 필터링은 외부(out-of-band) 대역의 재밍 신호를 억압하여 수신 성능을 향상시킬 뿐 아니라 IF(Intermediate Frequency) A/D(Analog to Digital) 변환을 통해 적은 나이퀴스트 샘플 신호처리를 가능하게 한다.

##### 4.3. AGC(Automatic Gain Control) 기술

재밍 환경하에서는 위성항법 신호가 왜곡되며, 그릇된 신호를 활용하여 위성 신호를 추적할 경우 신호의 동기(synchronization)마저 잃어버리게 된다.

따라서 재밍 존재 시에는 수신기로 신호를 전달하지 않는 것도 재밍에 대응하는 한 방법일 수 있다.

항재밍 기능을 갖춘 첨단 위성항법 수신기들은 모드 변환(mode transition) 기능을 가지고 있어서 재밍 신호 전력 레벨에 따라 수신기의 포착(acquisition)과 추적(tracking)을 조절한다. 재밍 여부를 검출하는 방법으로 J/N(Jamming to Noise Power Ratio)을 측정하는 기술이 있으며 J/N이 기준 임계값(threshold) 이상이 되면 재밍이 인가되고 있음을 인지하고 이에 대응한다. 이 때 J/N 검출은 AGC(Automatic Gain Controller)에서 수행되며 AGC로 인가되는 GPS 신호 전력은 열잡음(WGN; White Gaussian Noise)보다 낮기 때문에 이보다 높은 전력이 검출될 경우 재밍 환경임을 판단할 수 있다.

#### 4.4. 디지털 항재밍 신호처리기술

이 기술은 대표적인 전처리 항재밍 위성항법시스템 기술로 위성항법 수신신호가 복조되기 전에 디지털화된 신호 샘플들을 이용하여 재밍 및 간섭신호를 제거하는 기술이다. 이 영역에서 주로 고려되는 기술은 배열 안테나를 이용한 적응형 신호처리 기술이며, 공간 널링(spatial nulling) 기술, STAP(Spatial Time Adaptive Processing), SFAP(Spatial Frequency Adaptive Processing) 및 ADP(Amplitude Domain Processing) 등 다양한 신호처리 기술이 적용될 수 있다. 특히 시간영역에서 신호처리를 수행하는 STAP과 주파수 영역에서 신호처리를 수행하는 SFAP은 적응형 배열 안테나 신호처리에 가장 널리 이용되는 기술이다<sup>15,16)</sup>.

실제적으로 최근의 위성항법시스템을 위한 재밍 및 간섭 제거 시스템 기술은 디지털 신호처리 기술 및 소프트웨어 기술의 발달로 이 영역에서의 성능 개선을 위한 개발이 중점적으로 이루어지고 있으며, 전 디지털 구현(all-digital implementation)을 통한 장비의 소형화 및 성능의 극대화를 위한 연구가 진행되고 있는 추세다<sup>17)</sup>.

#### 4.5. 코드/반송파 추적 루프 기술

앞서 1~4절의 기술은 전상관(pre-correlation) 신호처리 기술이라고 불릴 수 있다면 코드/반송파 추적 기술은 후상관(post-correlation) 신호처리 기술이라고 불릴 수 있다. 코드/주파수 추적 기술은 위성항법 수신기의 보조를 받는(Receiver aided)기술로서 수신기와 관련된 기술이다. 재밍 대응 성능은 전

처리 검출 신호 대역폭(pre-detection bandwidth)에 좌우되며, 대역폭이 작을수록 재밍대응 성능과 코드/반송파 추적 성능이 우수해지지만 위성항법 신호를 수신할 수 있는 LOS(Line-Of-Sight)의 다이내믹성은 감소하게 된다. 외부의 관성항법장치(INS; Inertial Navigation System) 등의 속도 정보 등을 활용할 경우 추적 루프의 대역폭을 정확히 선정할 수 있게 되어 최적의 설계가 가능하다. 또한 복조된 GPS 데이터 신호를 앞단의 항재밍 신호처리시 활용하여 재밍 신호를 추정하고 제거하는 기술도 개발되고 있다<sup>18,19)</sup>.

