

# 위상 합성을 이용한 펄스 추적 잡음발생 DRFM 개발

## Development of Pulse-Tracking Noise-Generation DRFM(Digital Radio Frequency Memory) Using Phase Synthesis

김상수 · 김정호 · 조상왕 · 고재현 · 조제일\*

Sang-Su Kim · Jung Ho Kim · Sang-Wang Cho · Jae-Heon Ko · Jeil Jo\*

### 요 약

전자전에서는 적으로부터 아군을 보호하기 위해 DRFM(digital radio frequency memory)을 이용하여 위협신호를 수신하여 이를 기만하기 위한 다양한 전자방해신호를 발생한다. 잡음은 레이더 수신기 특성의 영향을 적게 받는 효율적인 방해 방식으로 주로 잡음발생장치에 의해 생성된다. 최근 레이더는 신호형태가 실시간으로 변하기 때문에 기존 잡음 생성 방식으로는 위협 신호의 변화에 대응하여 방해하는데 제한이 있다. 본 논문에서는 이러한 제한 사항을 해결하기 위해 DRFM으로 실시간 잡음을 발생시키는 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 기존 펄스추적 과정 없이 DRFM 자체 검출신호와 위상 합성을 이용하여 잡음 신호를 발생하였다. 제안한 방식은 시뮬레이션과 시제품 제작 및 시험을 통해 검증하였고, 예상 결과와 일치하는 것을 보였다.

### Abstract

In electronic warfare, to protect allies from enemies, DRFM(digital radio frequency memory) is used to receive threat signals and generate various electronic interference signals to deceive them. The use of noise is an efficient interference method, which is less affected by radar receiver characteristics. It is generated mainly by noise-generating devices. As the signal form of a modern radar changes in real time, the conventional noise generation method has a limitation of interference in response to a change in the threat signal. In this paper, to avoid these limitations, we propose a method to generate DRFM real-time noise. The proposed method generated a noise signal by utilizing phase synthesis with the DRFM self-detection signal without the basic pulse tracking process. The proposed method was verified through a simulation and prototype fabrication and testing, in agreement with the expected results.

Key words: Electronic Warfare, Electronic Attack, Digital Radio Frequency Memory

### I. 서 론

현대전에서는 적을 직접 타격하지 않고도 아군을 적 위협으로부터 보호할 수 있는 전자전의 중요성이 증대되

고 있다. 전자전은 전자기 스펙트럼을 사용하여 적군의 전투 능력을 저하시키거나 파괴하여 아군의 전투 능력을 보호하는 제반 군사 활동을 말하며, 전자 공격, 전자지원, 전자보호 시스템으로 구분된다<sup>[1]</sup>.

LIG넥스원 전자전연구소(Electronic Warfare R&D Lab., LIG Nex1 Co., Ltd.)

\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received June 1, 2020 ; Revised July 1, 2020 ; Accepted July 31, 2020. (ID No. 20200601-046)

· Corresponding Author: Jeil Jo (e-mail: jeil-jo@add.re.kr)

전자 공격에 필요한 방해 신호를 생성하는 신호원은 여러 종류가 있으나, 기만 신호 생성을 위한 자원으로 DRFM(digital radio frequency memory)이 주로 사용되고 있다. DRFM은 입력된 신호를 메모리에 저장하였다가 필요한 시점에 복원하여 출력하는 장치로 저장 신호 출력 시 시간지연을 통한 RGPO/I(range gate pull off/in) 기법, 주파수 천이를 활용한 VGPO/I(velocity gate pull off/in) 기법, 잡음기만 등의 기법을 생성할 수 있다<sup>[2]</sup>.

