

Pull-Off 기만 재밍 신호에 대한 레이다 대응기법 및 효과 분석

장성훈^{*1)} · 김선주²⁾

¹⁾ 국방과학연구소 국방첨단기술연구원

²⁾ 국방과학연구소 제3기술연구본부

Radar Countermeasure and Effect Analysis for the Pull-Off Deceptive Jamming Signal

Sunghoon Jang^{*1)} · Seonjoo Kim²⁾

¹⁾ *Advanced Defense Technology Research Institute, Agency for Defense Development, Korea*

²⁾ *The 3rd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 4 February 2020 / Revised 6 May 2020 / Accepted 22 May 2020)

Abstract

This paper presents the radar counter jamming algorithm and ground far-field test results for the pull-off deceptive jamming signals like RGPO(Range Gate Pull Off) and VGPO(Velocity Gate Pull Off). We designed the radar counter jamming algorithm according to the characteristics of the deceptive jamming signals. This algorithm is validated by simulation before ground far-field test. The existing X-band AESA radar demonstrator was used to test the proposed algorithm. The proposed algorithm was applied to the radar processor software. The deceptive jamming signals generated using the commercial jamming signal generator. We performed the repeated ground far-field test with the test scenario. Test results show that the proposed counter deceptive jamming algorithm works in the real radar system.

Key Words : Deceptive Jamming(기만 재밍), AESA Radar(능동위상배열 레이다), Ground Test(지상 시험), RGPO(거리 게이트 Pull-Off), VGPO(속도 게이트 Pull-Off)

1. 서론

현대전에서는 레이다의 표적 탐지 및 추적 기능을 열화시키기 위한 다양한 재밍 신호가 사용되고 있다. 레

이다를 재밍하는 방법은 크게 잡음 재밍(noise jamming)과 기만 재밍(deceptive jamming)으로 구분할 수 있다. 일반적으로 잡음 재밍은 레이다에서 수신하는 잡음 레벨을 높여 표적 신호에 대한 탐지 성능을 열화시키는 목적으로 사용한다. 기만 재밍은 표적이 자신을 차폐(self-screening)하기 위해 레이다의 표적 추적 기능을 교란시켜 추적오차를 높이고, 추적 실패를 유도하기

* Corresponding author, E-mail: jangsh@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

위해 사용된다. 즉 표적이 생존하기 위해서는 레이더가 안정적인 표적 추적상태에서 무장 발사를 수행하기 전에 기만 재밍을 수행하여야 한다.

일반적으로 기만 재밍을 위해 DRFM(Digital Radio Frequency Memory)을 사용한다. DRFM은 수신한 레이더 신호를 이용하여 거리 또는 속도 기만 신호를 생성하고 레이더로 다시 송신한다^{11,12}. 레이더는 안정적인 표적 추적 상태를 유지하고 무장 발사의 정확도를 높이기 위해, 기만 재밍 신호의 효과를 감소시키는 대응 기법이 반드시 필요하다.

Gate Pull-Off 재밍 신호에 대응하는 방법은 Leading Edge Tracking(LET) 기법이 알려져 있다⁷. LET 기법은 거리가 멀어지고 있는 RGPO(Range Gate Pull Off) 재밍 신호 대신에, 앞에 있는 표적 신호의 edge를 추적하는 방법이다. LET 기법은 RGPO 재밍 신호에는 대응 효과가 있으나, RGPI(Range Gate Pull In)과 같은 거리가 가까워지는 재밍 신호에는 대응하지 못하는 단점이 있다. 또한 다수 표적 동시 추적을 수행해야 하는 AESA(Active Electronically Scanning Array) 레이더의 추적 필터에는 적용하기 어렵다.

본 논문에서는 Pull Off 기만 재밍 신호 중에서 거리 기만 RGPO 및 속도 기만 VGPO(Velocity Gate Pull Off) 신호에 대한 능동위상배열(AESA) 레이더의 대응 기법을 기술하였다. 거리 및 속도 기만 재밍 신호에 대한 레이더 대응 기법을 개념적으로 제시하고 시뮬레이션으로 레이더 대응 효과를 분석하였다. 모의표적 및 재밍 신호 발생장치를 이용한 레이더 실제 방사 시험을 통해 구현한 레이더 재밍 대응 기법이 정상 동작함을 확인하였다.

2. Pull-Off 기만 재밍

2.1 RGPO 재밍

RGPO 기술은 실제 표적과 상대적 거리 반대 방향으로 이동하는 허위 표적(False Target)을 생성하는 기만 재밍 방법이다. 생성된 허위 표적은 레이더 추적 필터를 기만하여 기존 추적중인 표적을 소실하도록 유도한다. 허위 표적 기동은 프로그램에 의해 다양하게 설정할 수 있다. RGPO 설정 프로그램은 Fig. 1과 같이 한 개 이상의 거리 등식(range equation)으로 구성될 수 있다^{13,14}.

