THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2026 October; 37(10), 972～977.

https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2026.37.10.972
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

드론 전자전 환경에서의 GPS 재밍 취약성 및 교전 비용 비대칭성 분석에 기반한 유형별 계층적 전자기 방어 체계 설계

GPS Jamming Vulnerability and Cost Asymmetry Analysis in Drone Electronic Warfare Environments: Design of a Type-Differentiated Layered Electromagnetic Defense Framework

김 선 웅

Seon Woong Kim

요 약

드론 전력과 전자전(EW)이 결합된 최근의 국가 간 충돌 사례는 전자기 방어 체계 연구에 중요한 시사점을 제공한다. GPS 재밍·스푸핑 기법을 드론 유형별로 분석한 결과, GPS 의존 드론은 재밍·스푸핑에 취약한 반면 광섬유 조종 FPV 드론은 RF 기반 소프트킬 수단으로 대응이 원천적으로 불가능한 것으로 나타났다. 재밍 대상이 상공의 무인기라는 점을 반영하여 사거리(slant range) 기준으로 GPS 재밍 대 신호 비율(J/S)을 재계산한 결과, 기존 수평거리 기준 계산이 근거리에서 J/S를 최대 약 17.7 dB 과대평가하고 있었음을 확인하였다. 민간·군용 수신기의 항재밍 마진 차이를 반영하면, 군용 등급의 기추적(旣追跡) 수신기에 대한 소프트킬의 손익분기 교전거리는 약 84.9 km로 산출된다. 방산 분야 비용 교환 비율 개념을 확장한 교전 비용 비율(CAR)을 이 손익분기거리와 연계하면, CAR은 근거리에서 약 0.05～0.23, 원거리에서 33 이상으로 급격히 전환된다. 이러한 J/S·CAR 분석을 종합하여 드론 유형별(GPS 의존, RF C2 의존, 광섬유 FPV, 자율 AI) 대응전략 매트릭스를 제시하고, 소프트킬과 하드킬을 유형별로 이원화하는 계층적 전자기 방어 체계 설계 방향을 제안한다. 이상의 결과는 공개 자료와 이론적 모델에 근거한 잠정치로서 실제 야전 검증을 필요로 한다.

Abstract

Recent state-on-state conflicts that combine large-scale drone operations with electronic warfare (EW) offer important insights into electromagnetic (EM) defense research. Analysis of GPS jamming and spoofing techniques by drone type shows that GPS-dependent drones remain vulnerable, whereas fiber-optic-controlled FPV drones are structurally immune to RF-based soft kill. Recalculating the jamming-to-signal ratio (J/S) using the slant range, which indicates that the target is airborne, shows that the original horizontal-distance calculation overestimated J/S by up to approximately 17.7 dB in the short range. Accounting for literature-based anti-jamming margins for civilian- and military-grade receivers, the breakeven engagement range at which soft-kill measures cease to be effective against a military-grade receiver already in tracking mode is estimated to be approximately 84.9 km. Linking the cost asymmetry ratio (CAR), an extension of the defense cost exchange ratio concept, to this breakeven range shows CAR shifting sharply from approximately 0.05～0.23 at shorter ranges to over 33 beyond it. Synthesizing these findings, this study presents a counter-drone strategy matrix differentiated by drone type (GPS-dependent, RF C2-dependent, fiber-optic FPV, and autonomous AI) and proposes a layered EM defense framework that separates soft-kill and hard-kill tiers accordingly. Because these findings were derived from open-source data and theoretical modeling, they remain tentative pending field validation.