이상에서 살펴본 바와 같이 항재밍 위성항법시스템 기술은 수신 시스템 구현 블록의 여러 지점에서 다양한 방법으로 개발이 가능하며 최적의 성능향상을 위해서는 한 가지의 기술 적용이 아니라 복합적인 기술 적용으로 성능 개선의 극대화를 이루어야 할 것으로 판단된다.

## V. 국내외 항재밍 기술 동향 분석

국내에서는 위성항법시스템을 위한 항재밍 기술 연구에 국방과학연구소와 삼성탈레스, LIG 넥스원, 단암시스템즈 등 국내 방산업체 및 기타 국내 위성항법시스템 유관 연구소, 위성항법 수신기 개발업체, 그리고 몇 개 대학교의 위성항법시스템 전문 연구실 중심으로 연구가 진행되고 있다. 2000년대 중반부터 국방과학연구소를 중심으로 항재밍 기술개발에 착수하였으나, 아직 군무기 체계에 적용할 만한 수준에는 이르지 못하고 있는 실정이다.

반면 국외의 경우 미국이 위성항법시스템을 위한 재밍 및 간섭 제거 기술에 관한 연구를 선도해 오고 있으며, ION(Institute of Navigation) 및 PLANS(Position Location and Navigation Symposium)와 같은 GPS 관련 커뮤니티, 군(미국 국방성 및 공군 주도) 및 대형 방산업체 등을 중심으로 다양한 연구를 수행해 오고 있다. 이 장에서는 국내 항재밍 기술 동향에 대해 군용 및 민간 차원에서 서술하고, 해외에서 위성항법시스템을 위한 항재밍 시스템을 출시한 대표적 업체와 해당 제품 기술을 분석한다.

### 5.1. 국내

#### 5.1.1 군용

현재 군에서는 재밍에 대응하는 한 가지 방안으

로써 의사위성(Pseudo-satellite) 시스템을 고려하고 있다. 의사위성체계는 위성을 궤도에 쏘아 올리지 않고 높은 지형이나 공중에 의사 위성 신호 송출이 가능한 고출력 송신기를 장착하여 항법수신기가 이를 수신하게 하는 방식이다. 의사위성체계 사업은 ‘지상기반항법체계(GBNS)’란 이름으로 2011년 2월부터 국방과학연구소를 주관으로 연구개발을 진행중이며, 대통령 특명사업인 ‘번개사업’에 포함되어 있다. 그러나 이 방식은 작전범위가 수십 Km에 불과하기 때문에 전 세계를 대상으로 하는 위성항법시스템에 비해 사용이 제한적일 수 밖에 없고, 위치 추정 정확도 또한 위성항법시스템에 비해 떨어지는 단점이 있다. 감사원은 2011년 7월 ‘번개사업’에 대한 몇 가지 문제점을 지적하였다. 즉, 의사위성체계는 재밍 위협시에 위성항법시스템을 보완할 수 있는 일차적 대체항법수단은 될 수 있으나, 지상에 정해진 곳에 위치하기 때문에 유사시 적의 타격이 용이하여 불능이 되기 십상이라는 지적이다.

스푸핑(spoofing)에 대응하고자 하는 노력도 기울이고 있다. 2011년 9월에 미국에 P(Y) 코드를 사용하는 GPS 군용칩 판매를 요청하였는데 감사원의 특명사업 감사에서 정밀무기 체계에 사용되는 현재의 상용 GPS 수신기를 군용으로 전환할 것을 지적한 결과이다. 국내에서는 T-50훈련기와 수리온 헬리콥터 등을 제외하고는 대부분의 국내생산 무기체계에 상용 GPS 수신기를 장착해오고 있다.

즉, 현재 단계에서 군은 재밍 대응책으로써 해외의 선진 항재밍 기술을 도입하고, 군용 GPS 수신기로 점진적 교체를 진행하면서, 보조적으로 의사위성체계를 갖추어 나가는 전략을 갖추고 있다.

### 5.1.2 민간용

민간에서는 적극적인 관점에서의 항재밍 기술 연구보다는 다른 상용 주파수 신호원들 즉, TV, 라디오 블루투스, 와이파이 등의 간섭을 제거하는 소극적인 위성항법 신호 간섭제거 기술이 적용된 위성항법수신기를 출시하고 있다.