최근 레이다 기술의 발전으로 위협 신호형태가 실시간으로 급격하게 변화하기 때문에 이를 즉각적으로 파악하고 방해하기 위한 기만기법의 필요성이 대두되고 있다<sup>[3],[4]</sup>. 기존 방식은 위협신호를 수신하고, 분석 및 식별하는 과정이 사전에 필요하다. 그러나 위협 신호의 주파수나 펄스반복주기가 급격하게 변화하는 경우, 위협신호의 추적에 실패하여 기만신호를 발생할 수 없다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이런 단점을 해결하기 위해 DRFM에서 자체적으로 위협신호를 검출하여 저장하고, 해당 신호에 잡음을 합성하여 출력하는 방식을 제안한다. 제안한 방식은 시뮬레이션을 통해 검증하였고, 시제품 제작 및 검증 시험을 통해 위협신호의 주파수 및 펄스반복주기가 변화하더라도 대응할 수 있는 것을 입증한다.

## II. 본 론

### 2-1 위상 샘플 DRFM 개요

DRFM은 진폭 샘플링 방식과 위상 샘플링 방식으로 구분되며, 이중 입력 신호 세기에 대한 민감도 및 신호처리 복잡도가 비교적 낮은 위상 샘플링 방식이 주로 사용된다. 위상 샘플 DRFM의 일반적인 구조는 그림 1과 같다.

위상 샘플 DRFM은 입력된 RF신호를 I(in-phase) 채널

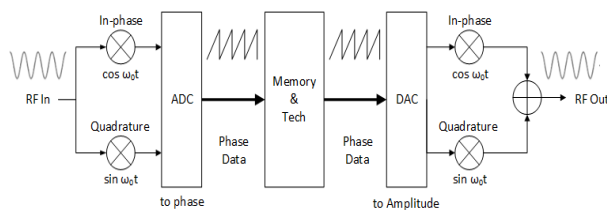


그림 1. 위상 샘플 DRFM 구조

Fig. 1. Structure of phase sampled DRFM.

신호와 Q(quadrature) 채널 신호로 분리하여 ADC(analog to digital)를 이용하여 샘플링 한 후 입력된 RF신호의 위상 값을 산출하여 메모리에 저장한다. 저장된 위상 값은 I 신호와 Q 신호의 진폭 값으로 변환되어 DAC(digital to analog)를 통해 RF 신호로 출력된다. 위상 샘플 DRFM에서 사용되는 ADC 모듈은 I/Q 신호와 동기화된 2채널의 ADC로 구성되며, 진폭 데이터를 위상 데이터로 변환하는 기능을 가진다. I 신호와 Q 신호에 따른 위상 데이터는 식 (1)의 연산을 통해 추출된다.

$$\theta(t) = \tan^{-1} \left( \frac{Q(t)}{I(t)} \right) \quad (1)$$

위상 데이터는 DRFM 내부 메모리에 저장되어 산술적인 연산을 통해 기만 신호의 위상 데이터로 변환되고, DAC를 통해 진폭 데이터로 변환되어 기만 신호로 출력된다. 본 연구에서는 DRFM에 자체 제작한 2.56 Gbps 고속 ADC/DAC ASIC(application specific integrated circuit) 부품을 적용하여 기존 위상 샘플 DRFM 대비 처리 속도 및 지연시간 성능을 크게 향상시켰고, 데이터 처리에 신규 알고리즘을 적용하여 펄스 추적 잡음 기능을 구현하였다.

### 2-2 기존 기만기법 생성절차

기존 전자전 장비에서 기만 신호의 생성을 위해서는 위협신호의 해당 펄스열을 실시간으로 추적하여 주파수, 펄스반복주기, 신호세기 등의 정보를 획득하는 펄스 추적 과정이 우선 필요하다. 이 정보를 바탕으로 다음 위협신호를 예측하여, DRFM을 제어할 수 있는 기만제어 신호를 생성함으로써 사용자가 원하는 기법을 생성하게 된다. 펄스 추적을 통한 기만기법 제어 절차는 그림 2와 같다.

RF 처리부에서는 위협 RF신호가 입력되면 SDLVA

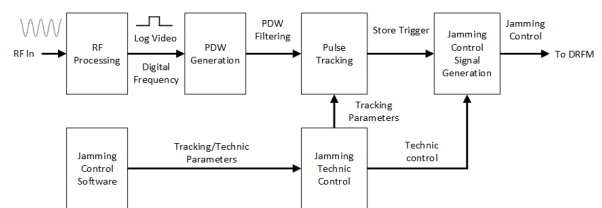


그림 2. 펄스 추적을 통한 제어 절차

Fig. 2. Control procedure through pulse tracking.

