

무인항공기 안전성 강화를 위한 위성항법시스템 적용 방안

GNSS Techniques for Enhancing Flight Safety of UAS

박 제 홍

대한항공 항공기술연구원

Je-hong Park

Korean Air R&D Center, Daejeon 34054, Korea

[요 약]

위성항법시스템은 위성을 이용하여 측위정보를 불특정다수에게 동시 제공하는 서비스되도록 시스템이 구성되어 있어, 태양풍, 태양흑점활동, 전리층 산란 등과 같은 자연적 원인으로 인한 교란뿐만 아니라 전파방해 및 기만신호 등의 여러 가지 이유로 신호의 무결성을 확보하는데 근본적인 취약성을 지니고 있다. 무인항공기 시스템은 비행체의 측위정보 오입력의 경우 시계 비행 등의 즉각적인 대응이 불가능해 위성항법신호의 무결성 침해 위험이 추락에 준하는 사고 및 대량 피해로 연결될 가능성이 크다. 따라서 무인항공기 시스템의 비행안전성 증진을 위해서는 전파방해 및 기만신호에 대응할 수 있는 보완적 위성항법시스템을 사용이 요구된다. 본 논문에서는 위성항법시스템이 지닌 위험 원인 및 대응 기술을 살펴보고, 국내외 무인항공기에 적용된 위성항법시스템 적용 동향과 위성항법시스템의 위협으로 인해 파급될 수 있는 무인항공기 시스템의 비행안전성 위협 영향성을 분석하고, 무인항공기 시스템의 비행안전성 확보를 위한 위성항법시스템 기능 무력화에 대한 기술적, 제도적 대응방안을 모색하고자 한다.

[Abstract]

Global navigation satellite system (GNSS) has a weakness of signal integrity caused by broadcasting type data transmitting direct to user from navigation satellite. Loss of GNSS signal integrity can make a catastrophic event in the operation of unmanned aerial system (UAS) because position decision is only depended on GNSS. So it is required to apply alternative method to reduce a risk and to guarantee a GNSS signal integrity for UAS operation. This paper addressed the reason of loosing GNSS signal integrity, the effectiveness of signal jamming/spoofing and GNSS application trend for UAS. Also suggested the flight safety enhancing method in case of GNSS signal jamming for UAS as technical and political approaches.

Key word : Global navigation satellite system, Airworthiness, Anti-Jamming, Anti-spoofing, Satellite based satellite system.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.1.58>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 2 February 2017; Revised 7 February 2017

Accepted (Publication) 24 February 2017 (28 February 2017)

*Corresponding Author; Jehong PARK

Tel: +82-10-2024-6091

E-mail: syncbig@gmail.com

1. 서론

위성항법시스템 (GNSS; global navigational satellite system)은 인공위성을 이용하여 지상에 있는 사용자의 위치, 속도, 시간을 추정하는 체계를 통칭한다. 1984년 GPS 서비스가 민간분야에 개방되어 민간사용자에게 측위정보를 서비스하였고, 2000년 민간사용자에게 적용되어 오던 고의오차 (SA; selective availability)가 해제되어 수평기준 최대 20 m 이내의 정확도를 가진 위치정보를 민간에 개방한 이후, 차량 내비게이션 및 스마트폰에 활용되는 등 우리의 실생활에 매우 유용하게 사용되어 현재는 실생활에 없어서는 안될 기반정보가 되었다. 2016년 상반기를 기준으로 미국의 GPS (NAVSTAR GPS, 이하 GPS global positioning system), 러시아의 GLONASS (globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema), 유럽연합의 Galileo 및 중국의 BNSS (BeiDou navigation satellite system)가 지구 전체를 대상으로 정보를 제공하고 있다. 현재 GLONASS, Galileo 등 다양한 위성항법시스템의 사용이 일반에게 개방되어 두 개 이상의 시스템을 하나의 수신기로 이용하는 것이 가능해지게 됨에 따라 더욱 정확하고 끊임없는 측위정보 서비스가 가능하게 되었다. 이러한 결과로 현재 LTE, WCDMA 등 이동통신분야, 지리정보시스템 (GIS; geographic information system)을 위한 측지/측량분야, 긴급 구조분야, 농업분야 그리고 항공/해상/철도/고속도로 등 교통안전분야 및 스마트 그리드 등 국가 기간 시설에 없어서는 안 될 기준정보로 활용되고 있으며, 개발 본래의 용도인 군사적 목적으로도 군용항공기 및 각종 정밀유도무기에 이르는 각종 무기체계에 활용되는 등 사회시스템을 구성하는 전 분야에 필수정보로 사용되고 있다 [1],[3],[4].

그러나 지상 약 2만 킬로미터 이상의 지구궤도에서 송신되는 위성신호는 지상에서 수신되기에는 매우 미약하여, 태양 활동이나 대기상태, 의도적/비의도적 간섭 등에 의해 쉽게 손상되고 변형되며, 때로는 수신불능이 되기도 하는 근본적인 문제점을 가지고 있다. 이러한 시스템적 특성은 적은 비용으로도 전파 방해와 같은 큰 위협을 가할 수 있는 시스템적 위협성을 가지고 있다는 것을 의미하며, 사회시스템이 위성항법시스템 기반의 측위정보 의존도를 높여감에 따라 해커 및 사회 불안 세력들에게 위성항법시스템이 접근하기 쉬운 주목할 만한 목표가 되는 이유가 된다.