#### (1) 아센코리아

아센코리아는 2006년부터 GPS부품 개발 및 GPS 제품생산을 하고 있는 전문기업이다<sup>[20]</sup>. 2012년에는 기존의 미국 GPS 위성만을 수신하던 수신기에 러시아 GLONASS 및 유럽 갈릴레오 위성항법시스템을 수신할 수 있는 AKMG6 칩을 개발하였다. 아울러 2013년 7월에는 GPS, GLONASS, 갈릴레오,

QZSS를 지원하는 초소형 GNSS 모듈(11mm×13mm) G3를 개발하였다. 아센이 자체 측정한 결과에 따르면, GPS 단독 측위시에 사용 가능한 위성수가 평균 4.4 개였지만, GPS와 GLONASS 동시 수신시에는 평균 7.8 개로 늘어났으며, 위치 정확도도 40%이상 향상되었다. 아울러 GPS 재밍시 GLONASS 내지 유럽 갈릴레오 위성을 대체하여 사용함으로써 재밍에 대응할 수도 있다. 또한 AKMG6 칩은 블루투스나 와이파이 등의 간섭으로 인한 성능저하를 방지하기 위한 RF내성 기능을 부가해 안정적인 위치신호 확보가 가능한 특징을 가진다.

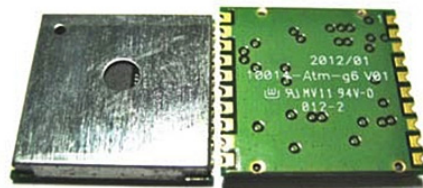


그림 5. 아센코리아의 AKMG6 칩셋  
Fig. 5. AKMG6 chipset of Ascenkorea

#### (2) 항공우주연구원

한국항공우주연구원(KARI) 위성항법팀에서는 그림 6과 같이 2013년 8월 항공기의 이착륙을 위협하는 재밍 전파 신호에 대한 위치를 파악할 수 있는 ‘전파 위협원 위치추적시스템’을 세계 2번째로 개발하였다<sup>[21]</sup>. 이 시스템은 공항 주변에 4대의 정밀한 GPS 안테나를 설치하고 공항 주변에서 발생하는 재밍 신호원의 위치를 전파도달 시간과 전파 각도를 계산하여 찾아낸다. 항우연의 이 시스템은 국방과학연구소 전자시험장에서 수차례 시험한 결과 10Km 이격 거리에서는 50m, 20Km 이격거리에서는 100m 이내의 오차범위로 재밍신호원의 위치를 검출하는 것으로 알려졌다. 이는 미국에서 처음으로 개발하여 보유한 장비 성능보다 4배정도 우수한 성능을 가지는 것으로 분석된다. 이는 한국전자통신연구원(ETRI) 위성항법팀이 개발한 위성항법 지상국에서 위성항법신호의 특성을 파악하여 왜곡, 전파간섭 등의 이상 유무를 검출하여 사용자에 배포하여 활용토록 하는 방식과<sup>[22]</sup> 개념이 유사하나 전파위협원 위치까지 파악가능하다는 측면에서 기능이 강화되었다. 2013년 7월 미국 샌프란시스코 공항에 아시아나항공 여객기 착륙 사고의 원인이 조종사 과실인지 아니면 항공기 이착륙을 돕는 ‘지상기반착륙 유도설비(GBAS)’가 오동작을 일으켰는지가 조사가

진행되고 있다. 여기서, GBAS는 GPS의 전파를 지상에서 증폭하여 비행기의 정확한 위치와 고도를 조종사에게 알려주게 되어있다. 이 때 재밍이 발생하면 비행기 이착륙 과정에서 사고 위험이 커지게 된다. 항우연의 이 시스템은 민간 항공기의 이착륙은 물론 군사적으로 활용이 가능해 적군의 GPS 재밍에 대해 즉시 원점을 파악해 대응할 수 있다.