(successive detection log video amplifier)를 이용하여 Log Video 신호를 생성한다. 생성된 Log Video 신호를 A/D 변환하여 신호세기를 측정하고, 비교기를 통해 펄스를 검출하여 TOA(time of arrival) 값을 측정함으로써 위협신호의 펄스반복주기인 PRI(pulse repetition interval)를 산출한다. 또한 DFD(digital frequency discriminator)를 이용하여 입력 RF신호를 디지털 주파수 값으로 변환하여 출력한다. PDW 생성부에서는 신호세기, TOA, 주파수 정보를 조합하여 수신된 위협 신호에 대한 펄스 규정어인 PDW(pulse description word)를 생성한다.

펄스 추적부에서는 기만하고자 하는 채널의 추적 파라미터를 기만기법 제어부로부터 할당받고, 할당받은 정보를 이용하여 입력된 PDW의 필터링 과정을 수행한다. PDW값을 할당받은 값과 비교하여 설정된 조건을 만족하면 추적 게이트를 생성하고, 이 신호를 이용하여 실제 위협 RF가 입력되는 타이밍에 맞춰 저장 트리거 신호를 생성하여 출력한다. 기만 제어 신호 생성부에서는 기법 제어 신호 및 저장 트리거 신호를 입력받아 DRFM을 제어하여 기만기법을 발생시킬 수 있는 기만 제어신호를 생성하여 DRFM으로 출력한다. 기만기법 제어부는 기만 제어 소프트웨어로부터 추적 및 기법 파라미터를 입력 받아 위협 펄스 추적을 위한 추적 파라미터를 할당하고, DRFM 기만기법 생성을 위한 파라미터를 생성하여 제어한다.

DRFM에서는 입력된 기만 제어신호에 의해 위협 RF신호를 저장하고 사전 설정된 Delay 값에 따라 일정시간 지연 후 저장 신호를 출력하게 된다. DRFM의 신호 저장 및 재생 타이밍은 다음 그림 3과 같다.

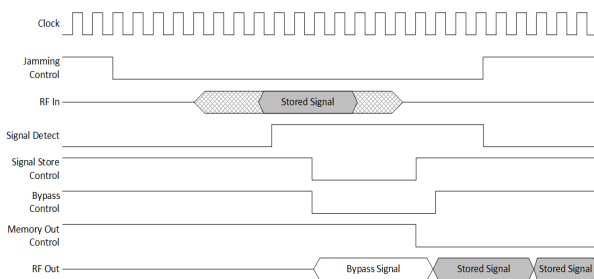


그림 3. DRFM 신호 저장 및 재생 타이밍도  
Fig. 3. Timing chart of DRFM signal storage and recall.

RF신호가 입력되었을 때 저장 조건은 기만 제어신호가 활성화되고, 위협 신호가 검출된 경우에 수행된다. 저장된 신호가 출력되기 전까지는 입력 RF신호를 저장하지 않고 출력하는 Bypass 신호를 출력하여 RGPO/I 계열의 기법발생 시 효과를 향상시킨다.

### 2.3 DRFM 위상 합성 잡음발생 구현

기존 재머에서 위협신호와 동기화된 기만기법을 생성하기 위해서는 동일한 위협 펄스 신호가 일정 개수 이상 검출되어야 펄스 추적이 가능하였다. 하지만 이러한 방식은 단일 펄스 기준으로 신호 특성이 변화하는 위협에 대해서는 대응이 어려운 단점이 있다. 또한, 주파수 형태가 고정되어 아닌 Agile 및 Hopping 신호나 PRI 형태가 변화하는 Jitter 및 Stagger, Dwell & Switch 신호 등에 대해서도 추적 및 기만이 제한되는 한계가 있다.

