

FMCW방식 근접신관 신호 추적 기법 개발

Development of Tracking Technique against FMCW Proximity Fuze

홍상근* 최송석* 신동조** 임재문**
 Sang-Geun Hong Song-Suk Choi Dong-Cho Shin Jae-Moon Lim

Abstract

A modern artillery use a FMCW Proximity Fuze for effectively target destruction. FMCW Proximity Fuze can be deceived by Jamming Technique because it uses RF for distance estimation. FMCW Proximity Fuze algorithm is similar to FMCW radar's, but normal Jamming Tech. like Noise and Multitone is useless. Most Shots with FMCW Proximity Fuze have a additional mechanical fuze against RF Jamming. Shots explode by mechanical fuze when Proximity Fuse is Jammed. However, distance Deception is available because shots can not distinguish between deception jamming signal and ground reflected signal. For making Distance Deception Jamming, FMCW signal tracking is demanded. In this paper, we propose a FMCW tracking method and develop the Jammer to show Jamming signal.

Keywords : Deception Jamming(기만재밍), FMCW

1. 서론

현대식 포병의 경우 효과적인 목표 파괴를 위해 근접신관이 장착된 포탄을 사용한다. FMCW방식 근접신관은 기존의 CW도플러 신관이 재밍에 취약함을 보완하기 위해 개발된 방식이다. FMCW방식의 근접신관은 거리측정 방식이 FMCW 레이더와 유사하다. 레이더의 경우 잡음, 다중톤 등에 의해 재밍 효과를 볼 수 있으나 FMCW 방식의 근접신관은 기계적인 접촉식 신관을 추가로 가지고 있어 재밍에 의해 거리측정이 어려

울 때 지표면에 충돌로 인해 폭발할 수 있다. 그러므로 거리 기만을 통해 원거리에서 폭발 시켜 아군의 피해를 최소화하는 방안이 강구되고 있다.

FMCW방식 근접신관은 측정된 거리가 일정거리 이내일 경우 폭발한다. 거리를 다르게 기만하는 것 뿐 아니라 폭발거리 이내로 들어온 것처럼 기만재밍을 수행해야 재밍효과를 기대할 수 있다. 또한 포탄의 경우 고속으로 이동하기 때문에 재머가 신관신호를 수신 후 수초 내에 반응하여야 한다. 이러한 조건하에 재밍의 효과를 높이기 위해 FMCW신호를 빠르게 추적하여 재밍을 수행하여 한다.

본 논문에서는 고속으로 소인하는 FMCW방식의 근접신관의 신호를 추적하는 방법을 제시하고 시뮬레이션과 장치 제작 시험을 통해 검증한다. 시뮬레이션을 통해 추적 기법의 검증 및 추적의 세부 과정을 설계

† 2010년 6월 17일 접수~2010년 8월 13일 게재승인

* (주)LIG넥스원

** 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 홍상근(hongsangeun@lignex1.com)

하였다. 추적 기법을 적용한 포탄방어장치를 제작하여 주입된 FMCW 신관신호를 탐지 및 추적하여 재밍신호를 출력하도록 한다. 출력된 재밍신호가 원신호(FMCW신호)를 추적 재밍하는 것으로 추적 기법의 타당성을 확인한다.

2. FMCW방식 근접신관 신호추적 기법

FMCW방식 근접신관은 거리를 측정하기 위해 FMCW 레이더와 같은 원리를 사용한다. FMCW를 이용한 거리 측정은 신호의 세기가 아닌 송수신 출력의 주파수 차이를 이용하여 거리를 산출한다. 송신 신호와 수신 신호간의 시간차 T, 소인 대역폭 B, 소인 주기 T_m, 도플러 천이 주파수 fd일 때 아래 Fig. 1과 같이 도시할 수 있다^[1,2].