초기 허위 표적은 range gate를 획득하기 위해 표적

위치에 존재한다(Dwell 단계). 다음으로 표적 위치에서 멀어지면서, range gate를 pull-off 한다(Pull-off 단계). 마지막으로 표적에서 일정 거리 떨어진 위치에서 일정 시간동안 유지한다(Hold 단계).

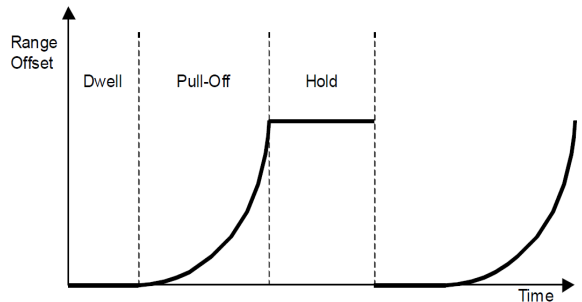


Fig. 1. General RGPO jamming signal scenario

설정된 시나리오의 프로그램이 한번 완료되면, 동일한 시나리오를 반복해서 수행한다. 허위 표적의 지연 시간은 표적 펄스신호가 수신될 때 trigger 된다. 재밍은 수신된 표적 신호를 저장하고, 허위 표적을 형성하기 위해 재송신 한다. 일반적으로 기만 표적 펄스신호의 크기는 실제 표적 신호 크기보다 6 dB 이상 높아야 한다¹¹. 기만 표적 펄스 신호의 위치를 일정하게 변화시켜 클러스터 지역으로 이동시키거나 기만 range에 머물게 한다. 또한 pull-off rate가 레이더 tracking rate를 초과하지 않도록 설계하여야 한다.

2.2 VGPO 재밍

VGPO 기술은 실제 표적과 다른 상대적 속도로 이동하는 허위 표적(False Target)을 생성하는 기만 재밍 방법이다. RGPO 기만과 동일하게 레이더의 추적 필터를 교란하여 기존 표적에 대한 추적을 방해한다. 일반적인 VGPO 및 VGPI(Velocity Gate Pull In) 재밍 신호 시나리오는 Fig. 2와 같다.

초기에 실제 표적 신호의 도플러 주파수와 동일하고 상대적 신호 레벨은 높은 기만 표적 신호를 발생시킨다. 재밍 플랫폼에서 레이더 신호를 수신, 저장, VGPO 기만신호 생성 및 송신하는 순서를 Fig. 3에 나타내었다. VGPO 기만 신호의 도플러 주파수를 Fig. 3과 같이 점차 증가시키면서, 상대 레이더의 도플러 추적 gate를 실제 표적에서 이탈시킨다. VGPO에서는 속도 게이트(velocity gate)를 얼마나 빠르게 당겨오는지가 중요한 고려 요소이다. 전투기 기동에서는 선회(turning)할 때

가장 높은 상대 가속도를 나타낸다. 따라서 속도의 최대 변화율은 대상 표적의 선회율(turning rate)에 의해 결정된다.

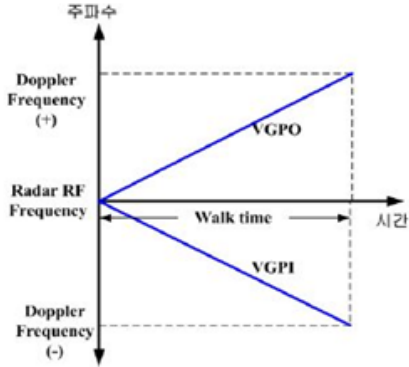


Fig. 2. The velocity deceptive jamming type

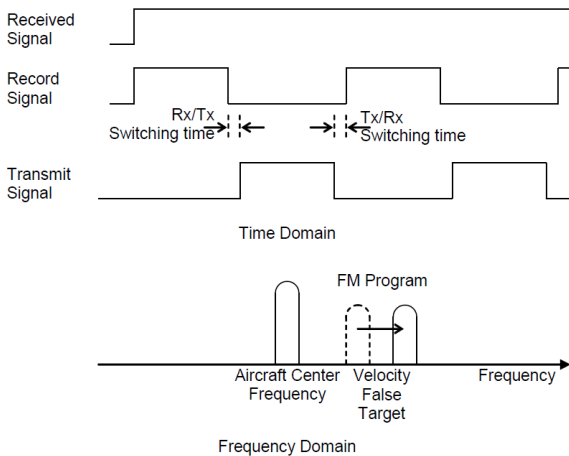


Fig. 3. General concept of the VGPO jamming signal

3. 레이더 기만 재밍 대응

기만 재밍 신호는 레이더를 기만하기 위해 표적 신호보다 높은 전력의 펄스를 사용한다. 레이더는 높은 전력을 가지는 재밍 신호에 대한 탐지를 우선 수행한다. 식 (1)과 같이 레이더에서 수신한 신호 크기의 평균값을 계산한다. 이전 신호대비 크기가 증가했는지 여부를 식 (2)와 같이 판정 기준값 c_1 과 비교하여 판정한다. SNR(Signal to Noise Ratio)은 잡음 대비 신호 크기이고 k 는 average factor 이다^[5,6].

