

광대역 레이더의 전자보호기법 시험평가를 위한 재밍시뮬레이터 설계 연구

정회원 이 성 호*, 정 회 인*

A Study on the Jamming Simulator Design for the Test & Evaluation of Broadband Radar's Electronic Protection Techniques

Sung-Ho Lee*, Hoi-In Jung* *Regular Members*

요 약

아군 함정에 탑재된 레이더를 향해 적 플랫폼이 전자재밍을 가하거나 추적방해 신호를 방사하는 경우에도 아군 레이더는 대 전자전 대응능력인 전자보호기능을 이용하여 적 플랫폼의 전자방해로부터 회피하여 지속적으로 적 플랫폼의 추적상태를 유지할 수 있어야 한다. 이러한 레이더의 전자보호기능은 아군 플랫폼의 생존에 필수적인 요소이며, 전자전환경을 모사할 수 있는 재밍시뮬레이터를 활용하여 그 성능을 평가할 수 있다. 재밍시뮬레이터는 1 GHz 이상의 밴드폭을 가지는 광대역 레이더 신호를 수신·분석한 후 신호왜곡을 최소화하는 위상샘플방식의 디지털 고주파기억장치를 이용하여 다양한 기만 및 잡음재밍을 발생할 수 있는 전자전 시험평가장비이다. 본 논문에서는 광대역 레이더 신호의 신호처리 및 재밍발생을 위한 시뮬레이터의 설계내용과 기만 및 잡음재밍 신호발생 알고리즘을 제시하고 실제 해상환경에서 함정 추적레이더를 대상으로 시험하여 유용성을 입증하였다.

Key Words : Radar, Jamming Simulator, Deception, Noise, Electronic Protection

ABSTRACT

When an enemy platforms transmit electronic jamming or tracking interference signal to a friendly ship's radar, the radar have to avoid the jamming and to track targets continually without losing the targets with the electronic protection techniques. Electronic protection is an essential key for a platform to survive in electronic warfare, for this purpose, jamming simulator was developed to provide electronic warfare environments for the test and evaluate the effectiveness of radar's electronic protection techniques.

Jamming simulator has ability to generate a variety of deception and noise jamming signals using the DRFM which minimize phase distortions of 1GHz broadband radar signal with the phase sampling method. This paper presents the design contents of the jamming simulator to process the analysis of broadband radar signal and generate jamming signal, also proposes the algorithms of the deception and noise jamming and verifies the effectiveness of the simulator by field trial.

I. 서 론

현대의 전장환경은 하드-킬(hard-kill)에서 점차 소

프트-킬(soft-kill) 환경으로 변화되고 있으며 이중에서도 특히, 전자전 분야의 중요성이 증대되고 있다. 해상에서 활동하는 함정의 경우 적 항공기와 플랫폼의

* 국방과학연구소 해양시험부 (hijung@add.re.kr)

논문번호 : KICS2009-12-644, 접수일자 : 2009년 12월 30일, 최종논문접수일자 : 2010년 5월 18일

후방원격지원 재밍하에서 대전자전 전술수행 능력은 아군 플랫폼 생산성을 보장함에 있어 매우 중요한 요소이다. 함정의 추적레이더는 이러한 전자전 환경에서 적 플랫폼 및 유도무기를 탐지, 식별하고 위협이 사라질 때까지 추적상태를 지속적으로 유지할 수 있어야 한다. 추적레이더의 대 전자전 대응능력인 전자보호능력과 관련한 전술훈련은 적 플랫폼의 재밍장비를 모사할 수 있는 재밍시뮬레이터를 활용하여 수행할 수 있으며^[1], 국내에서는 해외도입 전자전 훈련장비(EWT; Electronic Warfare Trainer)를 이용한 제한된 수준의 전자전훈련이 진행되고 있으나 레이더의 전자보호 성능시험은 거의 이루어지지 않는 실정이다. 전자보호성능 시험평가를 위한 가상의 적 플랫폼에 대한 기본적인 요구사항은 적 항공기와 같이 낮은 레이더 반사면적(radar cross section)을 갖는 플랫폼에서 레이더 신호를 수신·분석하고 다양한 전자전 전술 시나리오에 따라 재밍신호를 발생하여 실시간 방사가 가능해야 한다. 또한, 레이더의 신호처리·분석 및 재밍신호 발생을 위해서는 최신 레이더의 성능분석이 선행되어야 하는데 최신의 추적레이더는 광대역 주파수 운용, 모노펄스처리, 펄스 압축기법의 사용, 주파수 급속변경 및 다양한 펄스 변조기법을 구현하여 한층 강화된 대 전자전 능력을 갖추고 있다^[2].