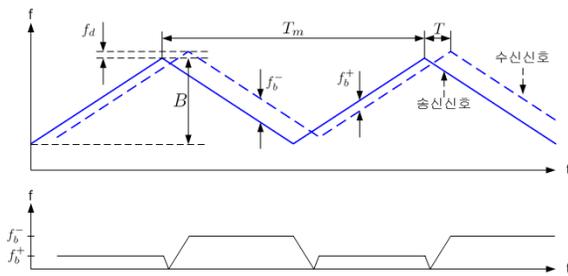


Fig. 1. FMCW 신호 Diagram

Fig. 1에서의 Beat Frequency인 fb-와 fb+는 식 (1)과 식 (2)와 같이 거리에 대한 식으로 표현된다. 여기서 도플러 주파수 특성을 배제하여 거리 R로 정리하면 식 (3)과 같다.

$$f_b^- = \frac{4BR}{cT_m} + f_d \quad (1)$$

$$f_b^+ = \frac{4BR}{cT_m} - f_d \quad (2)$$

$$R = \frac{cT_m}{4B} \frac{f_b^- + f_b^+}{2} \quad (3)$$

기만재밍을 하기 위해서는 거리 R을 폭발동작거리보다 작게 해야 한다. 이를 위해 Fig. 2에서와 같이 재

밍신호의 소인 속도를 신관신호보다 약간 빠르게 하고 주기적으로 지연을 주어 폭발동작거리에 이내로 계속 들어가도록 한다^[3].

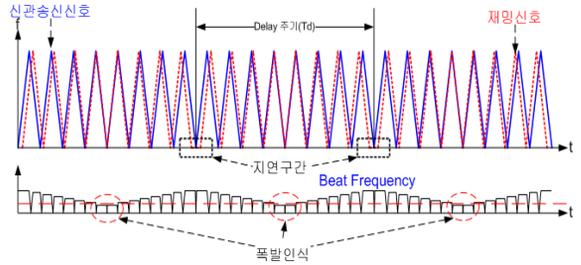


Fig. 2. 재밍 지연 및 반복 개념도

위와 같이 신관 신호를 추적하여 재밍하는 경우 수신한 신호의 현재 주파수 위치를 정확히 알고 추적을 해야만 효과가 있다. Fig. 3과 같이 잘못된 시점에서 추적하여 재밍을 할 경우 기만신호에 의해 폭발동작거리 이내로 들어 갈 수 없게 되어 재밍효과를 기대할 수 없다.

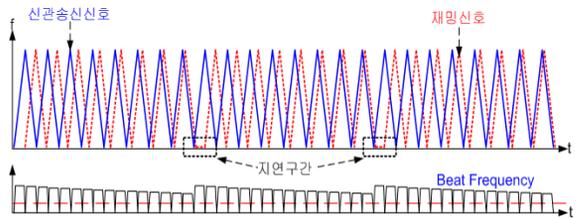


Fig. 3. 잘못된 추적재밍 개념도

3. 신관신호 추적 동기화 방안

신관신호를 추적하기 위해 IF 대역에 대역폭이 좁은 SAW filter를 사용한다. 신관신호의 주파수가 상향 진행 중인지 하향 진행인지 구분하기 위해 IF 대역의 중심주파수는 신관신호 대역폭의 중심 주파수에서 대역폭의 1/4만큼 천이되도록 설정한다. IF 대역의 신호 레벨은 신관신호의 소인으로 인해 시간에 따라 변하게 되는데 이를 이용하여 소인의 시작하는 시점을 역으로 산출한다. 이는 고정된 신호를 빠르게 LO를 Sweep하여 수신하는 Compressive 수신기와 같은 원리이다. Fig. 4는 신관신호 추적의 원리를 개념적으로 나타낸 것이다.

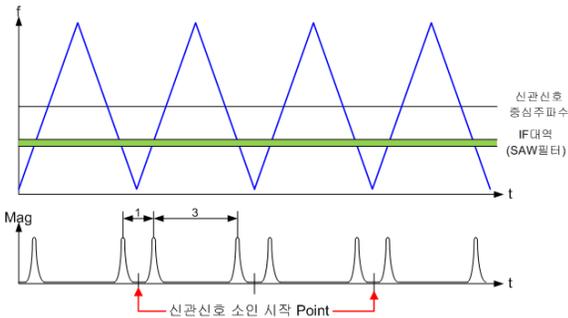


Fig. 4. 신관신호 추적 개념

4. 신관신호 추적 동기화 시뮬레이션

신관신호 추적 동기화 방안의 타당성을 확인하기 위해 시뮬레이션을 Matlab Simulink를 이용하여 수행하였다. 시뮬레이션은 IF 대역에서만 수행하였다. 신관신호는 SNR이 약 10dB가 되도록 AWGN Channel을 사용하였다. 인접한 신호에 영향을 받는지 여부를 확인하기 위해 신관신호 대역 안에 신관신호 대비 10dB 이상 큰 간섭신호(Sine Wave)를 넣어 시뮬레이션을 수행하였다. 아래 Fig. 5는 시뮬레이션 블록도이다. Fig. 6은 입력 스펙트럼으로 신관신호와 간섭신호의 레벨차를 확인할 수 있다.