$$\widetilde{SNR}_n = \widetilde{SNR}_{n-1} + k(SNR_n - \widetilde{SNR}_{n-1}) \quad (1)$$

$$\widetilde{SNR}_n / \widetilde{SNR}_{n-1} > c_1 \quad (2)$$

레이더 수신 신호가 이전 신호보다 높아진 경우, 재밍 신호일 수 있지만 재밍 신호가 아닌 표적 신호의 변동에 의한 일시적 현상일 수 있다. 따라서 표적 신호의 일시적 변동이 아닌 재밍 신호에 의한 수신 전력 증가임을 확인할 수 있는 절차가 필요하다.

수신신호 SNR 크기 샘플과 sliding window를 이용하여 Fig. 4와 같이 표적 신호가 아닌 재밍 신호임을 재확인하는 절차를 사용하였다.

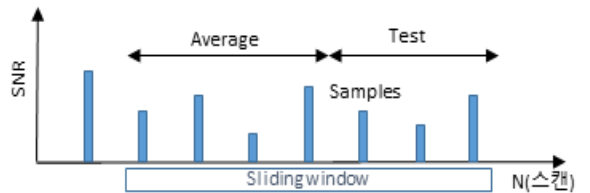


Fig. 4. Example of SNR samples and sliding window for jamming signal confirmation

Fig. 4에 수신 신호 SNR 샘플 7개를 이용하여 sliding window를 구성하는 예를 제시하였다. 식 (3)과 같이 수신 신호의 4개 샘플을 이용하여 평균값(average)을 계산한다. 식 (4)와 같이 이후 획득한 3개 추가 샘플을 이용하여 시험값(test)을 만들고, 기준값 c_1 및 c_2 와 비교하여 일시적 신호 변동 또는 재밍 신호 여부를 재확인한다. [예1] 평균값 5, 기준값(c_2) 3, 5번 샘플 10, 6번 샘플 20, 7번 샘플 12인 경우, 평균값으로 샘플을 나눈값이 기준값보다 큰 경우는 6번 샘플 한 개이므로 식 (4)에 따라 경고신호를 발생시키지 않는다. [예2] 평균값 5, 기준값(c_2) 3, 5번 샘플 16, 6번 샘플 20, 7번 샘플 12인 경우, 평균값으로 샘플을 나눈값이 기준값보다 큰 경우는 5번, 6번 샘플 두 개이므로 경고신호를 발생(JAM ON)한다. 평균값 계산을 위한 수신 신호 샘플 수와 시험값 계산을 위한 추가 샘플 수는 설계에 따라 변경하여 적용할 수 있다(Fig. 5의 ②번 프로세스).

$$\widetilde{SNR}_n = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^3 (SNR_{n-3-i}) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \widehat{SNR}_n / \widehat{SNR}_{n-1} > c_1 \cup \\ & \left(\sum_{i=0}^2 (SNR_{n-i} / \widehat{SNR}_n > c_2) > 1 \right) \end{aligned} \quad (4)$$

상기 확인 절차에 의해 수신 신호 변화가 일시적 변동이 아닌 지속적인 재밍 신호에 의한 변화임을 최종 확인하게 되면 레이다는 경보 신호를 생성한다. Fig. 5와 같이 재밍 신호가 존재한다는 JAM ON 신호를 생성하는 경우 PO(Pull-Off) sign을 설정하고 RGPO/VGPO 필터를 초기화하여 기만재밍 신호에 대응하는 준비를 한다. 레이다가 경보 신호를 생성하지는 않았지만 이전 단계 PO sign이 남아있다면 RGPO/VGPO 필터를 이용한 처리를 수행하고, PO sign이 없다면 다음 루프를 다시 수행한다. 초기에는 PO sign만 있으므로, 기만 재밍 신호가 RGPO 또는 VGPO 인지 확인되지 않은 상태이다. 기만 재머의 종류를 구분하기 위해 RGPO 필터는 거리 측정을 통해 표적 신호를 예측하고, VGPO 필터는 속도 측정을 통해 표적 신호를 예측한다. 추적 필터는 고기동 표적 추적에 유리한 IMM (Interactive Multiple Model) 필터를 사용하였다.