특히 위성항법정보를 항로설정 및 비행 운용의 기본 정보로 사용하는 무인항공기의 경우 위성항법시스템을 이용한 측위정보의 신뢰성은 항공기의 비행안전성에 결정적인 영향을 주는 요소가 된다. 이러한 이유로 무인항공기 시스템의 신뢰성 확보 및 비행안전성 유지를 위해, 무인항공기가 수신하는 위성항법 정보에 대한 다양한 위협을 이해하고, 이를 제거하거나 완화하기 위한 다양한 방안 연구가 활발하게 진행되고 있다 [1]-[5],[9].

위성항법시스템에 대한 위협은 크게 태양풍, 태양흑점활동, 전리층 산란 등과 같은 자연적인 원인과 전파방해(jamming),

재방송 재밍, 기만 재밍(spoofing) 등의 인위적인 원인으로 나눌 수 있고, 위협에 대응하는 위협 완화를 위한 기술에는 다중 주파수 수신기, 안테나 성능 향상 및 지상기반 대응시스템 구축 등의 다양한 방법이 개발/시험 중에 있다.

본 논문에서는 위성항법시스템이 지닌 위협 원인 및 대응 기술을 살펴보고, 국내의 무인항공기에 적용된 위성항법시스템 적용 동향을 확인함으로써 위성항법시스템의 위협으로 인해 과급될 수 있는 무인항공기 시스템의 비행안전성 위협 영향성을 분석하고, 무인항공기 시스템의 비행안전성 확보를 위한 위성항법시스템 기능 무력화에 대한 기술적, 제도적 대응방안을 모색하고자 한다.

II. 위성항법시스템 위협 및 대응 기술

2-1 위성항법시스템 전파방해 취약성

지상 고도 약 20,000 km의 궤도에서 운용되는 위성에서 송신하는 신호를 이용하여 측위정보를 제공하는 위성항법 시스템은 약 -160 dBw 수준 높은 수신감도를 요구할 정도로 신호 출력이 매우 미약하므로 의도적 전파 방해 및 인근 주파수와 의 비의도적 전파 간섭에 매우 취약하다. 이는 매우 먼 거리에서 불특정 다수를 대상으로 위성 송출신호를 방송(broadcasting)하는 형식으로 신호를 송신하기 때문에 발생하는 시스템적 문제점에 기인한다.

이러한 이유로 TV, FM Radio의 하모닉 주파수, radar 신호 등 일상에서 사용되는 대부분의 고출력 전파 서비스와 간섭을 일으킬 수 있으며, 최근 전송속도 확대를 위해 사용되는 대역확산방식 통신시스템이나 광대역 통신시스템까지도 간섭신호원으로 위성항법 시스템에 영향을 미치고 있다. 위성항법 시스템에 영향을 미치는 주요 신호 간섭원을 표 1에 정리하였다. 위성항법시스템 사용 중에 여러 간섭원들의 영향으로 쉽게 동작 정지(outage) 상황이 발생시킬 수 있다. 위성항법시스템의 정확도와 신뢰도가 필수적으로 요구되는 시스템이나 위성항법 시스템을 적용하여 생명을 다루는 상용 시스템, 항공기의 항법 시스템, 그리고 유도 무기 사용 시 오폭등 치명적인 문제를 야기한다 [2].

위성항법 시스템의 취약점을 링크 특성과 관련지어 분석해 볼 때, 전파간섭원의 유효방사전력과 수신기의 거리에 따른 간섭원 신호 대 위성항법시스템 신호전력비 (SIR; signal vs interference power ratio) 관계는 아래의 식에 의해 정의될 수 있으며, 이에 대한 예측 시뮬레이션 결과가 그림 1과 같이 연구된 바 있다 [9].

$$ERP_i = P_{i-RX} - G_{GNSS-RX} + L_P + L_F \quad (1)$$

$$= P_{i-TX} + G_{i-TX}$$

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

$$20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda_i}\right) = P_{i-TX} + G_{i-TX} + G_{GNSS-RX} - L_F \quad (3)$$

- ERP_i : 신호간섭원의 유효 방사 전력(dBw)
- $G_{GNSS-RX}$: 신호간섭원 방향의 GNSS 수신기 이득 (dB)
- P_{i-TX} : 송신된 신호간섭원 송신 전력 (dBw)
- G_{i-TX} : 신호간섭원 송신 안테나 이득 (dB)
- L_P : 경로 손실 (자유공간 전파손실)
- L_F : GNSS 수신기 프론트 엔드(front-end) 필터링에 의한 신호간섭원 방사 전력 손실
- λ_j : 신호간섭원 중심주파수 파장
- d : 신호간섭원과 GNSS 수신기 사이 거리

그 동안의 연구에 따르면 군용 GPS의 경우 55 dB, 상용 GPS의 경우 22 dB의 SIR까지 GPS 코드의 생성 및 추적 성능을 가지는 것으로 알려져 있다 [9]. 이러한 가정과 그림 1의 신호간섭원 대 수신기 거리에 따른 연구결과를 가정할 때, 별도의 장비 없이 상용 GPS의 경우 단지 0.1W의 동일 중심주파수와 대역폭을 가진 신호간섭원 만으로도 반경 76 Km 내의 위성항법 시스템을 무력화 할 수 있으며, 군용 GPS의 경우 100 W급의 비의도적 간섭신호원만으로 반경 50 Km 반경의 군용 위성항법 시스템을 일시적으로 무력화 시킬 수 있어, 이에 대한 대응은 필수 불가결하다 할 수 있다.