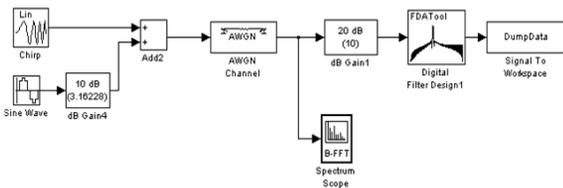


Fig. 5. 시뮬레이션 블록도

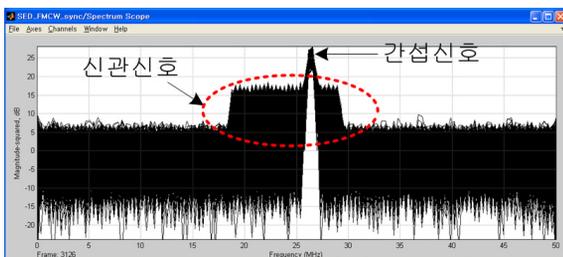


Fig. 6. 입력 스펙트럼

시뮬레이션에서 필터를 통과한 신호는 100MHz

Sampling rate로 Workspace에 Dump하여 Script를 이용하여 처리한다. Dump한 데이터를 가지고 Envelope 검출과 Peak 탐색을 하여 신관신호 소인 시작 Point를 산출한다. Fig. 7은 처리한 결과를 과정에 따라 나타낸 그래프이다.

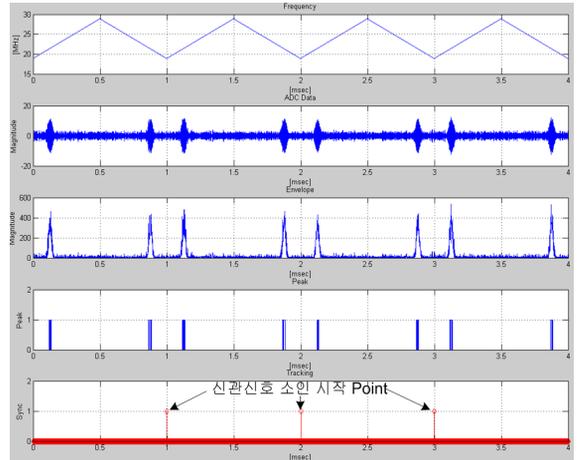


Fig. 7. 시뮬레이션 결과

Fig. 7의 첫 번째 그래프는 시간 축에서 신관신호의 주파수 변화를 나타낸 것으로 Dump한 데이터를 이용하여 계산한 것이 아니라 신관신호 소인 설정값으로 추정하여 그린 것이다. 두 번째 그래프는 입력 신호가 필터를 통과하여 Dump된 신호를 그린 것으로 100Mbps로 ADC한 값과 동일하다. 세 번째 그래프는 ADC값의 Envelope 크기를 산출한 것으로 과거 10개의 Envelope을 평균 내어 출력한다. 네 번째 그래프는 Envelope을 임의의 Threshold를 걸어 비교한 결과 값이다. Threshold를 넘은 각각의 Peak값은 자신의 신호 크기를 가지고 인접한 Peak와 비교하여 하나로 통합된다. 시간 축 상에서 바로 인접한 Peak값의 간격을 검사하여 둘 사이가 신관신호 소인 주기의 1/4에 근사한 경우 두 Peak의 중간 지점이 신관신호 소인 시작 Point이다. 이렇게 찾은 소인 시작 Point들의 간격이 소인 주기와 비슷한 것만 걸러내어 출력한 것이 다섯 번째 그래프이다. 여기서 실제 구현 할 때 다섯 번째 그래프를 만드는 과정은 DSP에서 처리하고 나머지 ADC이후 전 과정은 FPGA에서 처리한다. 시뮬레이션 결과에서 보듯이 신관신호 대역에 큰 간섭신호가 있어도 IF중심 주파수에 들어오지 않으면 신관신호의 소인 시작 Point를 검출하는데 문제가 되지 않는다.