본 연구에서는 이런 한계점을 해결하기 위해 위협 펄스열이 추적되지 않아도 실시간으로 위협 신호를 기만할 수 있는 방식을 구현하였다. 해당 방식은 위협신호가 입력되면 DRFM의 자체 신호 검출 기능을 이용하여 해당 신호를 저장 및 재생하고, 이 신호에 잡음 신호를 합성하여 출력하는 방식으로 위협신호의 주파수나 PRI가 중간에 변경되더라도 별도의 펄스 재추적과정 없이 실시간으로 대응할 수 있는 장점이 있다. 또한 최소 잡음대역폭 및 잡음해상도를 10 Hz로 향상시켜 보다 잡음을 정밀하게 제어할 수 있도록 구현하였다. 표 1에서는 기존 선행 연

표 1. 기존 DRFM과 제안하는 DRFM의 특징 비교

Table 1. Comparison of characteristic of the conventional DRFM and proposed DRFM.

Characteristic	Conventional DRFM	Proposed DRFM
Pulse tracking	Necessary	Unnecessary
Threat detection	Self-detection impossible	Self-detectable
Response real-time change	Impossible	Possible
Noise BW	1 kHz~512 MHz	10 Hz~512 MHz
Frequency resolution	1 MHz	10 Hz

구 대비 본 논문에서 제안하는 펄스 추적 DRFM 잡음발생 방안의 독창성 및 신규성을 비교하여 정리하였다.

본 연구에서 제시하는 펄스 추적 DRFM 잡음발생 방식의 시간축에 따른 출력 형태는 그림 4와 같다.

해당 방식의 DRFM Detect 기능은 DRFM RF 수신부에서 Detector와 필터 등의 적용을 통해 위협 신호가 입력되면 검출 Video 신호를 출력함으로써 실시간으로 신호 유무를 판별할 수 있도록 구현하였다. 잡음 신호는 DRFM의 잡음 생성 기능을 이용하여 임의의 대역폭을 갖는 잡음 신호를 저장된 신호의 주파수에 합성하여 출력하는 방식으로 구현하였다. 위상 샘플방식 DRFM의 경우, 메모리에 저장된 데이터가 위상값이므로 잡음을 생성하고 연산하는 과정도 위상값을 활용한다. 생성된 잡음 위상 데이터를 저장된 위상 데이터와 산술 연산을 통해 저장된 신호의 주파수를 중심으로 잡음 신호를 출력한다. 그림 5는 DRFM의 위상 잡음 생성과정을 간략하게 나타낸 것이다.

DRFM의 위상 잡음 신호는 PRN(pseudo random noise)을 적용한 디지털 잡음 생성기를 이용하여 구현하였다. 잡음 신호의 복잡성을 높이기 위해 LFSR(linear feedBack shift register)을 이용하여 ASG(alternating step generator)를 이용하여

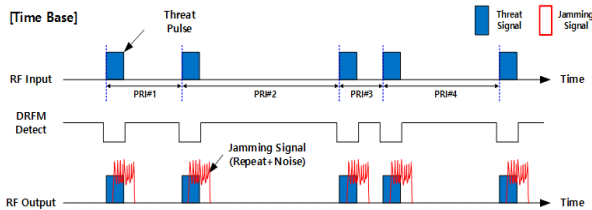


그림 4. 시간축에 따른 DRFM 잡음발생 형태  
Fig. 4. DRFM noise generation type by time base.

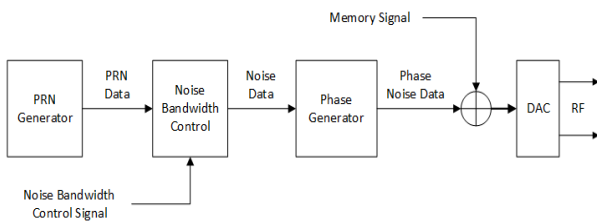


그림 5. 위상 잡음 생성부 구조  
Fig. 5. Structure of phase noise generator.