식 (5)에 RGPO 신호 판단을 위한 조건 예를 나타내었다. dR 은 RGPO 필터에 의한 신호의 거리 변화이다. rTZ 는 거리에 대한 예상 최대 추적 오차에 의해 결정되는 추적 영역(tracking zone)을 의미한다. 예상되는 추적 영역보다 큰 거리 변화를 갖는 신호가 있다면 RGPO 기만 재밍 신호로 판단하도록 설계하였다.

$$dR > rTZ \parallel (JAMOFF \text{ and } dR > 0.5 * rTZ) \quad (5)$$

VGPO 신호 판단을 위한 조건 예를 식 (6)에 나타내었다. dV 은 VGPO 필터에 의한 신호의 거리 변화율(range rate)이다. vTZ 는 거리 변화율에 대한 예상 최대 추적 오차에 의해 결정되는 추적 영역이다. 예상 추적 영역보다 높은 거리 변화율을 갖는 신호는 VGPO 기만 재밍 신호로 판단할 수 있다(Fig. 5의 ③번 프로세스).

$$dV > vTZ \parallel (JAMOFF \text{ and } dV > 0.5 * vTZ) \quad (6)$$

상기에 기술한 레이다 기만 재밍 대응 알고리즘을 Fig. 5에 종합하여 정리하였다. 기만 재밍 대응 알고리즘은 레이다가 표적을 추적하고 있는 상태에서 표적 신호보다 높은 크기의 신호가 들어오는 경우, 이

신호가 지속적인 재밍 신호인지 여부를 확인하는 절차를 거친 후 동작을 시작한다. 추적 중인 표적 신호보다 높은 크기의 신호가 지속적으로 존재하거나 또는 예상되는 추적 영역을 벗어나는 신호가 존재하는 동안에는 기만 재밍 대응 알고리즘이 반복해서 동작하도록 설계하였다.

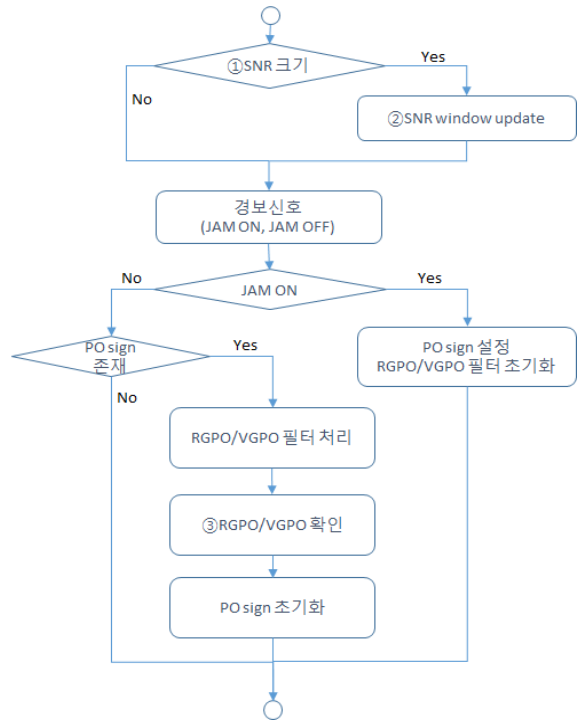


Fig. 5. The proposed counter deceptive jamming algorithm in radar

4. 시뮬레이션

Pull-Off 재밍 신호에 대해 제시한 레이다 대응 알고리즘의 동작을 확인하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. RGPO 신호와 VGPO 신호는 각각 Fig. 1, 3의 개념으로 생성하였으며, 세부 재밍 신호 생성 및 시뮬레이션 파라미터는 본 논문에 기술하지 않는다.

Fig. 6은 RGPO 신호 및 대응 알고리즘을 시뮬레이션한 예이다. Fig. 6의 (a)와 같이 RGPO 재밍 신호(초록색)를 인가했을 때 레이다 재밍 대응 알고리즘이 동작하지 않으면, 기만 재밍 신호에 연관되어 기존 추적 중인 표적(붉은색)의 추적 오차가 증가한다. Fig. 6

의 (b)와 같이 레이더 재밍 대응 알고리즘 **eccm**(파란색)이 동작하면, 기만 재밍 신호에 연관되지 않고 기존 표적 추적상태에 거의 영향없이 표적 추적을 유지(붉은색)함을 확인할 수 있다.

Fig. 7의 (a)와 같이 **VGPO** 재밍 신호(초록색)를 인가했을 때 레이더 재밍 대응 알고리즘이 동작하지 않으면, 기만 재밍 신호에 연관되어 기존 추적중인 표적의 오차가 증가하며 결국 추적 표적을 소실하게 된다.

Fig. 7의 (b)는 레이더 재밍 대응 알고리즘 **eccm**(파란색)이 동작하여 기만 재밍 신호에 연관되지 않고, 기존 표적 추적을 계속 유지(붉은색)함을 볼 수 있다.