Key words: GPS Jamming, Jamming-to-Signal Ratio, Drone Electronic Warfare, Layered EM defense, Cost Asymmetry Ratio

육군 제8375부대 1대대(1st Battalion, Unit 8375, Republic of Korea Army)

· Manuscript received June 19, 2026 ; Revised July 23, 2026 ; Accepted August 30, 2026. (ID No. 20260619-012S)

· Corresponding Author: Seon Woong Kim (e-mail: ksoiuu@hanmail.net)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ⅰ. 서 론

2026년 2월 개시된 미·이란 간 무력충돌 이후 페르시아만 일대에서는 GPS 재밍·스푸핑으로 인한 항법 장애가 다수의 독립 언론을 통해 보고되었으며, 그 영향은 상선·민항기뿐 아니라 드론·미사일 유도체계에까지 미친 것으로 파악된다[1],[2]. 이란제 드론을 역설계한 미국의 LUCAS 드론 운용 사례와 관련하여 이란의 위성항법 교란 능력이 제한적이라는 전문가 평가도 보도된 바 있다[3]. 이란측은 2011년 RQ-170 무인기 사건에서도 GPS 스푸핑을 주장한 바 있으나, 당시 미측 관계자와 전문가들은 이에 회의적인 입장을 밝혔다[4]. 본 논문은 이러한 신뢰도 차이를 서술 전반에서 구분하여 다룬다.

이러한 사례를 다루는 기존의 기술적·경제적 분석에는 세 가지 단순화가 공통적으로 나타난다. 첫째, 지상 재머와 공중 표적 간 거리를 수평거리로 계산하는 경우가 많은데, 표적이 고고도에서 운용되는 무인기라면 이는 실제 전파경로(사거리)를 과소평가한다. 둘째, GPS 재밍의 성공 여부를 단일 J/S 임계값으로 이분법적으로 판정하는 경우가 많은데, 실제로는 신호 유형과 수신 단계에 따라 임계값이 다르다. 셋째, 방어 수단 간 비용을 “고가 요격체 대 저가 드론”이라는 정적 비율로 비교하는 경우가 많은데, 이는 교전 조건에 따른 변화를 반영하지 못한다.

이란측은 이 충돌에서 대당 수천 달러의 소모성 드론을 대량 투사하여 고가 방공자산의 대응 부담을 가중시키는 전술을 구사한 것으로 보도되며, 이는 드론의 소모성 전투물자화와 전자전 역량의 중요성 증대를 지적한 선행연구와 부합한다[5],[6]. 아울러 광섬유 조종 FPV 드론과 같이 기존 소프트킬 수단으로 대응이 불가능한 위협도 함께 대두되고 있다[6]. GPS 스푸핑의 기술적 실현 가능성 자체는 참고문헌 [7]에 의해 2008년 이미 실증된 바 있다.

이에 본 논문은 앞서 언급한 세 가지 단순화를 바로잡아 다음 두 가지 기술적 기여를 제시한다. 첫째, GPS 재밍의 J/S를 사거리 기준으로 재계산하고, 민간·군용 수신기의 항재밍 마진 차이를 반영하여 소프트킬의 손익분기 교전거리를 산출한다. 둘째, 방산 분야의 비용 교환 비율 개념[8]을 확장한 교전 비용 비율(CAR)을 이 손익분기거리와 연계하여, 정적 비율이 아닌 구간별 값으로 제시한다.

Ⅱ. 2026년 미·이란 전쟁 드론 전자전 사례 분석

2-1 이란의 전자전 전략 개요

이란이 이번 충돌에서 활용한 것으로 보도된 전자전 기법은 크게 두 가지로 구분된다. 첫째, GPS L1(1,575.42 MHz)/L2(1,227.60 MHz) 대역에 간섭 신호를 송출하는 재밍이다. 둘째, 위조 GPS 신호를 주입해 무인기를 의도된 경로로 이탈시키는 스푸핑으로, 그 기술적 실현 가능성은 앞서 언급한 바와 같이 참고문헌 [7]에 의해 실증된 바 있다. 이러한 기법의 특성과 드론 유형별 대응 효과를 표 1에 정리하였다.