본 논문에서는 전투함정에 탑재된 추적레이더의 전자보호 성능시험 목적으로 개발된 시험선 탑재형 재밍시뮬레이터의 설계, 제작 및 시험 내용에 대해 기술한다. 본 논문의 구성은 II장에서 재밍시뮬레이터를 구성하는 신호동조기, 신호처리기, 기만신호발생기 및 잡음발생기의 설계·구현방안에 대해 설명하고 III장에서 재밍시뮬레이터의 기능을 포함한 실험결과와 실제 해상환경에서 시험결과를 기술하고 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 광대역 신호처리 및 기만기 설계

재밍시뮬레이터는 레이더 신호분석을 위한 신호동조기와 신호처리기, 그리고 재밍신호 발생을 위한 기만신호발생기와 잡음발생기 및 주파수 상향변환반으로 구성되어 있다. 신호동조기는 광대역으로 운용되는 레이더 신호를 중간주파수 대역인 IF (intermediate frequency) 대역으로 주파수 하향변환하는 기능을 수행하며, 신호처리기에서는 하향변환된 IF 신호의 펄스 특성과 주파수특성을 분석한다. 기만신호발생기는 디지털 고주파기억장치를 이용하여 레이더의 IF 신호를 디지털 신호로 변환하여 메모리에 저장하고 기만기법

에 따라 펄스 출력시간을 지연하거나 펄스폭 확장 및 허위표적 데이터를 생성하고 변조된 디지털 신호에 대해 IF 신호로 변환하여 출력한다. 그리고 기만신호 발생기 후단의 프로그래머블 감쇄기를 제어하여 펄스의 진폭을 일정한 규칙으로 변조함으로써 레이더 방위기만 신호를 생성한다. 잡음발생기 및 주파수 상향변환반은 점, 광대역 및 소인잡음을 생성하여 기만신호발생기의 기만신호와 결합하고 주파수 상향변환하여 시험대상 추적레이더로 송신한다.

2.1 신호동조기 설계

신호동조기는 2~18GHz 주파수 범위의 레이더 신호를 중심주파수 3GHz, 순시대역폭 1GHz의 IF 신호로 하향 변환한다. 그림 1은 신호동조기의 주파수 하향변환 구성도를 나타낸다.

주파수 변환은 스펙트럼 플랜을 수립하여 식 (1)의 상호변조신호(intermodulation distortion) 발생여부를 확인한다.

$$IF = \pm(m \times RF) \pm (n \times LO) \quad (1)$$

$m, n = 1, 2, 3, 4, \dots$

스펙트럼 플랜 계산결과를 살펴보면 2~8GHz 대역의 경우 그림 2에서처럼 RF 5.5~6.5GHz 대역에 대해 3GHz 대역의 IF 신호로 직접 하향변환을 수행하면 원하는 밴드폭내에서 3차 이상의 상호변조신호가 발생한다. 따라서 2~8GHz 대역은 그림 3에서처럼 국부발진기 LO1과 LO2를 이용하여 9.5~10.5GHz 대역으로 1차 주파수 상향변환을 수행한 후 3GHz의 IF 대역으로 2차 주

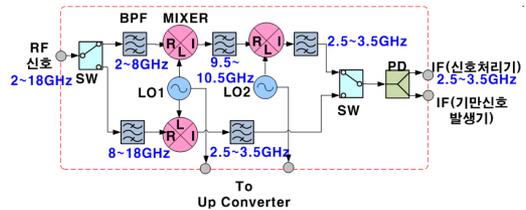


그림 1. 주파수 하향변환 구성도

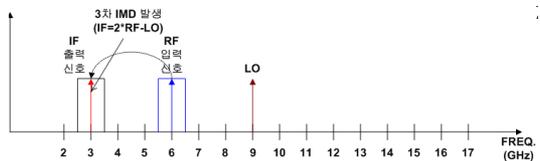


그림 2. 1차 하향변환에 의한 IF 밴드폭내 상호변조신호 발생

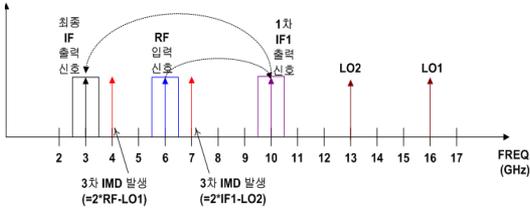


그림 3. 1, 2차 하향변환에 의한 IF 밴드내 상호변조신호 제거
 파수 하향변환을 수행하면 최종 IF 대역내에 상호변조신호를 피할 수 있다. 8~18GHz 대역은 1차 하향변환만으로 3GHz의 IF 대역으로 변환하여도 상호변조신호는 발생하지 않는다. 신호동조기로부터 변환된 레이더의 IF 신호는 펄스신호 분석을 위해 신호처리기로 입력되고 동시에 재밍신호 발생을 위해 기만신호발생기로 입력된다.