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

Item		Type of Interference Sources
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
	Swpt Continuous Wave	Intentional CW jammer
		Harmonics of FM broadcast transmitter
	Continuous Wave	Intentional CW jammer
		Non modulation transmitter carriers of adjacent frequency band

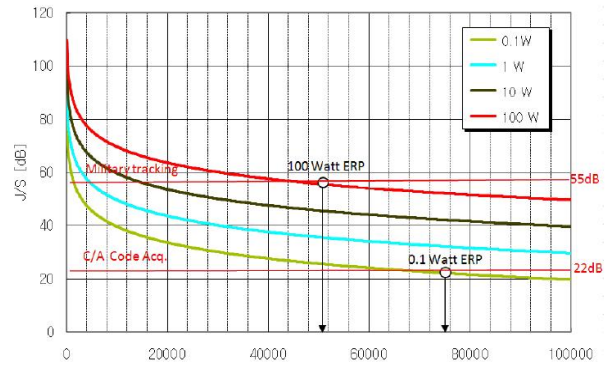


그림 1. 전파간섭원 과 수신기 거리에 따른 SIR
Fig. 1. SIR for distance between Interference source and GNSS Receiver.

2-2 위성항법시스템 전파방해 대응 기술

위성항법시스템의 전파방해 대응기술은 크게 안테나 기반 대응기술, 수신기 기반 대응 기술 및 디지털 신호처리기반 대응기술로 구분할 수 있다.

1) 안테나 기반 대응 기술

안테나 기반 대응 기술은 재밍 신호의 방향에 대해 해당신호를 널링(nulling)시키는 기법과 부엽파를 억제시키는 방사패턴 제어 안테나 (CRPA; controlled radiation pattern antenna) 기법 그리고 수신기 안테나의 빔이 위성항법 시스템 위성으로 지향되도록 하는 수신 빔을 성형하는 방법 등으로 연구되어 왔다. 이 중 미국의 레이시온(Rathon)사에서 개발한 방사패턴 제어 안테나기법이 위성항법 신호의 사전 상관보호 및 비용적 관점에서 최적의 방법으로 평가 받고 있으며, 이를 응용한 다양한 안테나 기반 대응 기술이 미국의 Rockwell Collins, 캐나다 Novatel, 영국 QinetiQ 등의 기업에서 개발, 자사의 anti-jamming 솔루션에 사용되고 있다. 그림 2는 방사패턴 제어 안테나를 이용한 전파방해 대응 개념을 나타낸다.

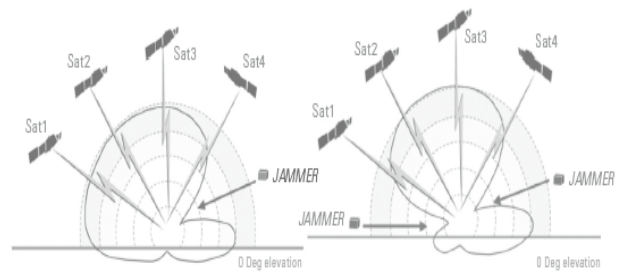


그림 2. CRPA 기법 개념도
Fig. 2. Operarion concept of CRPA technique.

2) 수신기 기반 대응 기술

수신기 기반 대응 기술은 크게 프론트엔드 필터링 기법, AGC (automatic gain control) 기법, GNSS/INS 통합역 보정 기법 및 다중 주파수 기반의 주파수 스위칭 기술 등 다양한 방법의 전파방해 대응 기법들이 개발/적용되고 있다.

프론트 엔드 필터링 기술은 수신기에 강하게 유입되는 제밍 전력을 차단하는 기술로서 위성항법 시스템 신호 대역이외의 제밍 신호를 억압하고 위성항법 신호만을 통과시키는 sharp cut-off 특성을 가지는 대역 필터를 사용하는 기술이다. AGC 기술은 제밍 환경하에서는 위성항법 신호가 왜곡될 때, 신호의 동기(synchronization)마저 잃어버리게 되는 특성을 이용하는 방식으로, 위성항법 동기신호를 상실했을 때, 신호의 교란 여부를 검출하는 AGC를 기존 시스템에 부가하여 신호교란을 검출하여 일부 신호를 차단시키는 기법이다. 이러한 기법들은 좋은 효과에도 불구하고, 기존의 장비의 RF 하드웨어를 추가/변경해야 하는 단점으로 큰 비용 상승을 유발시킨다.

이러한 단점을 최소화하기 위해 최근 주파수 스위칭 기술 및 ON-CHIP ADC를 이용한 수신기 기반의 능동형 신호제거 기법이 연구/상용화를 준비하고 있다.