2-2 GPS 재밍 효과의 수치 분석

GPS 재밍의 이론적 유효 조건을 검토하기 위해, 재밍대 신호 비율(J/S)을 식 (1)로 계산하였다[9].

$$\frac{J}{S}(dB) = ERP_J(dBm) + G_r(dBi) - FSPL(d,f) - P_s(dBm) \quad (1)$$

표 1. 전자전 기법별 드론 유형 대응 효과 분석
Table 1. Analysis of EW technique effectiveness by drone type.

Technique	Target frequency	Applicable drone type	Expected effect	Countermeasure (proposed)
GPS jamming	L1 1,575 MHz/ L2 1,228 MHz	GPS-dependent drones	Navigation disruption	INS-integrated navigation
GPS spoofing	L1 1,575 MHz	GPS-dependent drones	Induced route deviation	Multi-antenna verification[7]
RF C2 jamming	C2 link spectrum	RF-dependent drones	Command-and-control link denial	FHSS[9],[10]
RF jamming	Broad RF spectrum	Fiber-optic FPV drones	No significant effect	Hard-kill measures required

$$FSPL(dB) = 32.44 + 20\log_{10}(d_{km}) + 20\log_{10}(f_{MHz}) \quad (2)$$

P_J=10 W, G_J=6 dBi, G_r=0 dBi를 가정하며, P_S ≈ −130 dBm은 민간용 GPS L1 C/A 수신기의 지상 최소 명세 수신 수준이다[7].

재밍 대상의 경우 지상 표적이 아니라 상공을 비행하는 무인기이므로, 식 (2)의 거리 d는 지상 재머와 표적 간 수평거리가 아니라 실제 전파 경로인 사거리(slant range)로 계산되어야 한다. MQ-9 계열 MALE급 무인기의 공식 제원상 최대 운용고도는 약 50,000 ft(15.2 km)이며[11], 본 분석에서는 MALE급 분류의 중고도 대푯값으로 고도 h=25,000 ft(7.62 km)를 가정한다(특정 임무고도를 단정하는 것이 아닌 예시적 가정임을 명시). 재머의 지상 수평거리를 d_h라 하면 사거리 d_slant=√(d_h² + h²)이다.

한편, 재밍 판정에 보편적으로 합의된 단일 J/S 임계값은 존재하지 않으며, 신호 유형(민간 C/A 대 암호화 P(Y)/M-code)과 수신 단계(신규 포착 대 기추적 유지)에 따라 임계값이 달라진다[12]. 실제 군용 수신기(DAGR) 사례에 따르면 민간 L1 C/A 포착 임계값은 약 24 dB, 군용 P(Y) 포착 임계값은 약 34 dB, P(Y) 기추적 유지 임계값은 약 41 dB로 보고된다[13]. 두 요소를 함께 반영한 결과가 표 2이다.

사거리로 재계산한 결과, 근거리(1 km)에서는 고도가 사거리를 지배하여 기존 수평거리 기준 계산 대비 J/S가 약 17.7 dB 낮아졌으며, 원거리(50～100 km)에서는 고도의 영향이 미미해 변화가 크지 않았다. 식 (1) 및 식 (2)를 각 임계값에 대해 등호로 풀면 재밍 성공 조건이 소멸하는 손익분기 수평거리를 산출할 수 있다. 민간 L1 C/A 포착 기준(24 dB)의 손익분기거리는 약 604 km, 군용 P(Y) 포착 기준(34 dB)은 약 191 km로, 본 논문이 검토하는 100 km 이내 전술 범위에서는 항상 재밍조건이 유지된다. 반면 군용 P(Y) 기추적 유지 기준(41 dB)의 손익분기 수평거리는 약 84.9 km이며, 이 지점을 넘어서는 원거리 교전에서는 이미 추적 중인 군용 등급 수신기에 대한 소프트킬 실효성이 소멸한다. 이 손익분기거리는 3-1절의 CAR 분석에 다시 활용된다.