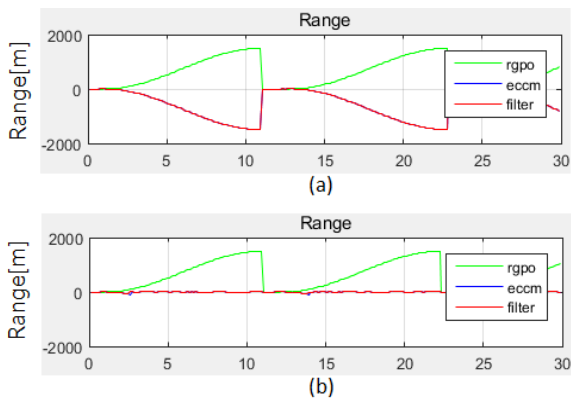


Fig. 6. Simulation result of the radar counter effect for RGPO signal (a) Counter algorithm non-operation, (b) Counter algorithm operation

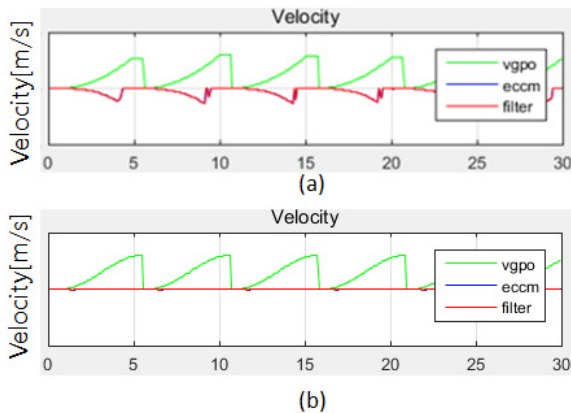


Fig. 7. Simulation result of the radar counter effect for VGPO signal (a) Counter algorithm non-operation, (b) Counter algorithm operation

5. 레이더 시제 제작

제작된 능동위상배열(AESA) 레이더 시제의 형상은 Fig. 8과 같다. 레이더 시제는 5개의 장치로 구성하였다. 전원공급장치는 레이더 전원 절차를 제어하고, 레이더에 전원을 공급한다. 송수신장치는 레이더 파형을 생성하고 X-대역 주파수 상향 및 하향 변환을 수행한다. 안테나장치는 레이더 신호를 송수신하고, 전자식 빔 조향을 수행한다. 열교환장치는 안테나장치를 냉각액으로 냉각하는 역할을 한다. 레이더 처리장치는 레이더 시스템 전체를 제어하고 레이더 신호처리 및 표적 추적기능을 수행한다. 본 논문에서 제안한 Pull-off 기만 재밍 대응 알고리즘은 레이더 시제 처리장치 내부 소프트웨어에 구현하였다.

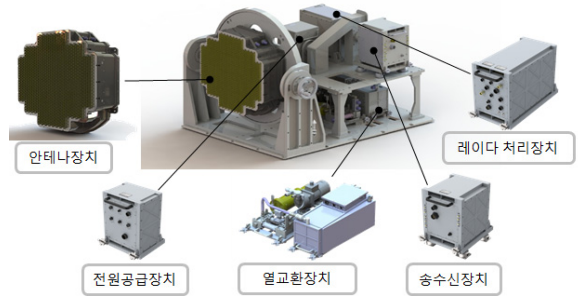


Fig. 8. Hardware configuration of the AESA radar demonstrator

레이더 처리장치는 OpenVPX 구조로 설계하였다. 처리장치 DSP(Digital Signal Processing) 보드는 Mercury사 HDS6601을 사용하였다. 기만 재밍 신호처리를 위해 구현한 CSU(Computer Software Unit)의 변수 및 함수는 Table 1과 같다.

Table 1. Variables and function in the deceptive jamming processing CSU

구분	이름(반환값)	기능
변수	ST_SubPlotIntMsg	신호처리 결과(Plot)
	ST_SpOutHdr	수신 빔정보(빔조향각, time stamp, dwell 등)
	ST_ImmInfo	현재 추적중인 트랙 정보
함수	f_selectTkPlot_RVGPO (Void)	Track 상태정보 예측

6. 지상 시험 및 결과 분석

기만 재밍 대응 알고리즘의 동작을 확인하기 위해 지상 원전계 실험장 시험을 수행하였다. 레이더 원전계 시험장에 레이더 및 시험 장비를 Fig. 9와 같이 구성하였다. 레이더와 모의표적 및 재밍신호 발생 장치 사이 거리는 51 m로 X대역에서 원전계(far-field) 조건을 충족하고 있다. 지상 모의 표적을 생성하기 위해 ELTA사 RTS(Radar Target Simulator) 장비를 사용하였다. RTS와 연동한 기만 재밍 신호를 생성하기 위해 ELTA사 ECMTE(Electronic Counter Measure Test Equipment) 장비를 사용하였다.