3) 디지털 신호 처리방식 대응 기술

디지털 신호처리를 이용한 전파방해 대응 기술은 대표적인 전처리 항제밍 위성항법시스템 기술로 위성항법 수신신호가 복조되기 전에 디지털화된 신호 샘플들을 이용하여 제밍 및 간섭신호를 제거하고, 기존의 관성항법 장치의 결과를 활용하여 신호간섭으로 인한 오차를 보정하는 기술이다. 주로 S/W 보정을 통해 이루어지므로 다른 방식에 비해 하드웨어의 변경 및 추가가 적어, 큰 비용없이 전파교란에 대응할 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 기존 시스템이 아날로그 형태로 개발된 시스템에는 적용이 불가하고, 신호 전 처리구간에서 디지털화가 되어야 더욱 정확한 전파교란 대응을 수행할 수 있다는 단점도 가지고 있다.

최근의 위성항법시스템 개발이 디지털 신호처리기 (DSP; digital signal processor)를 이용한 one-chip 형태로 발전하고 있어, 제밍 및 간섭 제거 시스템 기술은 대부분 디지털 신호처리 기술 및 소프트웨어 기술의 발달을 중심으로 진행되기도 있으며, 이에 따라 장비의 소형화 및 성능의 극대화를 위한 연구 또한 적극적으로 진행되고 있다.

2-3 위성항법 수신정보 기반 대응 기술

위성항법 시스템 기반기술은 수신기로 하여금 정상적으로 기능을 수행하면서 오동작을 유도하는 방식이다. 예를 들어 GPS의 경우 P코드 또는 Y코드로 암호화 되어 있는 군용 GPS 신호와 달리 민간용 GPS의 신호구조가 공개되어 있다는 점을 이용하여 GPS 위성신호와 동일한 구조의 신호를 항법오차를 포함시켜 생성하여 수신기에 전송하여 오작동을 일으키는 것이다. 기만신호에 대한 구분이 되지 않으면 수신기는 실제 위성

신호로 판단하여 잘못된 위치정보를 산출하게 되고, 신호의 완결성 (signal integrity)이 아닌 정보의 완결성 (information integrity)을 확인하기 어려운 위성항법 시스템의 특성상 기만여부의 판단을 하기 더욱 어려워 더 치명적인 결과를 초래할 수 있는 특징을 가진다.

기만신호를 생성하는 방법은 크게 GNSS 신호생성기를 이용하여 현재 위성정보와 시각 동기 없이 기만신호를 생성하는 방식과 GPS 위성의 신호와 동기를 맞춰서 기만신호를 생성하는 방식으로 나뉘며, 생성된 기만신호를 기존의 GNSS용 가시위성에 대한 도플러 정보, 항법데이터, 신호 세기 등에 대한 정보를 추출 합성한 후, 정상 신호의 시각 정보와 동기화 하여 원래의 신호보다 더 큰 출력으로 송출하는 방식으로 운용한다 [1].

이러한 기만신호 검출 방법으로는 신호의 세기를 보는 방법과 신호의 변화율을 보는 방법 그리고 신호의 의사거리 (pseudo range) 측정치의 변화를 확인하는 세가지 방법으로 구분할 수 있다. 먼저 신호의 세기를 보는 방식은 기만신호가 기존의 위성신호보다 고출력의 신호를 발생하는 점을 이용해 신호 강도를 측정하여 기만신호를 추출 확인하는 방법으로 기만신호가 능동적으로 신호강도를 조율할 경우 기존신호와와의 구분이 어렵다는 단점을 지니고 있다. 반송파 또는 도플러 주파수를 이용하여 코드와 반송파 등의 신호변화율을 측정하여 확인하는 방식은 어떤 채널에서 기만된 신호가 감지되는지 확인하는데 어려움이 있다. 마지막으로 전리층 효과에 의한 L1, L2 신호의 측정치를 비교하여 의사거리 측정치 변화율을 이용하여 기만신호를 추출하는 방법은 기만된 위성의 채널을 확인하여 배제 하는 방법으로 항법해를 재 계산할 수 있는 장점이 있으나, 기존 수신단과 항법해를 구성하는 S/W에 변경을 주어야 하는 복잡함이 단점이 존재한다.

현재의 위성항법 시스템에서 한가지 방법이 아닌 2종 이상의 기만신호 검출 및 암호화된 국지적 지상 의사위성을 이용한 의사거리 검출을 통해 기만신호 검출을 수행하고 있으며, PRN 신호에 대한 위상신호를 생성한 다음 기만신호를 상쇄시키거나 이중피크 검출을 통해 기만신호 채널의 원신호를 복원하는 등의 다양한 연구가 진행되고 있다.

III. 무인항공기 위성항법시스템 적용 동향

일본의 “드론 비즈니스” 및 시장 동향 전문가인 Teal group의 자료에 따르면, 그림 3과 같이 군사용 목적의 대형/고가의 자동비행형 무인기 개발이 세계 무인기 시장의 80~90%를 차지하고 있으며, 이러한 추세는 2025년에도 계속될 것으로 예측되고 있다. 민간용 무인기는 주로 30 kg 이하의 초소형 RC (remote control)형 멀티콥터 드론을 주력으로 개발/공급되고 있으며, 군사용 무인기는 150 kg 이상의 중소형 무인항공기가 개발의 대부분을 차지하고 있다.

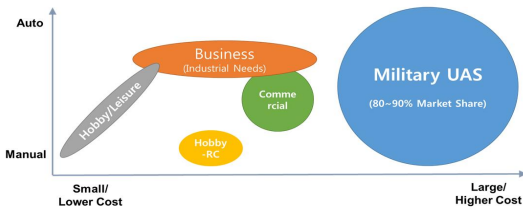


그림 3. 무인기 개발 추세
Fig. 3. UAS development trend.