구조로 구현하였다. LFSR은 통계적으로 우수한 의사 난수 발생기로 분배가 쉽고 구현이 간단한 장점이 있지만 출력이 쉽게 예측될 수 있는 단점도 있다. 따라서 본 연구에서는 LFSR을 3개 적용하여 긴 반복 주기를 구현할 수 있는 ASG 구조를 적용하여 의사 잡음의 반복성을 제거하였다. 그림 6은 ASG를 이용한 PRN 생성 구조를 보여준다.

LSFR#1의 출력이 '1'이면 LFSR#2가 선택되고, '0'이면 LFSR#3이 선택되며, 최종출력은 LFSR#2와 LFSR#3의 출력을 XOR하여 결정한다<sup>[5]</sup>. PRN 데이터의 생성 반복주기는 ASR의 최대 반복주기와 같다. 각 LFSR의 비트수가  $n_1, n_2, n_3$  이고, 각각의 LFSR이 최대 주기를 가진다면 PRN 반복 주기( $L$ )는 아래 식 (2)와 같다. ( $L_s$  : 최대 주기 샘플수,  $\text{gcd}$  : 최대공약수)

$$L_s = (2^{n_1} - 1) \times \text{gcd}(2^{n_2} - 1, 2^{n_3} - 1)$$

$$L = L_s \times \frac{1}{\text{Clock}} \quad (2)$$

잡음 대역폭 제어부에서는 생성된 PRN 데이터를 활용하여 임의의 대역폭을 가지는 잡음 데이터 NBW(noise bandwidth)로 변환한다. PRN 출력 신호에 생성하고자 하는 잡음 대역폭의 주파수 값을 곱하여 원하는 대역폭의 잡음 데이터를 생성한다. 출력된 잡음 대역폭의 값은  $0 \sim \text{NBW}$  사이의 값을 가지므로, 저장된 데이터의 중심 주파수 기준으로 변환을 위해 대역폭의  $-1/2$ 만큼 offset을 적용하여  $-\text{NBW}/2 \sim \text{NBW}/2$  사이 값을 가지도록 제어한다.

위상 생성부에서는 최종적으로 대역폭 제어 및 주파수 중심이동이 적용된 잡음 데이터 값을 위상잡음 데이터로 변환하는 기능을 수행한다. 위상 값으로 변환된 잡음 데이터는 메모리에 저장된 위협신호의 재생 신호와 합해져서 출력된다. 이 과정을 통해 최종 잡음 신호의 중심 주파수가 메모리에 저장된 신호의 주파수가 되어 출력된다.

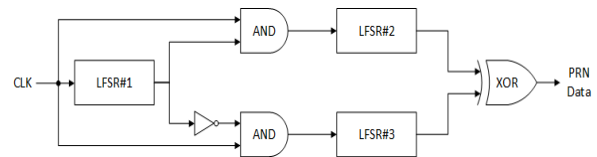


그림 6. PRN 생성기 구조  
Fig. 6. Structure of PRN generator.

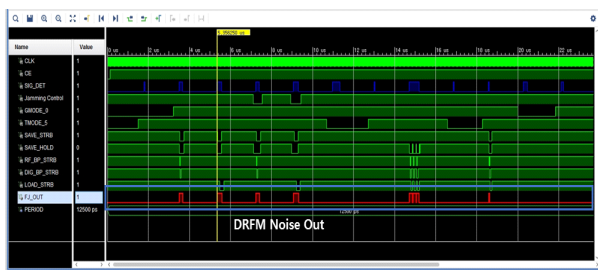


그림 7. DRFM 잡음발생 제어 시뮬레이션  
Fig. 7. Simulation for noise generation of DRFM.

DRFM 잡음발생의 타당성을 검증하기 위해 그림 7과 같이 Xilinx 사의 Vivado 프로그램을 이용하여 FPGA 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션은 잠음발생 제어신호인 TMODE\_5와 시간  
변조 허용 신호인 GMODE\_0 신호가 활성화된 조건에서  
외부 위협신호가 검출되어 SIG\_DET 신호가 수신될 경우,  
기존 기만 기법 제어 신호의 유무와 상관없이 DRFM 잡  
음 출력 신호가 생성되는 것을 검증하였다. 최종 출력단  
에서는 DRFM 잡음 출력 신호가 입력될 경우, 기 생성된  
잡음신호와 메모리에 저장되었던 재생신호를 결합하여  
최종 DRFM 잡음을 출력한다.