다만 본 분석에는 두 가지 한계가 있다. 해당 무인기의 실제 수신기 등급은 공개 자료로 확정할 수 없어 위 비교는 예시적 성격을 가지며, 임계값 모델 자체도 이산적(계단형)이어서 실제 전이는 문턱값 부근에서 완만하게 나타날 것으로 예상된다. 또한 자유공간 조건을 가정하여 지면반사·다중경로는 반영하지 못하였다. 이 고도·주파수 조건에서는 그레이징각이 극히 작아 반사파 모델링에 정확한 안테나 고도 등 추가 가정이 필요하며, 오히려 불확실성을 키울 위험이 있어 포함하지 않았다.

2-3 광섬유 FPV 드론의 등장과 소프트킬 한계

2-2절의 재계산은 GPS 재밍의 유효성이 거리와 수신기 등급에 따라 달라짐을 보여준다. 그러나 이러한 조건과 무관하게 소프트킬 수단 자체가 통하지 않는 위협도 존재한다. 광섬유 케이블로 조종되는 FPV 자폭 드론이 그것으로, 이 드론은 RF 명령 링크 대신 광섬유로 제어 신호와 영상을 전송하므로 GPS·RF 재밍 등 소프트킬 수단으로는 원리적으로 대응이 불가능하다[6]. 이러한 구조적

표 2. 수평거리별 사거리·J/S 및 수신기 등급별 임계값 비교
Table 2. Comparison of slant range, J/S ratio, and receiver grade thresholds by horizontal distance.

Horizontal distance (km)	Slant range (km)	Elevation angle (°)	J/S (dB)	Civilian acquisition (24 dB)	Military acquisition (34 dB)	Military tracking (41 dB)
1	7.69	82.5	61.9	Exceeds	Exceeds	Exceeds
5	9.11	56.7	60.4	Exceeds	Exceeds	Exceeds
10	12.57	37.3	57.6	Exceeds	Exceeds	Exceeds
20	21.40	20.9	53.0	Exceeds	Exceeds	Exceeds
50	50.58	8.7	45.5	Exceeds	Exceeds	Exceeds
100	100.29	4.4	39.6	Exceeds	Exceeds	Below threshold

P_J=10 W, G_J=6 dBi, P_S=−130 dBm, free-space propagation, f=1,575.42 MHz, h=7.62 km.

특성은 소프트킬 단층 방어체계의 한계를 보여주며, 하드킬 능력의 병행 유지가 필요함을 시사한다. 러시아-우크라이나 전쟁에서는 이러한 드론의 실전 활용이 이미 확인된 바 있으며[14], 언론 보도에 따르면 이번 충돌에서도 유사한 방식이 활용된 것으로 추정된다.

Ⅲ. 전자기 방어 교훈 및 비용 비대칭성 분석

3-1 교전 비용 비율(CAR) 분석

Ⅱ장의 J/S 분석은 GPS 재밍의 기술적 유효성이 거리와 수신기 등급에 따라 달라짐을 보였다. 이러한 기술적 유효성이 방어 수단의 선택으로 이어지려면 비용 측면의 비교가 함께 필요하다. 방어 수단 간 비용 비교는 방산 분야에서 '비용 교환 비율(cost exchange ratio)'로 논의되어 왔다[8]. 다만 이러한 단순 비교는 유용하지만 오도될 수 있다는 지적도 있다. 예컨대 "수백만 달러 요격미사일 대 수천 달러 드론"식의 대비는 직관적이나 교전의 복잡성과 방어체계 전체의 가치를 간과할 위험이 있다는 것이 최근 정책분석 문헌에서 지적되었다[15]. 이러한 한계를 고려하면서, 본 논문은 RF 재밍·지향성 에너지를 포괄한 단일 지표로 확장하여 교전 비용 비율(CAR, cost asymmetry ratio)을 식 (3)으로 정의한다.

$$CAR = \frac{C_{\text{intercept}}}{C_{\text{drone}}} \tag{3}$$

여기서 C_intercept는 방어 측의 1회 교전 비용, C_drone은 공격 드론 단가이다. CAR<1이면 방어 측이 비용 측면에서 유리하고, CAR>1이면 불리한 것으로 해석한다.