민간용 무인기의 대부분이 RC 형태로 운용되기 때문에 민간용 무인기에 사용되는 위성항법 시스템은 주로 무인기의 위치 추위 및 고도 정보 이용에 사용되고 있으며, 개방되어 있는 코드를 사용하는 저가의 초경량 수신기를 사용하고 있는 특징을 지닌다. 민간 영역에서의 무인기 운용 공역이 운용자의 가시권 내에서 매우 제한적으로 이루어지고 있는 특성을 반영할 때, 민간용 무인기의 위성항법 시스템 의존도는 그리 크지 않다 할 수 있다. 그러나 최근 GPS 및 GLONASS 정보를 이용한 경로비행 기능을 지원한 저가형 민간용 FCC (flight control computer) 보급이 빠르게 이루어지고 있어, 민간용 무인기에 대한 위성항법 시스템 전파방해 대응도 큰 사회적 문제로 대두되고 있다.

군용 무인기의 경우 군사용 목적의 특성상 대부분의 군용 무인기는 RC 형태가 아닌 정해진 임무를 수행하기 위한 항로/항법 비행 성능을 기본기능으로 보유하고 있다. 군용 무인기의 항로/항법 기능 및 유도제어 기능은 주로 위성항법 시스템을 이용하여 이루어지고 있으나, 무인기가 유도무기로 분류되어 미사일 기술 확산 통제 조약 (MTCR; missile technology control regulation)에 따른 수출 제한을 받는 사유로 미국을 제외한 국가에서 항재밍형 위성항법시스템을 구매는 매우 어려운 실정이다.

3-1 해외 동향

시장동향 전문 연구 업체인 Teal Group의 자료에 따르면, 2015년 기준으로 주요 국가/대륙별 무인항공기 시장 점유율은 그림 4와 같이 미국이 전체의 70% 수준의 무인기 개발 및 생산을 담당하고 있으며, 유럽연합(EU) 산하 국가 및 한/중/일의 아시아 태평양 지역 국가가 뒤를 잇고 있다. 이러한 국가/대륙별 점유율은 2025년 계속 계속될 것으로 전망되고 있으며,

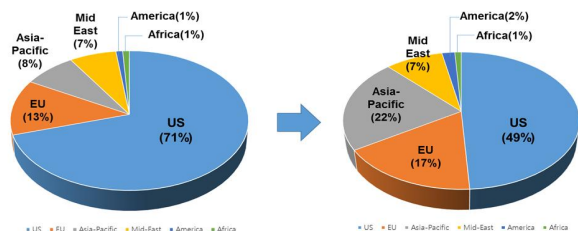


그림 4. 주요 국가/대륙별 무인항공기 시장점유율 현황 및 전망
Fig. 4. Trend and forecast of UAS market share.

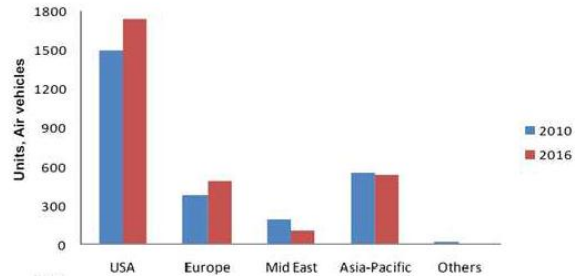


그림 5. 주요국 무인기 연간 생산량
Fig. 5. UAS manufacturing trend.

특히 중국 및 일본의 무인기 산업 투자에 따라 아시아 태평양 지역의 무인기 시장점유율이 3배 수준의 비약적 발전을 이룰 것으로 기대되고 있다.

Aerospace and Defense Industry Association 에 따르면 지난 5년간 무인기 개발 및 생산/운용이 4배 이상 증가하였으며, 2016년 기준 연간생산량은 그림 5와 같이 증가할 것으로 예측되었다. 미국, 유럽연합, 이스라엘, 아시아의 중국 및 대한민국이 무인기 개발을 주도하고 있다.

이 중 미국 및 NATO 산하의 유럽연합 국가인 영국, 프랑스 및 독일 그리고 이스라엘은 항재밍 기능을 보유한 미국의 군용 GPS 시스템을 사용하여 55dB 수준의 항재밍 기능을 보유한 무인기 시스템을 개발하고 있다. 또한 유럽연합은 군용 GPS에 독자적인 Galileo 시스템을 병행 사용할 수 있는 시스템을 통합/개발하여 위성항법시스템의 전파방해 및 기만에 대한 대응 능력을 강화, 비행안전성을 확보하고 있다.

한편 중국은 군사용 무인기에 한하여 상용 GPS와 중국의 독자 위성항법 시스템인 BNSS (Beidu navigation satellite system) 를 동시에 사용할 수 있는 시스템을 장착하여 위성항법시스템의 기만에 대응하고 있다.

3-2 국내 동향

국내 무인기 개발은 주로 군용 무인항공기를 위주로 개발 및 생산이 진행되고 있다. 용도에 따라서는 사업용, 취미용 및 군용으로, 용도 및 개발 규모에 따라서는 취미용, 전술용, 전략용으로 구분할 수 있다. 본 절에서는 국내 무인기를 용도 및 크기에 따라 30 kg 이내의 소형, 150 kg 수준의 전술용 및 600 kg 이상의 전략용 무인기로 구분하여 전술한다.