그림 6. 항공우주연구원의 전파위협원 위치추적시스템  
Fig. 6. Jamming position tracking system of KARI

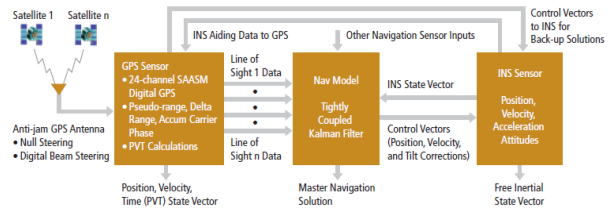
## 5.2. 해외

### 5.2.1. Raytheon 사

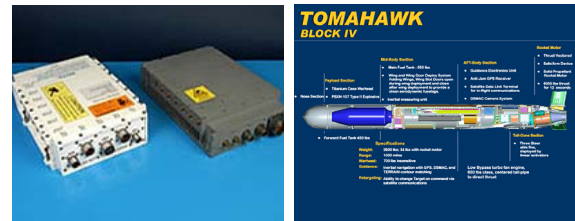
레이시온(Raytheon)은 세계적으로 잘 알려진 미국의 전자제품 및 항공우주제품 제조업체로서 항재밍 위성항법시스템 관련 분야에서도 항공용으로 라인업을 구축하고 있다<sup>[23]</sup>. 먼저 그림 7의 DAR(Digital Anti-jam Receiver)은 Joint Strike Fighter(F-35) 전투기를 위해 개발되었으며 7-element CRPA를 사용하고 FSTAP(Frequency Space Time Adaptive Processing) 기술을 통해 재밍 방향의 공간적인 널을 형성하고 위성 방향으로 빔을 증폭한다. 이와 같이 널링 및 다중 빔포밍을 결합한 기술은 항재밍 성능을 배가시키게 된다. 아울러 토마호크(Tomahawk) 미사일에 장착 가능한 AGR(Anti-jam GPS Receiver)을 생산하고 있다. AGR은 가시상(LOS)에 있는 위성을 순차적으로 8개까지 추적하며 고품질의 의사 거리/델타 의사 거리(PR/DPR: pseudorange/delta pseudorange) 측정값을 제공하여 토마호크의 항법 성능을 향상시킨다. 아울러 임베디드 소프트웨어로 SAASM(Selective Availability Anti-Spoofing Module) 기능을 구현한 AGR-4를 출시하였다. 여기서 SA(Selective Availability)는 민간 부문의 사용을 제한하기 위하여 의도적으로 위치 추정 오차를 발생시킨 것을 의

미한다.

그 밖에 레이시온은 2008년 한국과 패트리엇트 미사일을 제어하는 컴퓨터 시스템 판매 계약을 체결했으며, 주요 제품군은 패트리엇트 등 방공미사일과 전쟁에 필요한 각종 정보 통제 장치, 레이더 장비, 전자 무기 등이다.



(a) DAR의 상호 운용 블록도  
(a) Interoperability block diagram of DAR



(b) DAR 수신기 (c) 토마호크 미사일 AGR 장착  
(b) DAR receiver (c) AGR installation on Tomahawk  
그림 7. Raytheon 사의 DAR 및 AGR  
Fig. 7. DAR and AGR by Raytheon

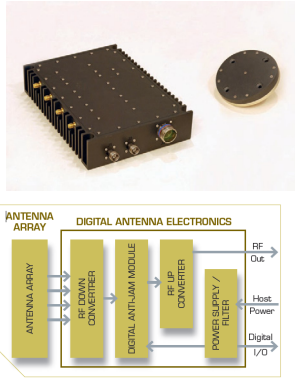
### 5.2.2. Thales 사

탈레스(Thales)는 프랑스 국적의 세계적 방산업체로 다양한 방산 품목을 생산한다<sup>[24]</sup>. 헬리콥터에 장착을 목적으로 TopShield 라는 항재밍 수신기를 개발하였으며 Gallieo를 포함한 모든 위성항법시스템에 적용 가능하다. TopShield는 헬리콥터 및 항공기 등에 단독 장착(stand-alone)이 가능하다. 그림 8(a)에 보는 바와 같이 4개의 소자를 가지는 CRPA 어레이 안테나와 DAE(Digital Antenna Electronics)로 구성된다. J/S 항재밍 성능이 90 dB 이상으로 높은 수준이며 전 디지털(full digital) STAP 기술을 적용하였다. 각종 재밍 신호원 CW, FMCW, Pulsed narrowband, Broadband 신호의 억압이 가능하며, 동시 L1 및 L2 대역 처리가 가능하다. 크기는 230×160×45 mm, 무게는 2.4 Kg, 안테나 어레이는 3.5 inch 크기로 소형화 설계되었다.