운동에너지 요격체의 대드론 교전 비용은 미 국방부 획득·군수차관이 2024년 공개 발언한 바에 따르면 발당 $100,000를 상회한다[16]. RF 재밍 소프트킬의 경우 전술급 장비 단가가 대략 $50,000～300,000 범위로 파악되며[8], 수명 5년·연 100회 교전을 가정한 분할상각비($100～600)에 전력·운용비($50～100)를 더해 교전당 약 $150～700로 추산한다. 이 추산치는 정비(PBL)·인력 양성 비용을 포함하지 않아, 이를 반영하면 실제 CAR은 방어 측에 더 불리해질 수 있다. 표 3은 방어 수단별 CAR 비교이다.

표 3의 CAR은 재밍이 항상 성공한다고 가정한 정적 값으로, 2-2절에서 확인한 거리별 재밍 유효성의 차이를 반영하지 못한다. 앞서 산출한 손익분기 수평거리(약 84.9 km, 군용 기추적 기준)를 CAR에 대입하면, 교전 거리에 따라 다음과 같이 구간화된 CAR_eff를 얻을 수 있다.

$$CAR_{eff}(d_h) = \begin{cases} CAR_{RF} \approx 0.05 - 0.23, & d_h \lesssim 85 \text{ km} \\ \text{CAR}_{\text{kinetic}} \approx 33+, & \text{d}_\text{h} \gtrsim 85 \text{ km} \end{cases} \tag{4}$$

즉 85 km 이내에서는 RF 재밍의 비용 우위가 유지되지만, 이를 넘어서는 원거리 교전에서는 재밍 자체가 실효를 잃으면서 CAR도 운동에너지 요격체 수준으로 뛰어오른다. 이는 이산적 임계값 모델에 기반한 결과이므로 실제로는 문턱값 부근에서 완만한 전이가 나타날 가능성이 높으며, RF 재밍

표 3. 방어 수단별 교전 비용 비율(CAR) 비교(추산)
Table 3. Estimated cost asymmetry ratio (CAR) by intercept method.

Defense measure	Estimated engagement cost	Drone unit cost (shahed)	CAR	Cost advantage	Key limitation
Kinetic interceptor	~$100,000+[16]	~$3,000	~33+	Defender disadvantage	-
Directed energy (laser)[8]	~$2～5	~$3,000	~0.001	Defender advantage	Weather and capacity limitations
RF jamming (soft-kill)	~$150～700§	~$3,000	~0.05～0.23	Defender advantage	Ineffective against fiber-optic FPV drones
RF jamming vs. fiber-optic FPV	~$150～700	~$3,000	-	No effect	Hard-kill required

Estimated on an amortized per-engagement basis; actual costs may vary depending on the equipment acquisition and deployment model.
§ Maintenance (PBL) and personnel training costs are excluded. The actual CAR may therefore be less favorable to the defender.

비용 추산치 자체도 문헌 기반 개략치에 머문다. 재밍의 거리별 유효성과 비용을 하나의 지표로 연결한 것은 정적 비율로 다루어 온 기존 비용 교환 비율 논의와 다른 점이다.

3-2 드론 유형별 대응 전략 매트릭스

표 1의 기법별 대응 효과와 3-1절의 CAR_eff를 종합하면, 드론 유형에 따라 최적 대응 수단이 상이함을 알 수 있다. 표 4는 이를 드론 유형별 대응 전략 매트릭스로 정리한 것이다. GPS·RF C2 의존 드론에는 소프트킬이 비용 효과적 1차 수단이 될 수 있는 반면, 광섬유 FPV 드론 및 GPS 비의존 자율 드론에는 하드킬이 필수적인 것으로 판단된다[6],[8].