## 2-4 시제품 제작 및 시험에 의한 검증

본 연구에서는 DRFM 펄스 추적 잡음 발생이 가능한 시제품을 제작하여 시험을 통해 그 성능을 검증하였다. 시제품은 외부에서 위협 RF신호가 입력되면 RF처리부에서 IF신호와 Video 신호로 변환하고, DRFM의 고주파처리부를 통해 IQ신호로 하향 변환한다. 외부 제어 컴퓨터에서 위협 식별 및 분석을 통해 대상 기만기법을 생성하고, 다시 RF신호로 상향 변환하여 RF 신호를 방사한다. 그림 8은 시제품의 형상을 보여준다.

DRFM 펄스 추적 잡음 방식의 검증을 위해 그림 9와 같이 시험 장비를 구성하였다. 신호발생기에서 임의의 위협 신호를 모의하여 장치로 입력하고, 제어 PC에서 장치를 제어하여 해당 위협에 대응하는 기만기법을 생성한다. 기법 출력 파라미터의 검증을 위해 오실로스코프를 이용하여 입력 신호와 출력 신호의 시간축 특성을 확인하고, 스펙트럼 분석기를 이용하여 출력의 주파수축 특성을 확

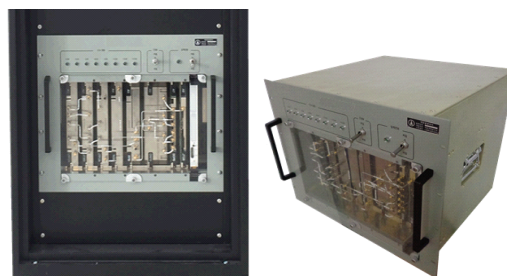


그림 8. 시제품 형상  
Fig. 8. Figuration of prototype equipment.

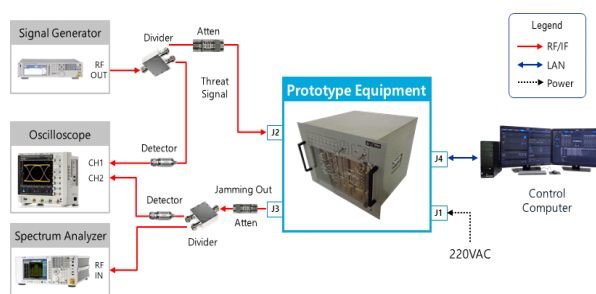


그림 9. DRFM 펄스 추적 잡음 시험 구성도  
Fig. 9. Test configuration for DRFM pulse tracking noise.

인한다.

DRFM 펄스 추적 잡음 시험을 위한 파라미터는 표 2와 같이 구성하였다. 실제 시제품 성능 시험은 6~18 GHz 주파수 대역에서 PRI 2  $\mu$ s~20 ms, PW 100 ns~4 ms 신호에 대해 수행하였고, 그 중 해당 파라미터가 펄스 추적 잡음 시험을 검증하는데 충분하다고 판단하여 샘플데이터로 선정하였다. 위협 모의신호발생기의 주파수는 12 GHz를 중심으로  $\pm 100$  MHz 천이하고, PRI는 200  $\mu$ s를 기준으로  $\pm 50$   $\mu$ s 변화시켰으며, PW는 50  $\mu$ s로 설정하여 발생하였다. 제어 컴퓨터에서는 기만 기법을 DRFM Noise로 할당하고, 잡음대역폭을 1/PW 값인 20 kHz로 설정하였다.