소형 무인기 개발은 주로 20~30 kg 급의 멀티콥터가 주로 개발되고 있다. 후성그룹 산하의 유콘시스템을 선두로 엑스드론, 케바드론 등 10여개의 중/소업체가 상용의 GPS 또는 GPS 기반의 FCC 키트를 이용하여 개발을 진행하고 있다. 상용 GPS 또는 open source architecture를 기반으로 위치 및 경로운영에 사용되는 FCC를 개발하기 때문에 위성항법 시스템의 전파방해에 무방비로 노출되어 있으며, 유콘시스템을 제외한 업체의 제품은 open source architecture 및 open datalink protocol 사용으로 해킹의 위협에도 노출되어 있는 것으로 파악된다.

전술급 무인기는 150~600 kg의 무게(최대이륙중량, MTOW; maximum takeoff weight)를 지니는 항공기로 분류하였다. 이스라엘의 씨쳐II (searcher-II)가 2002년 도입된 이후, 국내의 대한항공(Korean Air)과 한국항공우주산업 (KAI; Korea Aerospace Industry)에서 다양한 종류의 중/저고도 전술급 무인기 체계개발을 진행하고 있다. 대표적 개발 무인기로는 KAI의 군단급 무인기 RQ-101K 송골매와 대한항공의 차세대 사단 정찰용 무인기, 민군 겸용 전술급 고정익 무인기 KUS-FT, 수직이착륙형 무인기 KUS-VT 등이 있다. 국내의 대부분의 중/저고도용 전술급 무인기 제품군은 개발 초기 군용으로 사용될 것을 염두에 두고 개발되었으나, 개발 중량 및 운용 크기의 제한으로 인해 대부분 상용 GPS를 이용하고 있어, 군용 GPS를 사용하는 해외개발 무인기보다 위성항법 시스템의 전파방해 위협 등에 많이 노출되어 있는 한계를 가지고 있다.

그러나 최근 국내기술로 독자 개발된 사단정찰용 무인기의 경우 자체 개발한 FCC를 사용을 통해 상용 GPS 정보의 정확성 및 신뢰성을 일정수준으로 보장할 수 있도록 개선하는 보정형 위성항법체계 (SBAS; satellite based satellite system)를 향후 적용할 수 있는 능력을 보유하고 있는 것으로 알려져 있다. 독자 개발형 FCC의 개발 능력은 민간에서 추진되는 한국형 SBAS인 KASS (Korea augmentation satellite system) 뿐만 아니라 군에서 개발을 추진하고 있는 지상기반 보정 위성항법체계 (GBNS; ground based navigation systems) 등 향후 개발/적용될 다양한 위성항법 보정체계를 큰 설계변경 없이 적용할 수 있어, anti-jamming GPS 안테나 등의 자체 대응형 하드웨어와 병행하여 사용할 경우 위협에 대한 일정수준의 대응이 가능할 것으로 판단되나, 신호기만에 대한 부분에 있어서는 아직도 위협에 노출된 상태에 있다 할 수 있다.

마지막으로 전략급 무인기는 600 kg이상의 최대이륙중량을 지니고 있으며, 장기체공 능력을 보유한 MALE/HALE (medium/high altitude long endurance) 무인기로 구분하였다. 주로 10~20 Km의 고도에서 24시간 장기체공하며 위성 데이터링크를 통해 정보를 송/수신하는 MALE/HALE 무인항공기의 임무 특성상 지상에서 시도되는 위성항법 시스템 신호방해 및 기만신호에 비교적 적은 영향을 보인다. 그러나 MALE/HALE의 운용고도가 민간항공기의 항행 고도와 유사하고 대부분의 군용항공기가 TCAS 등 민간항공기 운용에 필수적인 Sense and Avoid 시스템 대신 민간항공기는 식별하기 어려운 군용피아식별장치인 IFF (identification friends and foe)만을 장착하고 있고,



그림 6. 국내개발 전술급 무인기 (송골매, 사단 정찰용 무인기)
Fig. 6. Tactical UAS of ROK.



그림 7. 중고도 무인기 (MAUV)
Fig. 7. MAUV (Medium altitude aerial vehicle).

특히 군용 무인기는 자체 항행 레이더를 보유하고 있지 않고, 비 전시에는 지상 레이더에 의한 항로 관제에 의해 주변이 통제되고, 자신의 위치는 오직 위성항법 시스템에 의해 측위/운용되기 때문에 위성항법시스템의 동작불능에 따른 위험성은 더 치명적이다.

유사고도에서 운용하는 전자전 항공기에 의한 신호방해 및 기만신호 위협에 대한 대비 또한 다른 여느 무인기와 같이 부족한 상태로 알려져 있다.

국내에서 도입, 도입예정이거나 자체 개발 중인 MALE/HALE 무인기 시스템은 미국의 글로벌호크 (global Hawk), 이스라엘의 헤론(Heron), KAI의 차기군단급 무인기 및 대한항공의 중고도무인기가 있다. 아직 이들 무인기에 적용된 위성항법 체계의 사양은 알려진 바 없으나, 해외 도입 무인기시스템인 헤론과 글로벌 호크는 이중화 된 군용 GNSS 시스템을 장착한 것으로 알려져 있고, 국내 개발 무인기에도 anti-jamming antenna 등의 기본적인 항재밍 기능은 보유하고 있는 것으로 알려져 있다.