3-3 계층적 전자기 방어 체계 설계 방향

표 4의 대응 전략을 실제 방어체계로 구현하려면, 단일 수단이 아니라 드론 유형에 따라 소프트킬과 하드킬을 이원화하는 계층적 구조가 필요하다. 그림 1은 이를 도식화한 것으로, RF 의존 드론은 CAR 우위의 소프트킬 계층이 1차 방어를 담당하고, 광섬유 FPV·자율 드론은 하드킬 계층이 필수적으로 유지되는 구조를 나타낸다.

소프트킬 계층의 실효성은 FHSS 기반 선택적 재밍[9],[10]이나 멀티 안테나 기반 스푸핑 탐지[7] 같은 기술로 더 높일 수 있으나, 이러한 기술의 야전 검증 사례는 아직 제한적이어서 후속 연구과제로 남는다.

Ⅳ. 결 론

본 논문은 드론 전자전 관련 선행 분석에 흔히 나타나

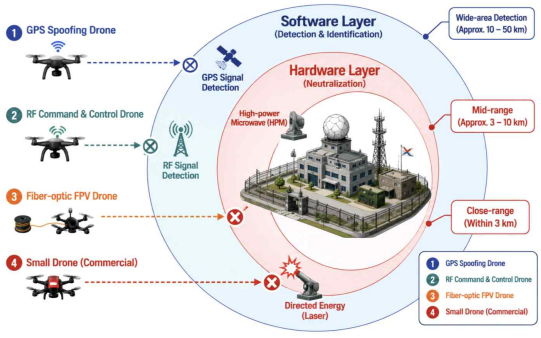


그림 1. 드론 유형별 계층적 전자기 방어 체계 개념도
Fig. 1. Conceptual layered EM defense framework differentiated by drone type.

는 세 가지 단순화—공중 표적에 대한 수평거리 기준 거리 계산, 재밍 판정의 이분법적 임계값 설정, 방어 수단 간 정적 비용 비교—를 바로잡았다.

거리 계산에서는, 재밍 대상이 상공의 무인기임을 반영해 사거리로 재계산한 결과 근거리에서 기존 수평거리 기준 계산이 J/S를 최대 약 17.7 dB 과대평가하고 있었음을 확인하였다. 임계값 판정에서는, 문헌 기반 3단계 임계값(민간 포착·군용 포착·군용 기추적)을 적용한 결과 민간용 수신기 기준으로는 검토 범위(100 km) 전역에서 재밍조건이 성립하나, 군용 등급 기추적 수신기의 손익분기 교전거리는 약 84.9 km로 산출되어 이를 넘어서는 원거리 교전에서는 재밍이 실효성을 잃는 것으로 나타났다. 비용 비교에서는, 이 손익분기거리를 CAR에 대입한 결과 CAR이 근거리 약 0.05~0.23에서 원거리 33 이상으로 전환됨을 정량화하였다. 광섬유 FPV 드론에는 거리와 무관하게 소프트킬이 원천적으로 무효하다.

표 4. 드론 유형별 대응 전략 매트릭스
Table 4. Counter-drone strategy matrix by drone type.

Drone type	Key Characteristics	GPS jamming	RF jamming	Directed energy	Kinetic energy	Recommendation
GPS-dependent drone	GPS-based navigation	✓	△	✓	✓	Soft-kill
RF C2-dependent drone	RF command- nd-control link	△	✓	✓	✓	Soft-kill
Fiber-optic FPV drone	Fiber-optic control link	✗	✗	✓	✓	Hard-kill
Autonomous AI drone	Independent of GPS/RF links	✗	✗	△	✓	Hard-kill

이 세 가지 결과를 종합하여 드론 유형별 대응전략 매트릭스와 계층적 전자기 방어 체계 설계 방향을 제시하였다. 다만 이상의 결과는 공개 보도와 이론적 모델(이산적 임계값 가정 포함)에 근거한 잠정치이며, 실제 야전 검증과 공식 방산 조달 자료를 활용한 비용 분석으로 보완될 필요가 있다.