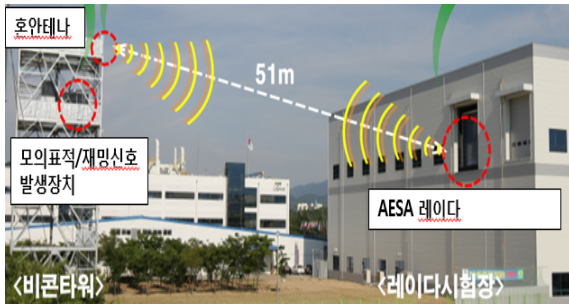


Fig. 9. Far-field test configuration of the AESA radar

레이더 기만 재밍 대응 시험을 수행하기 전에, 모의 표적에 대한 탐지 추적 기능 및 성능시험을 우선 수행하여 시험대상 레이더의 정상상태를 확인하였다. 레이더는 기본적으로 재밍 대응 기능이 동작하는 상태이지만, 기만 재밍 대응 효과를 확인하기 위해 수동으로 재밍 대응 기능을 On/Off 할 수 있도록 설계하였다. 모의표적 발생장치에서 생성하는 모의표적은 RCS (Radar Cross Section) 1 m², Swerling case 0 및 표적 속도 300 m/s로 설정하였다.

6.1 RGPO 재밍 대응 시험

Table 2에 RGPO 기만 재밍 시나리오 설정 예를 제시하였다. JSR(Jamming to Signal Ratio)는 15 dB, 거리 방향 Pull-off 시간은 15초로 설정하였다. 일반적으로 기만 재밍은 표적이 레이더에 추적되는 근거리에서 사용하므로 JSR 15dB는 적절한 수치이다. 재밍 신호 설정 값에 따라 다양한 시나리오를 만들어 시험을 수행하였으나, 본 논문에서는 특정 시나리오에 의한 기만 재밍대응 알고리즘 검증 결과만을 제시하였다.

Table 2. Example of the RGPO deceptive jamming scenario

초기지연 [usec]	지연 [m]	초기속도 [m/s]	가속도 [g]	Pull-off [Sec]	상대레벨 [dB]
0	0	300	0	15.0	+15

RGPO 재밍 신호 환경에서 레이더의 표적 추적 시험 결과는 Fig. 10, 11과 같다.

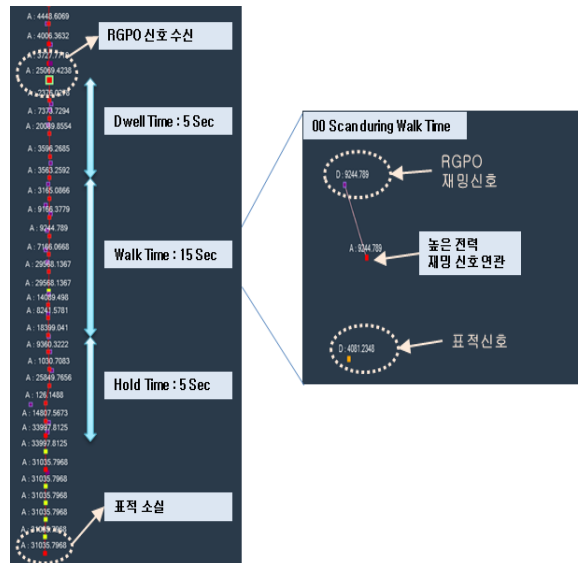


Fig. 10. Radar target tracking test result in RGPO jamming environment(Counter RGPO function OFF)

시험 결과 그림의 붉은색 점은 레이더 추적빔(track beam)에 의해 형성된 추적 신호를 의미한다. 노란색 점은 표적이 일시적으로 소실되었을 때, 일정 시간동안 예상 위치에 추적빔을 할당(memory track)한 상태를 의미한다. 점마다 표시된 숫자는 수신 신호 레벨을 나타낸다. RGPO 재밍 신호 수신을 시작하면서 수신 신호 레벨이 급격하게 높아진 상태를 볼 수 있다. 재밍 영향을 먼저 확인하기 위해 레이더의 RGPO 대응 기능을 OFF 상태로 설정하였다. RGPO 대응 기능을 수동으로 OFF시킨 상태에서는, 레이더 추적 필터가 RGPO 재밍 신호에 연관(association)되어 기존 표적 대신 재밍 신호를 추적하게 된다. 재밍 신호가 hold time 까지 종료 후 사라지면 Fig. 10과 같이 기존 추적 중

이던 표적을 소실함을 볼 수 있다. RGPO 재밍 신호는 Fig. 1과 같이 계속 반복되므로, 시험 시나리오가 종료되기 전에 기존 표적을 다시 탐지 추적해도 재밍 신호에 의해 추적을 소실하게 된다. 레이더의 RGPO 대응 기능을 ON으로 전환하고, 동일 시나리오에서 시험한 결과는 Fig. 11과 같다.