표 2. DRFM 펄스 추적 잡음 시험 파라미터  
Table 2. Test parameter of DRFM pulse tracking noise

Test name	Signal generator setting				Noise
	Frequency	PRI	PW	Power	Bandwidth
DRFM noise	12±0.1 GHz	200±50 $\mu$ s	50 $\mu$ s	0 dBm	20 kHz



그림 10은 기만신호의 출력 펄스폭을 오실로스코프를 이용하여 시간축에서 측정한 결과이다. 오실로스코프의 CH1 신호는 입력된 위협신호를, CH2 신호는 출력신호로 할당하였다. 첫 번째로 PRI를 200  $\mu$ s로 고정하고 주파수를  $\pm 100$  MHz 천이시키면서 CH2 신호의 펄스별 Rising Edge와 Falling Edge 간 간격을 측정하여 출력신호의 펄스폭을 확인하였다.

그 결과, 주파수가 12.1 GHz의 경우에는 약 50.014  $\mu$ s로 측정되었고, 11.9 GHz의 조건에서는 약 50.022  $\mu$ s로 측정되었다. 두 번째로 주파수는 12 GHz로 고정하고, 모의 신호발생기의 Pulse Period를 250  $\mu$ s에서 150  $\mu$ s로 변경하면서 출력 펄스폭을 측정하였다. PRI가 250  $\mu$ s인 경우에는 약 50.022  $\mu$ s로 측정되었고, PRI가 150  $\mu$ s인 조건에서는 약 50.021  $\mu$ s로 측정되었다. 시험 결과, 주파수 및 PRI의 변화에 관계없이 기만신호의 출력 펄스폭이 일정하게 유지됨을 검증하였다. 그림 11은 RF 출력을 스펙트럼 분석기를 이용하여 주파수축에서 주파수 및 잡음대역폭을 측정한 결과이다.

첫 번째로 PRI를 200  $\mu$ s로 고정하고, 주파수를  $\pm 100$  MHz 천이시켜 DRFM 잡음의 잡음대역폭을 측정하였다. 스펙트럼 분석기의 중심주파수를 입력 주파수에 맞게 설정하고, Span 값과 RBW(resolution bandwidth) 및 VBW(video bandwidth)를 출력신호에 맞게 설정하였다. Trace를 Max Hold로 설정하고 Peak Search를 수행하여 peak 신호 대비 -6 dB Point를 잡음대역폭으로 측정하였다. 잡음대



그림 10. 시간축 시험 결과  
Fig. 10. Time base result of test.

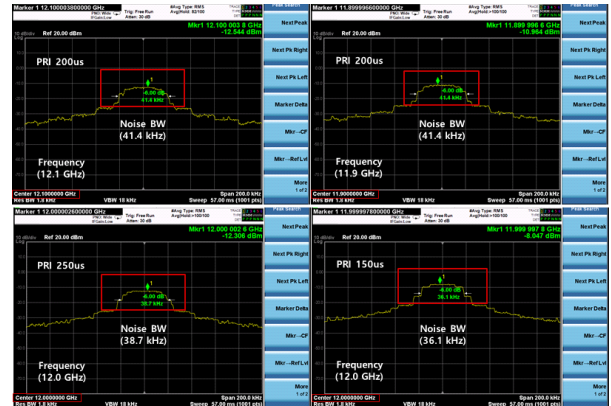


그림 11. 주파수축 시험 결과  
Fig. 11. Frequency base result of test.

역폭은 기존 저장된 신호의 펄스 성분인 20 kHz가 더해지는 것을 감안하여  $40 \pm 4$  kHz를 합부판정의 기준으로 설정하였다. 측정 결과, 주파수가 12.1 GHz인 경우, 약 41.4 kHz로 측정되었고, 11.9 GHz의 조건에서는 약 41.4 kHz로 측정되었다. 두 번째로 주파수를 12 GHz로 고정하고, 모의 신호발생기의 Pulse Period를 250  $\mu$ s에서 150  $\mu$ s로 변경하면서 잡음대역폭을 측정하였다. 측정 결과, PRI가 250  $\mu$ s인 경우, 약 38.7 kHz로 측정되었고, PRI가 150  $\mu$ s인 경우, 약 36.1 kHz로 측정되었다. 시험결과, 주파수 및 PRI의 변화와 무관하게 위협 주파수를 추적하고, 설정한 잡음대역폭 값이 일정하게 유지되는 것을 검증하였다.