IV. 무인항공기 안전성 강화를 위한 위성항법시스템 적용 방안

무인항공기가 전파방해 및 기만신호 등 위성항법시스템에 가해지는 다양한 위협에 대응하여 비행안전성을 확보하고, 향후 유인항공기와 통합된 공역에서 운용되기 위해서는 군용 GPS와 같이 항재밍-항기만 (anti-jamming, anti-spoofing) 기능을 보유한 위성항법시스템 또는 별도의 보완대책이 강구된 측위시스템의 무인기 적용이 선행되어야 한다. 그러나 독자적인 위성항법시스템을 보유, 서비스하고 있지 않은 우리나라의 경우 높은 수준의 항재밍-항기만 기능을 보유한 위성항법 측위장비를 자체 개발하는데 한계를 가지게 된다.

본 장에서는 독자적인 국지 위성항법 시스템을 구축하지 않는 상태에서 군용 GPS와 같은 해외 개발 체계 도입 없이 무인항공기의 안전성을 강화할 수 있는 방안을 위성항법 수신장치 개선, 시스템 보완장치 추가 운용 및 제도적 보완 방안으로 나누어 제안한다.

4-1 위성항법 수신장치 개선

현재 위성항법시스템을 무력화하는 위협으로 가장 많이 실현되고 있는 위협은 전파방해이다. 국방부 및 국방안보연구원의 자료[10]에 따르면, 다양한 위성항법 시스템의 기능장애 요소 중 대한민국을 대상으로 발생한 북한의 의도적 전파방해가 매년 수십 건씩 서해안 및 수도권 지역을 대상으로 이루어지고 있고, 이에 따른 위성항법 시스템의 기능이상이 대부분을 차지하는 것으로 보고되고 있다. 또한 앞서 2장에서 전술한 바와 같이 전파방해에 대응하는 기술은 위성항법 시스템의 기만신호를 확인/대응하는 것에 비해 상대적으로 매우 적은 비용과 시간이 소요되고, 이미 개발된 무인기뿐만 아니라 개발 중인 무인기 비행체를 대상으로 가장 손쉽게 추가적 적용으로 성능개량 할 수 있는 대응 방안은 시스템에 공통적으로 적용되면서 동시에 독립적으로 개발/장착/운용이 가능한 장치를 부가하는 것이라 할 수 있다.

따라서 현재 활발하게 개발되고 있는 적응형 배열안테나 기술 기반의 항재밍 안테나를 다중의 위성항법 시스템용 주파수에 대응되도록 개발을 추진, 표준화하여 무인기 안전성 확보의 기술 기준으로 적용한다면, 무인기 안전성을 강화하고, 비의도적 전파 방해 및 교란에 따른 무인기의 강건성을 크게 확보할 수 있을 것으로 기대할 수 있을 것이다.

4-2 보완적 무인기 측위 장치 추가 적용

위성항법 시스템의 근원적 위협으로 인해 국제민간항공기구 (ICAO; International Civil Aviation Organization)는 기존의 위성항법 시스템에 지상기반 또는 정지궤도 위성과 같은 위성 기반의 일정한 위치의 기준국을 의사위성으로 이용하는 위성항법보정 시스템의 사용을 권고, 보급 중에 있다. 국내에서는 중/고고도 무인기 및 정지궤도의 통신/기상위성을 의사위성 (Pseudolite)으로 활용하는 국지적 위성항법 보정시스템의 다양한 연구가 진행 중에 있다. 이러한 SBAS (satellite based augmentation system) 이용한 정확도 보완 측위 시스템은 미국의 WASS (wide area aug. system), 유럽의 EGNOS (European geostationary nav. overlay service), 일본의 MSAS (MTSAT satellite aug. system) 등 전 세계적으로 구현 중에 있으며, 국내에서도 KASS (Korea aug. satellite system)을 연구개발하고 있다 [13].

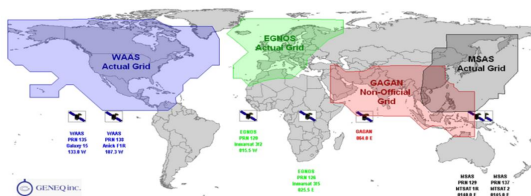


그림 8. SBAS 구축현황
Fig. 8. Regional SBAS Implementation.

무인항공기 개발 시 이러한 보완적 측위 시스템을 적용하거나 무인기 운용지역에 따라 교체/적용할 수 있도록 위성항법 수신기와 SBAS 수신기를 모듈화 개발하여 적용한다면, 무인기의 위성항법 시스템 적용의 강건성 확보뿐만 아니라, 유인기 및 민간항공기와 통합된 공역에서 운용하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

4-3 제도적 보완

위성항법 시스템의 전파교란 및 기만에 근원적인 대응을 위해서는 전파교란 및 기만신호를 감시/수집하여 대응방안을 연구하는 것이 필요하다. 이러한 장기적/근원적 대응은 제도적이고 정책적인 적용 없이는 실행하기 어렵다. 이러한 이유로 미국, 영국, 독일 등 많은 국가에서는 위성항법 시스템의 신호를 인터넷 망과 같이 국가기간정보로 간주하여 위성항법 시스템 신호의 가용성 및 무결성을 감시/판별 DB화하고, 다양한 위협에 즉각적으로 대응할 수 있는 체계를 연구, 구축하고 있으나, 국내에는 이러한 노력 및 연구가 부족한 실정이다.