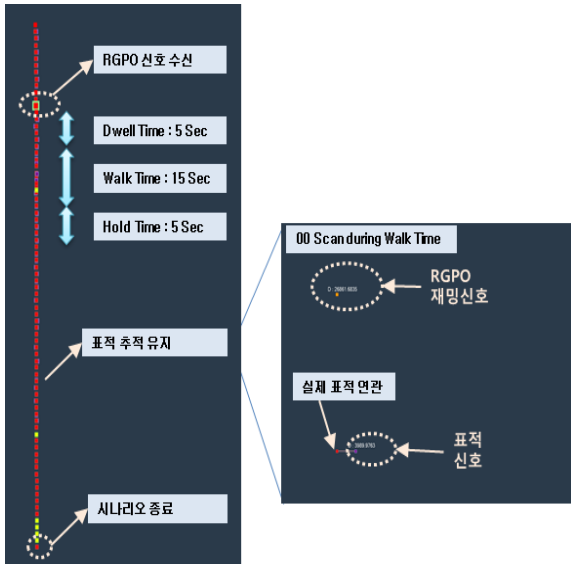


Fig. 11. Radar target tracking test result in RGPO jamming environment(Counter RGPO function ON)

RGPO 대응 기능을 ON시킨 상태에서는 구현한 재밍 대응 알고리즘이 동작하게 된다. Fig. 11과 같이 레이더 추적 필터는 RGPO 재밍 신호에 연관되지 않고, 재밍 신호 hold time이 종료된 후에도 기존 표적에 대한 추적을 계속 안정적으로 유지함을 확인할 수 있다. RGPO 재밍 신호는 Fig. 1과 같이 계속 반복해서 적용되는 상태이지만, 레이더는 표적 추적을 유지하고 있다. 본 시험 시나리오는 모의표적이 일정 거리까지 접근하면 종료되며, 이때 레이더의 표적 추적을 자동 종료된다.

6.2 VGPO 재밍 대응 시험

Table 3에 VGPO 기반 재밍 시나리오 설정 예를 제시하였다. 재밍신호 대 표적신호 비 JSR(Jamming to Signal Ratio)는 15 dB, 도플러 속도 방향 sweep 시간은 10초로 설정하였다.

Table 3. Example of the VGPO deceptive jamming scenario

형태	초기 도플러 [kHz]	종료 도플러 [kHz]	Sweep 시간 [Sec]	상대레벨 [dB]
Linear	X	X	10	+15

VGPO 재밍 신호 환경에서 레이더의 표적 추적 시험 결과는 Fig. 12, 13과 같다. Fig. 12는 VGPO 신호의 효과를 확인하기 위해 레이더의 VGPO 대응 기능을 수동으로 OFF시킨 상태에서 시험한 결과이다.

VGPO 신호 walk time에서 한 지점을 선택하여 확대한 그림을 보면, VGPO 신호는 기존 표적 신호와 비교하여 신호레벨은 높고 속도 게이트에서 pull-off 하므로 도플러 속도는 낮다. VGPO 신호가 수신되면, 레이더 추적 필터가 VGPO 재밍 신호에 연관되어 기존 표적 대신 재밍 신호를 추적하게 된다. Fig. 12와 같이 재밍 신호가 hold time까지 유지한 후 사라지면, 레이더는 기존 추적 중이던 표적을 소실함을 볼 수 있다. 시험 시나리오는 여전히 기존 표적이 계속 접근해 오고 있는 상태이지만, 표적 소실 후 일정 시간 memory track(노란색 점)까지 수행한 레이더는 표적을 완전히 소실하여 추가 표적 데이터를 획득하지 못하고 있다.

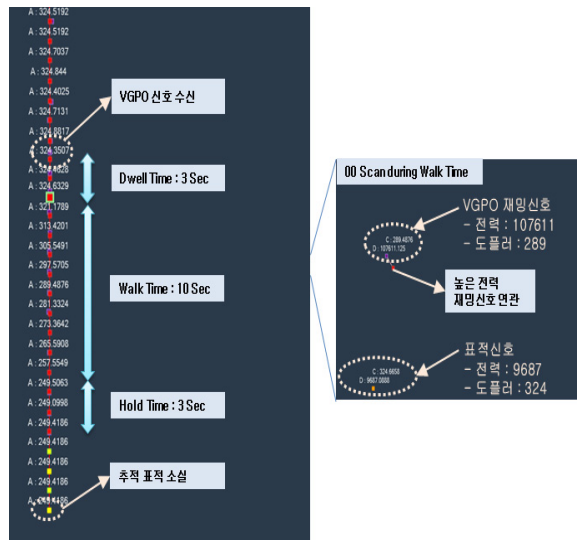


Fig. 12. Radar target tracking test result in VGPO jamming environment(Counter VGPO function OFF)