5. 신관신호 추적을 위한 장치 제작

FMCW 근접신관 신호를 추적 및 재밍을 하기 위한 장치를 Fig. 8과 같이 제작하였다. RF수신관은 수신신호를 Down-Conversion하여 광대역 IF와 SAW Filter를 통과 시킨 협대역 IF를 출력한다. 신호처리판에서 2개의 IF신호를 ADC로 샘플링하여 FPGA와 DSP를 이용하여 추적 및 동기화 과정을 수행한다. 추적한 결과를 바탕으로 재밍발생판은 재밍신호로서 신관신호를 모의하여 출력한다. RF송신관은 재밍발생판의 광대역 출력신호를 Up-Conversion한다. LO발생판은 Up/Down-Conversion을 위한 LO를 공급하는데 고속 주파수 소인을 하기에 무리가 있어 소인 용으로는 사용하지 않는다. 신관신호를 모의하기 위한 주파수 소인은 재밍 발생판에서 수행한다.

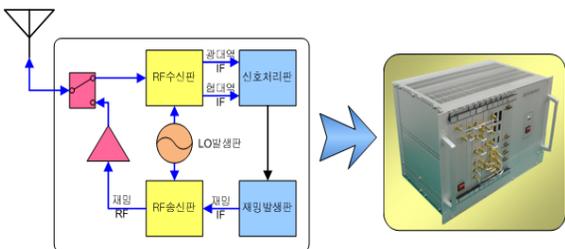


Fig. 8. 장치 개략 블록도 및 형상

FMCW 근접신관 신호 추적을 실제로 수행하는 곳은 신호처리판이다. 광대역 IF신호는 신호를 탐지 하는데 사용한다. FFT를 통해 신호를 탐지하여 그 신호 특성이 FMCW형태의 신관신호라 판단되면 협대역 IF를 이용하여 신관신호의 소인 시작 Point를 찾는 추적 과정을 수행한다. 신호처리판의 ADC를 이용 샘플링된 신호는 FPGA에서 Envelope과 Peak를 탐색한다. Fig. 9는 FPGA에서 Envelope과 Peak를 탐색하는 블록도이다. FPGA는 Active-HDL을 사용하여 VHDL로 코딩하였다. Fig. 9에서 U1이 ADC 데이터를 가지고 입력 신호의 크기를 연산하여 출력하고 U2는 순차적으로 들어온 신호의 크기 값을 과거 10개와 평균을 내어 Envelope데이터를 출력한다. U3에서 Envelope 값을 Threshold로 비교하고 인접한 Peak를 하나로 통합하여 출력한다.

Env./Peak 탐색 블록을 FPGA 장입 전에 Active-HDL에서 시뮬레이션 하였다. 입력 ADC 데이터는 Matlab을 이용하여 ROM화 하였다. 시뮬레이션을 위해 Fig.

10과 같이 구성하여 수행하였다. U1은 Env./Peak 탐색 블록이고 U2는 ADC 데이터를 ROM화한 메모리로 입력주소(ADDR)를 100MHz 클럭에 동기하여 증가 시켜 ADC 데이터를 출력시켰다.

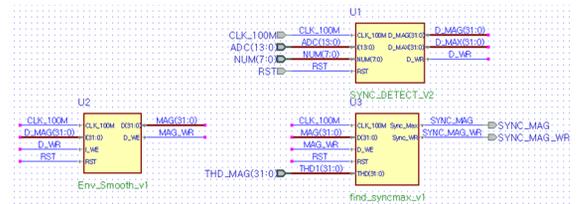


Fig. 9. Envelope/Peak 탐색 블록도

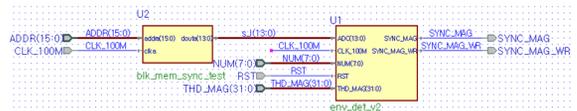


Fig. 10. Envelope/Peak 탐색 블록 시뮬레이션 구성

아래 Fig. 11에서 VHDL로 짠 Env./Peak 탐색 블록이 동작하여 최종 Peak 시점을 출력한 것을 확인 하였다.