따라서 단기적으로는 위성항법 시스템 신호의 무결성을 감시/판별/통제하는 시스템을 구축하는 동시에 KASS와 같이 국내에서 독자적으로 사용할 수 있는 위성항법 보정시스템의 조기 구축 및 일본의 MSAS와의 상호 보완적 사용을 추진하고, 장기적으로는 GPS와 같은 독자적인 국지적 위성항법시스템 (local GNSS)의 개발/구축을 추진해야 할 것을 제안한다.

V. 결 론

위성항법시스템은 위성을 이용하여 측위정보를 불특정다수에게 동시 제공하는 서비스 형태로 인해 전파방해 및 기만신호 등 신호의 무결성에 근본적인 취약성을 지니고 있다.

조종사가 탑승하지 않고 자동이착륙 및 자동 항법/경로 비행을 통해 임무를 수행하는 무인항공기 시스템은 무인기에 입력되는 측위정보가 위성항법시스템의 전파방해 또는 기만신호를 통해 오작동을 할 경우 시계 비행 등의 즉각적인 대응이 불가능한 이유로 이러한 위협이 추락에 준하는 사고 및 대량 피해로 연결될 가능성이 매우 크다.

그러나 항재밍, 항기만에 대응하는 위성항법 장비 기술들은 주로 외국에서 개발/제품화 되어 있어, 기술 및 제품 도입을 위해서는 MTCR (missile technology control regime), EL (export license) 등의 많은 제약 조건으로 기술도입 및 제품구현에 큰 어려움이 있으며, 기만신호에 대응하기 위한 암호화된 군용 위성항법 시스템 적용은 중국, 일본 등 국지적 대응항법체계의 구축을 통한 전용 위성항법체계 없이는 적용에 한계를 가지고 있다.

이러한 위협에 대응, 안전성이 강화된 무인항공기 개발을 위해서 단기적으로는 항재밍/항기만 기능이 있는 위성항법 수신안테나 및 수신시스템 적용을 무인기 기술기준화 적용하고,

SBAS로 대표되는 보완적 무인기 측위 시스템 개발 및 적용을 추진하며, 장기적으로 독자적인 국지적 위성항법시스템 구축을 추진한다면, 무인항공기의 비행안전성을 확보하고, 나아가 유/무인기가 통합된 공역에서 운용될 수 있는 기반을 마련할 수 있으리라 기대한다.

참고 문헌

- [1] H. S. Kim, and Y. E. Choe, etc, "A study on the repeat-back jamming effects of GPS L1 C/A signal through a field experiments," Korea Institute of Communication and Information Sciences Jeju: Korea, pp. 283-284, Jun. 2016.
- [2] K.Y. Kim, "Analysis of anti-jamming techniques for satellite navigation systems," *Journal of Korea Institute of Communication and Information Sciences*, Vol 38C. No.12, pp. 1216-1227, Dec. 2013
- [3] war-room, "There are no control towers for GPS jamming response in South Korea," DEFENSE 21+ [Internet]. Available: <http://plug.hani.co.kr/kimNpark/99691>
- [4] Navcours corp - Homepage/Techniques [Internet]. Available: http://www.navcours.com/tech/tech_0201.asp
- [5] Network RTK system / GNSS System, SEOUL Metropolitan Gov. [Internet]. Available: <http://gnss.seoul.go.kr/intro/intro1.php>
- [6] M. W. Choi, S. K. Yu, and 4-Authors, "Regional alternative navigation using HALE UAV, pseudolite & transceiver," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 19, No. 6, pp.499-506, Dec. 2015.
- [7] Alexander Rugamer, Dir Kowalewski, "Jamming and spoofing of GNSS signals - an underestimated risk?!", FIG Working Week, From the Wisdom of the Age to the Challenges of Modern World, Sofia-Bulgaria, May 2015.
- [8] C. S. Shin, "Technical trend of GPS signal interference," *TTA Journal*, Vol. 149, pp. 92-99, TTA Standard Committee, Sept. 2013.
- [9] Villanova Univ., Anti-jamming techniques for GPS receivers, Air Force Research Lab., Technical Report, AFRL-IF-RS-TR-2001-186, US, 2001.
- [10] D. S. Lee, and S. B. Joo, The studies of new security challenge-Vol188, Institute for National Security Strategy, pp 61-81, Aug. 2016
- [11] Premium Chosun, "UAS for ROK military forces," [Internet], Available: http://premium.chosun.com/site/data/html_dir/2016/07/13/2016071301107.html
- [12] S. U. Lee, C. S. Sin, and M. H. You, "Conceptual design analysis satellite communication system for KASS," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 20, No. 1, pp. 8-14, Feb. 2016.



박 제 홍 (Jehong PARK)

2002년 8월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)

2009년 8월 : 한국항공대학교 항공우주기계공학과 (공학박사)

2003년 12월 ~ 현재 : 대한항공 항공우주사업본부 항공기술연구원

※ 관심분야 : 체계공학, 무인기시스템, 우주시스템, 체계안전, 감항인증, 위성항법/통신 및 기술현황분석