References

[1] K. Hunt, "GPS jamming is emerging as an increasingly prevalent – and troubling – weapon of war," CNN, Mar. 7, 2026. Available: https://edition.cnn.com/2026/03/06/science/gps-jamming-ships-planes-iran-war

[2] CNBC, "Electronic warfare in the Persian Gulf: How GPS interference is disrupting the Middle East," 2026. Available: https://www.cnbc.com/2026/03/26/how-gps-interference-is-disrupting-the-middle-east.html

[3] Y. Kang, “U.S. drone reverse-engineered from Iranian drone plays major role in attacks on Iran,” Newsis, Apr. 2, 2026 (in Korean). Available: https://www.newsis.com/view/NISX20260402_0003574572

[4] Fox News, "Iran hijacked spy drone with GPS hack? ‘Ridiculous,’ official says," 2011. Available: https://www.foxnews.com/tech/iran-hijacked-spy-drone-with-gps-hack-ridiculous-official-says

[5] Z. Kallenborn, P. C. Bleek, "Swarming destruction: Drone swarms and chemical, biological, radiological, and nuclear weapons," *The Nonproliferation Review*, vol. 25, no. 5-6, pp. 523-543, Jan. 2019.

[6] S. Park, H. T. Kim, S. Lee, H. Joo, and H. Kim, "Survey on anti-drone systems: Components, designs, and challenges," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 42635-42659, 2021.

[7] T. E. Humphreys, B. M. Ledvina, M. L. Psiaki, B. W. O’Hanlon, and P. M. Kintner, "Assessing the spoofing threat: Development of a portable GPS civilian spoofer," in *Proceedings of the ION GNSS 2008*, Savannah, GA, 2008, pp. 2314-2325.

[8] Congressional Research Service, "Department of defense counter unmanned aircraft systems: Background and issues for Congress," CRS Report R48477, Mar. 2025.

[9] D. Torrieri, Principles of spread-spectrum communication systems, 4th ed. Cham, Springer, 2018.

[10] R. L. Pickholtz, D. Schilling, and L. Milstein, "Theory of spread-spectrum communications: A tutorial," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 30, no. 5, pp. 855-884, May 1982.

[11] General Atomics Aeronautical Systems, Inc., "MQ-9A Reaper (Predator B)," 2026. Available: https://www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/mq-9a

[12] A. Kriezis, Y. H. Chen, D. Akos, S. Lo, and T. Walter, "GNSS jamming and spoofing monitoring using low-cost COTS receivers," *arXiv* preprint, arXiv:2509.13600, Jul. 2026.

[13] G. T. Schmidt, "Navigation sensors and systems in GNSS degraded and denied environments," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 28, no. 1, pp. 1-10, Feb. 2015.

[14] J. Watling, N. Reynolds, "Meatgrinder: Russian tactics in the second year of its invasion of Ukraine," Royal United Services Institute (RUSI) Special Report, May 2023.

[15] W. Rumbaugh, Center for Strategic and International Studies (CSIS), "Cost and value in air and missile defense intercepts," 2024. Available: https://www.csis.org/analysis/cost-and-value-air-and-missile-defense-intercepts

[16] N. Slayton, "US needs cheaper ways to shoot down drones, Pentagon acquisition chief says," 2024. Available: https://taskandpurpose.com/tech-tactics/counter-drone-weapons-cost/

김 선 웅 [육군 제8375부대 1대대/중령]

https://orcid.org/0009-0008-3551-4999



2024년 2월: 한국항공대학교 우주법 전공 (법학석사)

2026년 2월: 대전대학교 군사학과 (군사학 박사)

2025년 12월～현재: 육군 제8375부대 1대대 중령

[주 관심분야] GPS 재밍, 전자전, 계층적 전자기 방어, PQC 등