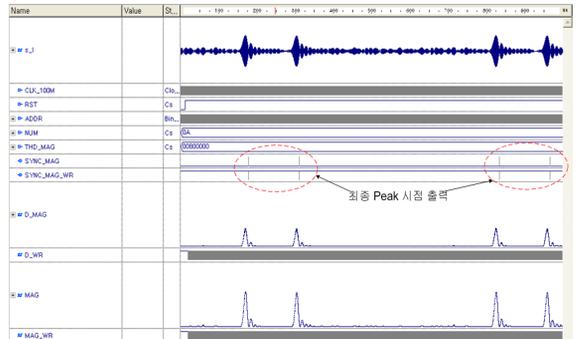


Fig. 11. Envelope/Peak 탐색 블록 시뮬레이션 결과

최종 Peak 시점 정보는 DSP에 전달되어 DSP에서 신관신호의 시작 Point를 산출한다. DSP는 재밍을 위해 현재 시간을 읽어 다음 번 신관신호가 시작할 Point를 재밍발생판에 넘겨준다. 재밍발생판은 신관신호 시작 Point에 맞춰 추적 재밍 신호를 생성한다. 신호처리판과 재밍발생판은 시간 동기화를 위해 Hot line 연결되어 있다. 신호처리판의 FPGA와 DSP, 재밍발생판 사이의 데이터를 연동에 관한 재밍 발생 시퀀스는 Fig. 12와 같다.

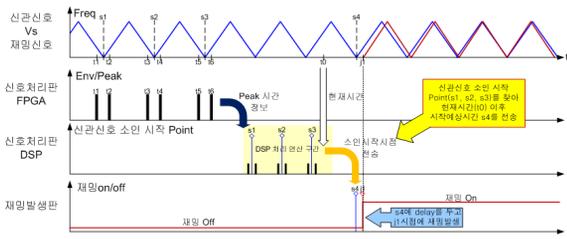


Fig. 12 재밍 발생 시퀀스

6. 신관신호 추적 재밍 시험

FMCW 신관신호 추적 기법의 타당성을 확인하기 위해 추적 재밍을 수행 하였다. 신관신호를 추적하여 시작 point를 동기화하는 목적이 효과적인 재밍에 있기 때문이다. 시험 구성은 아래 Fig. 13과 같이 구성 하였다.

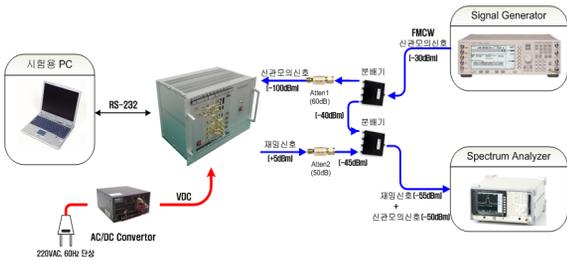


Fig. 13. 시험 구성도

제작된 장치는 송수신 스위치를 이용하여 송수신을 한 개의 port로 교환하지만 시험을 위해 송수신 스위치와 재밍 출력의 연결을 끊고 재밍 출력을 RF splitter를 통해 계측기에 연결하였다. 신관신호는 Signal Generator를 이용하여 모의하여 장치에 주입하였으며 중심주파수 450MHz, 신호세기 -30dBm, 소인 대역폭 2MHz, 소인주기 1msec로 설정하였다. 신관모의신호는 감쇄기와 RF splitter를 거쳐 장치에 약 -100dBm의 신호세기로 들어간다. 신관모의신호를 추적하여 생성된 재밍신호는 약 +5dBm으로 출력하여 Spectrum Analyzer에서 신관모의신호보다 약 5dB 작게 입력되도록 하였다. 추적 여부를 확인하기 위해 신관모의신호와 재밍신호를 동시에 볼 수 있도록 Combine할 때 신과모의신호를 기준 Trigger신호로 잡기 위해 재밍신호보다 약간 크게 하였다.

포탄방어장치는 주요 알고리즘의 동작을 확인하기

위해 FPGA에서 추적 과정 중의 데이터 일부를 메모리에 저장 할 수 있도록 하였다. 시험용 프로그램을 이용하여 저장된 데이터를 읽어 Fig. 14와 같이 도시화 하였다. Fig. 14는 8,000μsec 동안 추적 과정 중 ADC 데이터에서 Envelope를 추출한 데이터(MAGX)와 그를 이용하여 추출한 Peak값(Envelope/Peak)을 나타낸다. Envelope/Peak데이터는 DSP에서 읽어 신관신호 소인 시작 Point를 찾는 데 사용한다.