### III. 결 론

본 논문에서는 위상 샘플방식의 DRFM 잡음을 이용하여 신호형태가 변하는 최신 위협에 대응할 수 있는 방식을 제시하였다. 기존 기법은 펄스 추적을 통한 사전 제어 절차가 필요했으나, 해당 기법은 DRFM의 자체 Detect 기능을 이용하여 실시간으로 적 위협에 대응할 수 있도록 구현하였다. 또한 기만 효과를 향상시키기 위해 위협신호가 검출되면 임의의 대역폭을 가지는 잡음 신호를 합성할 수 있도록하였다. 이를 FPGA에 구현하여 시뮬레이션을 통해 검증하였고, 시제품 제작 및 시험을 통해 그 성능을 검증하였다. 위협신호의 주파수가  $\pm 100$  MHz 천이되고, PRI가  $\pm 50$   $\mu$ s 변하는 환경에서도 출력 펄스폭 및 잡

음대역폭이 일정하게 유지되는 것을 확인하였다.

본 연구를 통해 향후 전자전 체계에서 다양한 위협신호에 대한 신규 기법 개발 및 기만 효과도 분석에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

## References

- [1] M. R. Frater, M. Ryan, *Electronic Warfare for the Digitized Battlefield*, Boston, MA, Artech House, pp. 1-280, 2001.
- [2] Y. I. Choi, S. G. Hong, W. Y. Lee, J. T. Park, and C. H. Lee, "Development of VGPO/I jamming technique for phase sampled DRFM," *The Journal of Korean Institute*

*of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 27, no. 12, pp. 1105-1111, Dec. 2016.

- [3] D. L. Adamy, *EW104 EW Against a New Generation of Threats*, Norwood, MA, Artech House, pp. 99-333, 2015.
- [4] K. Burda, "The performance of the follower jammer with a wideband-scanning receiver," *Journal of Electrical Engineering*, vol. 55, no. 1-2, pp. 36-38, 2004.
- [5] S. G. Hong, W. Y. Lee, J. H. Ryu, and W. H. Shin, "Development of bandwidth controlled noise jamming technique for phase sampling DRFM," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 22, no. 8, pp. 776-783, Aug. 2011.

김 상 수 [LIG넥스원/선임연구원]

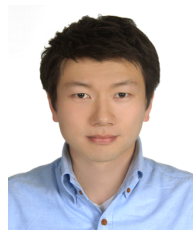
<https://orcid.org/0000-0002-2606-0947>



2008년 2월: 성균관대학교 정보통신공학부 (공학사)  
2007년 12월~현재: LIG넥스원  
[주 관심분야] 전자전 시스템, 전자공격 기법 개발

조 상 왕 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-8799-1684>



2008년 2월: 성균관대학교 정보통신공학부 (공학사)  
2007년 12월~현재: LIG넥스원 선임연구원  
[주 관심분야] 전자전 시스템, RF Receiver, RF Jamming System

김 정 호 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-2027-7774>



2002년 8월: 포항공과대학교 물리학과 (이학사)  
2006년 2월: 포항공과대학교 물리학과 (이학석사)  
2010년 2월: 포항공과대학교 물리학과 (이학박사)  
2009년 9월~2010년 12월: (주)SP Microwave

2010년 12월~현재: LIG넥스원 수석연구원  
[주 관심분야] 전자전 시스템, Microwave, HEMP

고 재 현 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-0692-2220>



1997년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)  
1997년 1월~현재: LIG넥스원 수석연구원  
[주 관심분야] 전자전 시스템, 전자공격 기법 개발

조 제 일 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-3437-2916>



2000년 2월: 경북대학교 전기전자공학부  
(공학사)

2005년 2월: 경북대학교 전자공학부 (공학  
석사)

2005년 2월~현재: 국방과학연구소 선임  
연구원

[주 관심분야] 전자전 신호처리