그 밖에 탈레스는 세계 50개 이상의 나라에서 사업을 운영하며 글로벌 방산업체로 2000년대 들어와 우주산업, 방위산업, 정보산업의 세 영역을 사업군으로 개편하였다. 주요 제품군은 영상추적기, 무장 통제 레이더, 철도 운송시스템, 톨게이트 매표 시스



템, 항공기 기내 엔터테인먼트 등을 생산한다. 우리나라에도 삼성과 탈레스의 합작회사인 삼성탈레스(주)가 있다.



(a) TopShield 수신기 (b) TopShield 구현 블록도  
 (a) TopShield receiver (b) Block diagram of TopShield  
 그림 8. Thales 사의 TopShield  
 Fig. 8. TopShield by Thales

5.2.3. Rockwell Collins 사

항공전자부품 생산업체로 잘 알려진 미국 방산업체 락웰 콜린스(Rockwell Collins)는 그림 9의 DIGAR(Digital Integrated GPS Anti-jam Receiver)을 개발하여 미국 해군의 엄격한 JPALS(Joint Precision Approach and Landing System) 요구를 만족하였다<sup>[25]</sup>. CRPA 안테나를 도입하여 재밍에 대한 널링이 아닌 위성 방향의 강력한 디지털 빔포밍 (beam forming) 기술을 적용하는 것이 특징이다. 이 시스템은 자사의 24 채널 SAASM과 연동된다. 16 채널 L1 및 L2 신호 빔포밍이 가능하며 J/S 재밍 성능은 20 MHz 광대역 재머에 대하여 5 개 추적의 경우 85 dB 이상, 3개 추적일 경우 100 dB 이상을 가진다. 무게는 5 Kg 이하, 크기는 203(W)×58(H)×305(D) mm를 가진다.

그 밖에 락웰 콜린스는 전세계 민, 군, 정부를 대상으로 한 통신, 항공 및 기내 엔터테인먼트 시스템을 개발 보급하고 있으며, 특히 미국 및 동맹군 항공 통신 시스템의 거의 70%의 항공전자 장치가 락웰 콜린스 제품을 이용하고 있다.

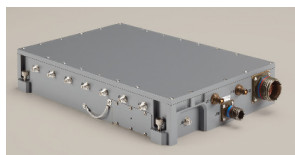


그림 9. Rockwell Collins 사의 DIGAR  
 Fig. 9. DIGAR by Rockwell Collins

5.2.4. Mayflower Communications 사

메이플라워 통신(Mayflower Communications)사는 1986년에 미국에서 설립한 중견업체로 주로 무선 항법과 디지털 항재밍 기술을 주력으로 연구하는 업체다<sup>[26]</sup>. 주요 생산품으로 GPS C/A 수신기, GPS P(Y) 수신기, 항재밍 전자장비, 무선 데이터링크 장비 등이다. 여타 업체들이 주로 부피가 다소 큰 RF 안테나 솔루션 개발에 힘써 왔다면 이 업체는 소형화된 디지털 빔 안테나 솔루션을 개발에 주력해왔다. 항재밍 기술로 특화된 ATF(Adaptive Temporal Filter), Adaptive Spatial Filter(ASF), Adaptive Temporal-Spatial Filter(ASTF), Self-Interference Canceller(SIC) 등 많은 RFI 제거 관련 특허 기술을 보유하고 있다. 최근 그림 10(a)의 SAS(Small Antenna System) 항재밍 모듈을 개발하여 BAE system사 에 납품하였다. 주요 특징으로는 5 채널 GPS 항재밍 시스템으로 동시에 L1 및 L2 대역 보호가 가능하다. 크기는 152×114×76 mm 이며, 무게는 1.13 Kg 이다. 안테나는 CRPA 타입으로 3.5 inch 크기다. J/S 재밍 성능은 90 dB 이상이다. 또한 메이플라워사에서 출시하는 그림 10(b)의 NavGuard 100은 칩(chip)화 설계로 가벼운 것이 특징이다. 크기가 40(dia)×11.7(H) mm이며 무게는 24g 밖에 되지 않는다. 3개의 광대역 및 협대역 재머에 대해 50 dB 까지의 J/S 재밍 성능을 가진다. 아울러 메이플라워사의 전 제품은 ASIC 및 SoC(System on Chip) 설계가 이루어져 소형화가 가능한 것이 특징이며 레일건(railgun) 총격(gun shot) 시험 등을 거쳐 안정성이 우수하다.