2.2 신호처리기 설계

신호동조기에서 변환된 IF 신호는 그림 4와 같이 순차로그 비디오 증폭기(SDLVA, sequential detector log video amplifier)로 입력되어 로그비디오 신호를 추출한 후 PDW(pulse description words) 수집보드에 입력된다. 그리고 SDLVA에서 증폭된 IF 신호는 디지털 주파수변별기(DFD, digital frequency discriminator)를 거쳐 펄스 내 레이더의 반송주파수 값을 추출한 후 PDW 수집보드에 주파수 값이 입력된다.

PDW 수집보드는 SDLVA로부터 입력된 펄스의 로그비디오 신호에 대해 샘플링을 수행하고 카운터를 이용하여 펄스폭(PW, pulse width)과 펄스반복주기(PRI, pulse repetition interval) 및 신호 크기(PA, pulse amplitude)를 계산하게 된다. 신호처리기의 SBC(single board computer)는 PDW 수집보드에서 계산된 레이더의 펄스정보(PW, PRI, PA) 및 주파수 정보를 이용하여 PDW 데이터를 형성하고 시스템제어부로 전송한다.

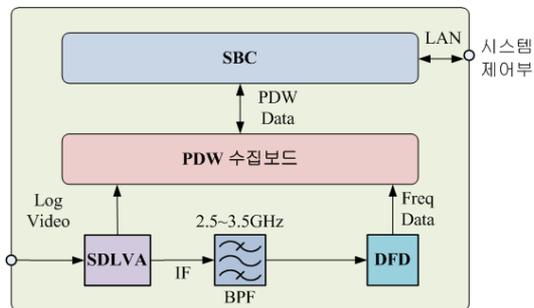


그림 4. 신호처리기 구성도

2.3 기만신호발생기 설계

기만신호발생을 위한 시스템 구성은 입력 IF 신호를 샘플링하여 신호의 주파수와 위상을 함께 기억매체에 저장하는 방식인 디지털 고주파기억장치(DRFM, digital radio frequency memory)를 활용하는 방법이 일반적이다^[3]. DRFM은 레이더 IF 신호의 반송주파수와 위상을 기억하고 있으므로 코히어런트 특성을 가진 레이더 재밍에 유리하다. 기만신호발생기는 그림 5와 같이 500MHz 대역폭을 갖는 2조의 DRFM(LNX-SP030302)을 병렬로 구성하여 최대 1GHz 순시 대역폭 처리가 가능하도록 구성하였다. 신호동조기에서 기만신호발생기로 입력된 2.5~3.5GHz 대역의 IF 신호에 대해 신호처리기에서 분석한 현재 입력펄스의 주파수정보에 따라 대역별로 DRFM-I(2.5~3GHz)과 DRFM-II(3~3.5GHz)로 IF 처리 경로가 나누어지고 시스템제어부의 기만 시나리오에 따라 기만신호발생이 이루어진다.

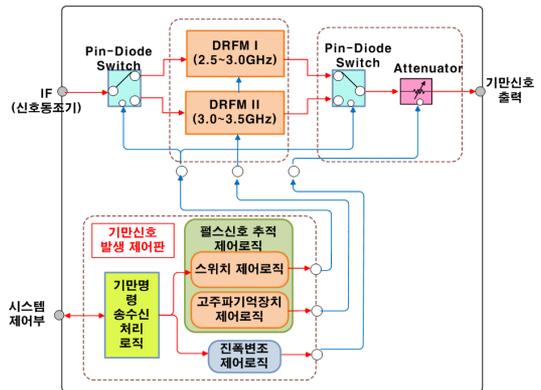


그림 5. 기만신호발생기 구성도

2.3.1 위상샘플방식의 DRFM

위상샘플방식의 DRFM은 그림 6과 같이 IF신호가 입력되면 먼저 리미트 증폭기를 통과한 후 I/Q 믹서에 입력되어 베이스밴드 대역으로 동위상 신호성분과 직각위상 신호성분을 추출한다. 리미트 증폭기를 이용하여 펄스 신호크기를 조정하는 이유는 과도하게 높은 신호레벨은 A/D변환기 출력 오차를 유발하기 때문이다.