재밍 대응 효과를 확인하기 위해 레이더의 VGPO 대응 기능을 ON으로 전환하고, 시험 시나리오를 다시 수행하였다. Fig. 13은 레이더의 VGPO 대응 기능을 ON시킨 상태에서, 레이더 추적 필터가 VGPO 재밍 신호에 연관되지 않고 기존 표적에 대한 추적을 유지함을 보여주고 있다. VGPO 신호 walk time에서 한 지점을 선택하여 확대한 그림을 보면, VGPO 신호가 존재하는 상황에서도 레이더 추적 필터는 기존 표적 신호와 연관하여 추적을 유지함을 확인할 수 있다. VGPO 재밍 신호는 hold time 까지 종료 후, 설정 프로그램에 따라 반복적으로 인가되는 상태이지만, 표적은 시험 시나리오가 종료될 때 까지 안정적으로 추적을 유지함을 확인하였다.

본 논문에서 제시한 RGPO 및 VGPO 대응 시험결과 외 추가적으로 RGPO 및 VGPO 재밍 설정 파라미터를 조정하여 반복 시험을 수행하였으며, 재밍 대응 기능이 정상 동작함을 확인하였다.

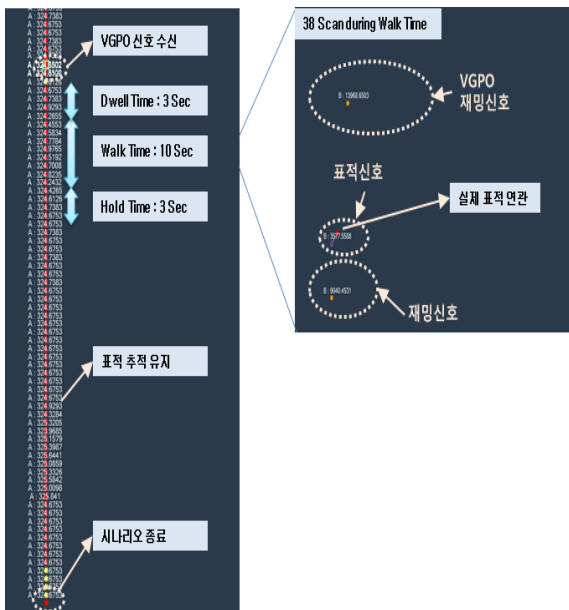


Fig. 13. Radar target tracking test result in VGPO jamming environment(Counter VGPO function ON)

7. 결론

RGPO 및 VGPO와 같은 Pull-Off 기반 재밍 신호에 대한 레이더 대응 알고리즘을 제시하였다. 수신 신호 레벨과 sliding window를 이용하여, 수신 신호의 일시적 변동 또는 실제 재밍 신호 여부를 우선 판단한다. RGPO/VGPO 필터를 통해 추적필터가 예상하는 일정 범위를 초과하는 신호는 기반 재밍 신호로 판단하도록 설계하였다. 설계한 재밍 대응 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 동작을 점검하였다. 또한 지상 원전계 실험을 통해 Pull-Off 재밍 신호에 대응하여 기존 표적에 대한 추적을 유지함을 확인하였다. Pull-Off 기반 재밍 신호 파라미터를 변경하고, 표적 기동에 대한 다양한 시나리오를 구성하여 반복적인 시험을 수행하여, 레이더 재밍 대응 알고리즘의 성능을 지속적으로 보완할 필요가 있다.

본 논문에서는 제시한 Pull-Off 기반재밍 대응 알고리즘은 개별 RGPO 및 VGPO 재밍 신호에는 동작함을 확인하였다. 그러나 RVGPO(Range Velocity Gate Pull-Off)와 같은 복합 기반 재밍 신호를 식별하고 대응하는 알고리즘은 추가적인 연구가 필요하다.

References

- [1] David Adamy, EW101 A First Course in Electronic Warfare, Artech House, pp. 196-200, 2000.
- [2] M. Skolnik, Radar Handbook, 3rd edition, McGraw-Hill, pp. 24.5-24.8, 2008.
- [3] Yang Jing, Gao Mei-guo, Li Yun-Jie, "Digital Realization of Pull-Off Jamming In R-V Dimensions," International Congress on Image and Signal Processing, pp. 2177-2181, 2011.
- [4] Radio Frequency Simulation System(ELS-8345) Technical Manual, ELTA, pp. 3.54-3.59, 2016.
- [5] A. Lemanskiy, CDRL#4 Final Design Reports on the MFR System, pp. 418-422, 2000.
- [6] Dave Adamy, Overview of Modern Radar Electronic Protection Class Notes, pp. 117-119, 2012.
- [7] G. W., Stimson, Introduction to Airborne Radar, 3rd edition, SciTECH Publishing, pp. 568-569, 2014.