(a) SAS 항재밍 모듈 (b) NavGuard100 모듈  
 (a) SAS Anti-Jam module (b) NavGuard100 module  
 그림 10. Mayflower 사의 SAS 및 NavGuard100  
 Fig. 10. SAS and NavGuard100 by Mayflower

5.2.5. Novatel 사

노바텔(Novatel)사는 캐나다 캘거리에 위치한 업체로서 GNSS 수신기, 안테나 및 서브시스템을 개발하는 업체다. 영국 카이네틱(QinetiQ) 업체와 손잡고 그림 11의 GAJT(GPS Anti-Jam Technology, 일명 가젯“Gadget”)를 공동 개발하였다<sup>[27]</sup>. 직경이 290 mm 로 비교적 소형이며, 지상 이동체(land

vehicle)에 쉽게 장착될 수 있는 특징을 가진다. 또한 CRPA와 같은 복잡한 기술이 적용되지 않고 전력 및 단일 RF 케이블만이 내부에 연결된 독창적인 구조를 가진다. 기존 위성항법 시스템에 범용 장착(off-the-shelf)이 가능하며, 캐나다와 영국군에 의해 시험이 진행되었고, 현재 양국 육군에 납품되고 있다. 이 장치의 기본 기능은 최대 6개의 독립적인 널을 생성하고 동시에 GPS L1 및 L2 대역 항재밍이 가능하다. 그러나 항재밍 구현 원리가 신호처리에 있지 않고 기구적 특성에 의존적인 것으로 판단되며, 재밍 방향이 수평일 경우에만 유효할 것으로 분석되어, 공대지(air-to-ground) 재밍에는 취약할 것으로 보인다. 또한 항재밍 성능을 제시하지 않는 것으로 미루어 항재밍 J/S 성능은 그리 높지 않을 것으로 판단된다.

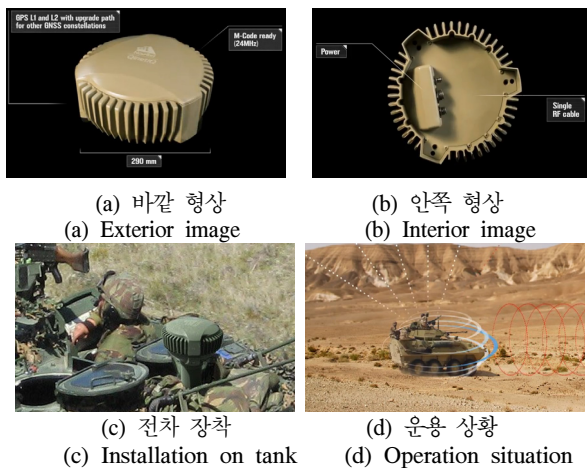


그림 11. Novatel 사의 GAJT  
Fig. 11. GAJT by Novatel

## VI. 결 론

본 논문에서는 J/S와 재머-수신기 간의 거리 링크버짓 분석을 통한 위성항법장치의 재밍 취약성을 분석하였다. 위성항법시스템은 재밍 및 간섭에 매우 취약하여, 매우 적은 전력의 재머 ERP에도 재머가 근거리에서 위치할 경우 위성항법 신호 수신에 어려운 것을 확인하였으며, 항재밍 위성항법 수신기의 요구되는 J/S 성능도 가늠할 수 있었다. 아울러 본 논문에서는 최근 연구되고 있는 위성항법 수신기의 다양한 항재밍 기술을 분석하였다. 항재밍의 기술적 동향은 적응형 배열 안테나를 기반으로 한 디지털 신호처리 구조가 주종을 이루는 추세며, FPGA/DSP