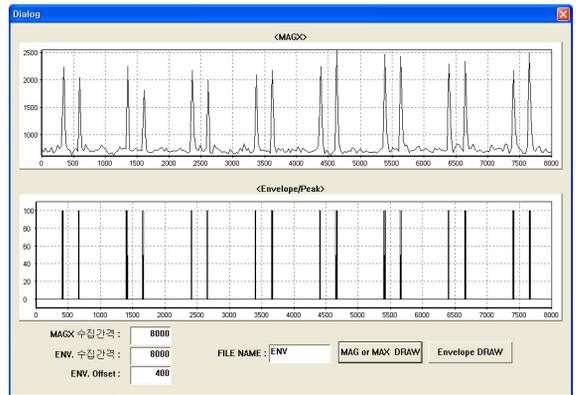


Fig. 14. Envelope/Peak 탐색 수집 데이터

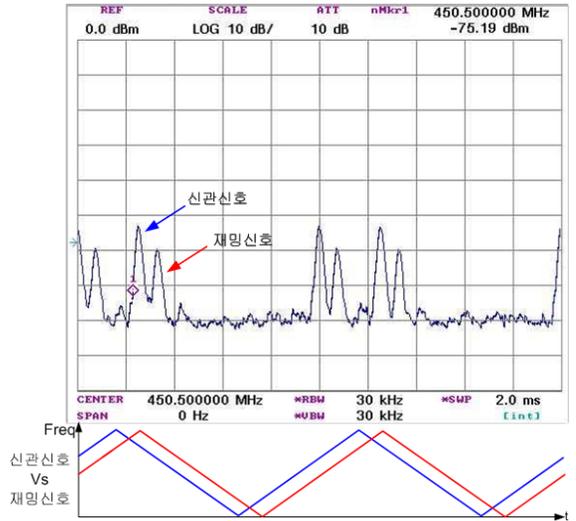


Fig. 15. 재밍 결과 스펙트럼 1

추적 재밍 여부를 알기 위해 Sepctrum Analyzer의 Span을 0로 하여 Center Freq의 신호세기 변화를 확인 하였다. 재밍신호에 의해 1초에 2회 정도 폭발인식 구간을 Cross하도록 재밍 주기를 설정하였다 그러므로

재밍신호와 신관모의신호를 같이 볼 수 있게 하여 눈으로 확인하였다. Fig. 15부터는 18까지는 시험 스펙트럼으로 폭파 시점을 1회 지나는 과정을 순차적으로 나타낸 것으로 알기 쉽게 신관신호와 재밍신호의 주파수 변화를 같이 그림으로 나타내었다. 추적을 통해 재밍신호는 신관신호를 기만하여 폭발인식 거리로 이내 들어가는 것처럼 재밍하였다. 재밍신호는 재밍결과 스펙트럼 1~4의 과정 재밍 구간 동안 계속 반복하여 여러 번 기만을 시도 할 수 있도록 한다.