구현 및 소프트웨어 기술 적용으로 전 디지털(all-digital) 구현 및 소형화를 추구하고 있다. 또한 여러 형태의 재밍 시나리오에 따라 항재밍 위성항법 수신기 설계 방법이 달라지는 이른바 맞춤형 항재밍 기술이 요구되고 있다. 이를 위해 향후에는 수신기의 안테나 배열 구조가 바뀌어도 기본 하드웨어 플랫폼에 소프트웨어적인 신호처리만 변경하여 로딩하면 해당 재밍 공격에 대처 가능한 SDR(Software Defined Radio) 형태의 구조 연구가 활발히 수행될 것으로 보인다. 반면 국내에서는 군용 고성능 항재밍 위성항법수신기 개발이 미진하여 아직 제품화 단계에 이르지 못하고 있어 이에 대한 과감한 지원과 기술 도입 등 관련 기술 연구가 시급히 필요하다. 또한 스푸핑에 대응 가능한 군용 비화코드인 P(Y)코드를 사용하는 위성항법시스템도 미코닝 교란에 최근 심각한 위협원으로 소개되고 있는 바 이에 대한 대처 방안 및 기술적 연구도 필요하다. 그리고 더 나아가 위성항법시스템의 활용 비중 및 세계적 환경변화를 고려하여 중국 및 일본 등과 같이 국내 독자 위성 체계를 구축하는 방안도 적극적으로 검토하고 추진되어야 할 것이다. 마지막으로 국가안보를 위하여 정책적으로 북한의 GPS 교란에 대한 대응체계 및 전략 수립 마련이 조속히 필요할 것으로 사료된다.

## References

- [1] H. Hu and N. Wei, "A study of GPS jamming and anti-jamming," in *Proc. 2009 2nd Int. Conf. Power Electron. Intell. Transportation Syst. (PEITS)*, pp. 388-391, Shenzhen, China, Dec. 2009.
- [2] J. S. Han, K. Y. Kim, S. J. Kim, H. D. Kim, and H. J. Choi, "Analysis of adaptive digital signal processing for anti-jamming GPS system," *J. Korea Inform. Commun. Soc. (KICS)*, vol. 32, no. 8, pp. 745-757, Aug. 2007.
- [3] E. D. Kaplan, *Understanding GPS; Principles and Applications*, Artech House, 2002.
- [4] S. K. Jeong, T. H. Kim, C. S. Sin, and S. U. Lee, "Technical trends of smart jamming for GPS signal," *2012 ETRI Electron. Telecommun. Trends*, vol. 27, no. 6, pp. 75-82, Dec. 2012.

- [5] K. C. Kwon, C. K. Yang, and D. S. Shim, "Anti-spoofing method using double peak detection in the two-dimensional C/A code search space," *J. Korea Navigation Inst. (KONI)*, vol. 17, no. 2, pp. 157-164, Apr. 2013.
- [6] S. Hua, Y. Hong, and M. Juntao, "Signal simulation and positioning mechanisms for single antenna GPS receiver used in fuse," in *Proc. Int. Conf. Syst. Simulation Sci. Comput. (ICSC 2008)*, pp. 947-952, Beijing, China, Oct. 2008.
- [7] A. Kundu, M. Mukhopadhyay, B. K. Sarkar, and A. Chakrabarty, "Incorporation of anti-jamming techniques in a GPS receiver," in *Proc. Int. Conf. Signal Process., Commun., Networking(ICSCN)*, pp. 132-137, Chennai, India, Jan. 2008.
- [8] L. Li, X. Xi, and J. Wang, "Research on GPS anti-jamming algorithm based on adaptive antennas," in *Proc. Int. Symp. Signals Syst. Electron. (ISSSE)*, pp. 1-4, Nanjing, China, Sep. 2010.
- [9] Z. Ahmad, M. Thahir, and I. Ali, "Analysis of beamforming algorithms for antijam," in *Proc. 2013 Int. Seminar/Workshop Direct Inverse Problems Electromagn. Acoust. Wave Theory(DIPED)*, pp. 89-96, Lviv, Ukraine, Sep. 2013.
- [10] D. Mingjie, P. Xinjian, Y. Fang, and L. Jianghong, "Research on the technology of adaptive nulling antenna used in anti-jam GPS," in *Proc. 2001 CIE Int. Conf. Radar*, pp. 1178-1181, Beijing, China, Oct. 2001.
- [11] J. G. Maloney, B. N. Baker, J. J. Acree, J. W. Schultz, J. A. Little, and D. D. Reuster, "Fragmented aperture antenna design of miniaturized GPS CRPA: model and measurements," in *Proc. 2007 IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp.*, pp. 3784-3787, Honolulu, U.S.A., June 2007.
- [12] R. L. Fante and J. J. Vaccaro, "Wideband cancellation of interference in a GPS receive array," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 36, no. 2, pp. 549-564, Apr. 2000.
- [13] I. J. Gupta, T. H. Lee, K. A. Griffith, C. D. Slick, C. J. Reddy, M. C. Bailey, and D. DeCarlo, "Non-planar adaptive antenna arrays for GPS receivers," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 52, no. 5, pp. 1045-9243, Oct. 2010.
- [14] W. Sun and M. G. Amin, "Interference suppression for GPS coarse/acquisition signals using antenna array," in *Proc. 2004 IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Process. (ICASSP '04)*, vol. 4, pp. 929-932, Montreal, Canada, May 2004.
- [15] S. J. Kim and R. A. Iltis, "STAP for GPS receiver synchronization," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 40, no. 1, pp. 132-144, Jan. 2004.
- [16] I. J. Gupta and T. D. Moore, "Space-frequency adaptive processing (SFAP) for radio frequency interference mitigation in spread-spectrum receivers," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 52, no. 6, pp. 1611-1616, June 2004.
- [17] W. Lijun and M. Huanping, "The system model and analysis of all-digital temporal and spatial anti-jamming for GPS Receivers," in *Proc. Int. Conf. Wireless, Mobile, Multimedia Networks(ICWMNN)*, pp. 258-261, Beijing, China, Sep. 2010.
- [18] M. Xiaoyang and L. Baiqi, "Design of an INS aided high dynamic GPS Receiver," in *Proc. Int. Conf. Electron., Commun., Control(ICECC)*, pp. 1404-1407, Ningbo, China, Sep. 2011.
- [19] L. Fu and Y. Zhu, "A study on GPS integrity monitoring algorithms based on ultra-tight integration system," in *Proc. Int. Conf. Ind. Electron. Applicat. (ICIEA)*, pp. 596-600, Beijing, China, June 2011.
- [20] AscenKorea Inc., GPS module, retrieved Nov, 10, 2013, from <http://www.ascenkorea.com>.
- [21] Donga science, GPS jamming on airplane, retrieved Nov, 10, 2013, from <http://www.dongascience.com/news/view/1981/all>
- [22] S. K. Jeong and S. W. Lee, "Quality

- monitoring method analysis for GNSS ground station monitoring control subsystem,” *J. Korean Soc. Aviation Aeronautics (KSAA)*, vol. 18, no. 1, pp. 11-18, Mar. 2010.
- [23] Raytheon, company and product, retrieved Nov, 10, 2013, from <http://www.raytheon.com/>.
- [24] Thales, Group defence, retrieved Nov, 10, 2013, from <https://www.thalesgroup.com/en>.
- [25] Rockwell Collins, Product and system, retrieved Nov, 10, 2013, from <http://www.rockwellcollins.com/>.
- [26] Mayflower Communications, Products and technology, retrieved Nov, 10, 2013, from <http://www.mayflowercom.com/>.
- [27] NovAtel, Products and technology in action, retrieved Nov, 10, 2013, from <http://www.novatel.com/>.

김기윤 (Ki-yun Kim)



1997년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업  
 1999년 2월 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 석사  
 2002년 2월 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 박사  
 2006년 4월~2007년 6월 미

국 Univ. of California, Los Angeles(UCLA) 전기공학부 박사후 연구원

2001년~2008년 삼성탈레스 기술연구소 책임연구원  
 2008년~현재 명지전문대학 공학·정보학부 전기과 부교수

<관심분야> 통신/영상 신호처리, 군통신, 이동통신, 의용 통신 시스템 등