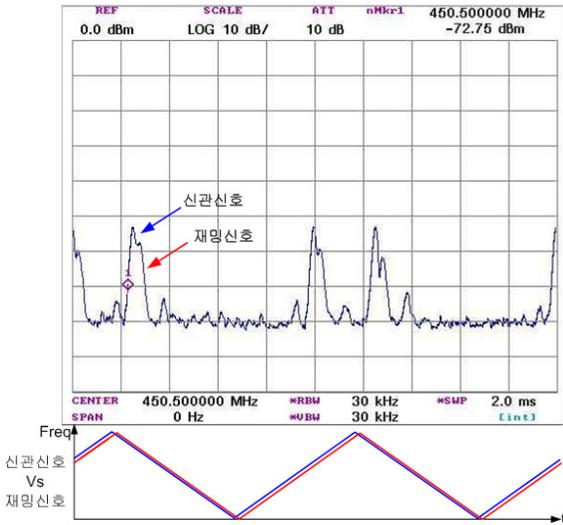


Fig. 16. 재밍 결과 스펙트럼 2

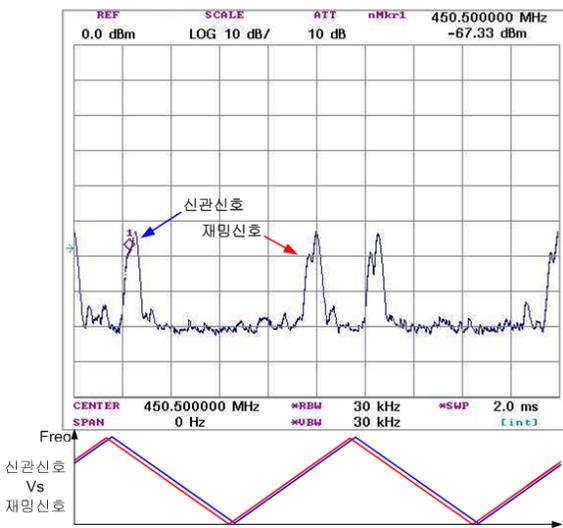


Fig. 17. 재밍 결과 스펙트럼 3

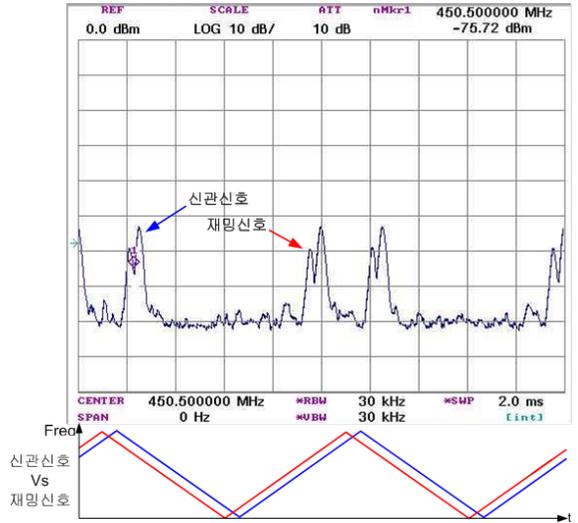


Fig. 18. 재밍 결과 스펙트럼 4

7. 결론

본 논문에서 FMCW 방식의 신관을 추적하기 위해 소인 시작 Point를 SAW 필터를 이용하는 방법을 제시 하였다. 제시한 방안이 타당성을 Matlab을 이용하여 시뮬레이션으로 확인 하였다. 포탄방어장치 제작하여 신관모의신호 추적 과정의 데이터를 수집하여 그래프로 쉽게 확인 하였으며 실제 재밍 신호가 신관모의신호를 추적 기만 재밍 하였다. 추적 과정의 ADC 샘플링 이후 과정을 FPGA를 이용하여 대부분 처리하여 추적이 소요되는 시간을 최대한 단축 하였다. 이는 소인 속도가 빠른 신호도 추적하기 위함이다. 특히 본 논문에서 제안한 방식은 좁은 대역폭을 가지고 추적하는 방법으로 인접한 큰 신호가 있더라도 추적이 가능하다는 장점이 있다.

Reference

- [1] 박동국, 한태경, 박인용, 윤천수, “주파수 변조 연속과를 이용한 레벨 측정 시스템 개발에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 제28권 제6호, pp. 497~501, 2004.
- [2] 오우진, “FMCW방식의 자동차 레이더 신호처리부 설계 및 구현”, 전자공학회논문지 제41권 TC 제12

- 호, pp. 77~84, 2004.
- [3] 홍상근, 신동조, 유병석, 최송석, “FMCW방식 근접
신관 대응 재밍기법 개발”, 제1회 신특수·에너지
무기 학술대회 논문집, pp. 75~78, 2009.
- [4] David Adamy, “EW101 A First Course in Electronic
Warfare”, Artech house, 2001.
- [5] Edward J. Chrzanowski, “Active Radar Electronic
Countermeasures”, Artech house, 1990.
- [6] James B. Dabney, Thomas L. Harman, “Mastering
SIMULINK4”, Prentice Hall, 2001.
- [7] Igor V. Komarov, Sergey M. Smolskiy, “Fundamentals
of Short-Range FM Radar”, Artech House Publishers,
2003.