I/Q 믹서로부터 추출된 신호성분에서 믹서출력으로 나타나는 왜곡신호는 대역통과 필터로 제거한 후 A/D 변환기로 입력하여 디지털 데이터로 변환한다. 변환된 디지털 데이터의 동위상 및 직각위상 성분의 상대적인 신호크기 정보를 이용하여 신호의 초기 위상과 위상변이를 측정한 후 데이터 인코딩을 수행하여 메모리(DPRAM, dual port RAM)에 저장한다. 메모리에 저장된 데이터의 복원은 지정된 시간만큼 지

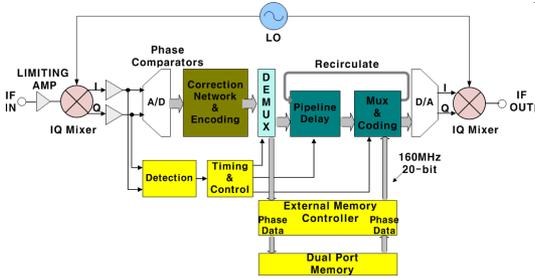


그림 6. DRFM 처리 구성도

연하여 재생하는 시간지연모드와 사용자 임의지정 모드의 두가지 모드가 가능하며 재생시에 메모리에 저장된 초기 위상값과 위상변이값을 이용하여 시간함수로 위상값 추적을 수행하여 최종 보정된 위상을 가지는 데이터를 D/A 변환기로 입력한다. 출력된 신호는 레이더의 표적 반사신호가 허위의 위치를 가르키도록 유도한다^{4,5)}.

2.3.2 기만신호발생 알고리즘

거리기만은 레이더 신호에 대해 수신 거리게이트의 위치를 기만하는 것으로 대표적인 기만기법중 하나이다. 거리기만 구현방식은 포착시간(dwel time), 운용시간(walk time), 유지시간(hold time)의 세 구간을 지나면서 레이더 신호의 거리게이트에 변화를 주게 된다.

거리기만은 그림 7과 같이 선형(linear), 포물선형(parabola), S-커브 형태로 구현가능하며 포물선형의 경우 식 (2)와 같이 구현된다. 여기서 D_T 는 최대 지연 시간, W_T 는 최대 동작시간을 나타낸다.

$$Delay(t) = D_T / W_T^2 \times Walk\ Time(t)^2 \quad (2)$$

구현된 거리기만신호는 그림 8과 같이 레이더의 거리 게이트가 실제 표적신호보다 먼 거리에 있도록 재밍신호를 추적하도록 한다.

속도기만은 레이더 펄스신호내 반송주파수를 변조

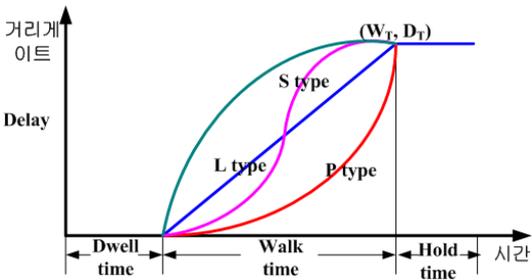


그림 7. 거리기만 구현 방식

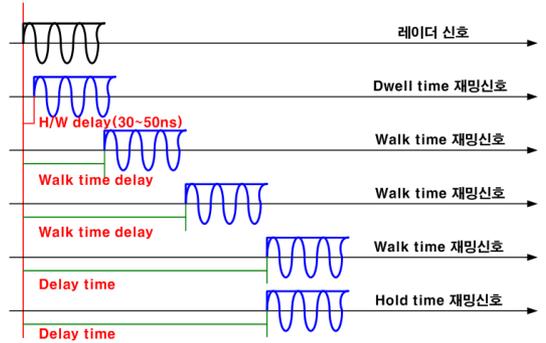


그림 8. 거리기만 개념

하여 레이더의 도플러 추적을 기만하는 재밍기법으로 도플러 변조라고도 한다. 속도기만의 구현개념은 거리기만과 동일하다. 차이점은 거리기만은 레이더의 거리게이트를 기만하기 위해 펄스신호의 출력시간에 변화를 주지만 속도기만은 출력 펄스신호내 주파수값을 변화시킨다. 포착시간, 운용시간, 유지시간 구간으로 동작되며 거리기만과 통합되어 복합기만으로 운용 시 효과적이다. 일반적으로 표적에 대한 레이더 수신신호의 도플러 주파수 변이는 다음 식과 같다.

$$f_d = \frac{2f_c V_r}{c} \quad (3)$$

여기서 f_d 는 도플러 주파수 변이값, V_r 는 레이더에 대한 표적의 상대속도, f_c 는 레이더 반송주파수, c 는 광속도이다. 만일 표적이 등속 운동임을 가정하여 거리기만과 속도기만의 복합재밍을 생성할 때 표적속도 V_r 은 레이더로부터 표적의 최대 이동거리 R 을 최대 동작시간 W_T 로 나눈값이며, 거리 R 은 최대 지연시간과 광속의 곱에 1/2과 같기 때문에 아래 식과 같이 계산될 수 있다.

$$V_r = \frac{R}{W_T} = \frac{c \times D_T}{2 \times W_T} \quad (4)$$

위 식을 식 (3)과 결합하면 다음과 같은 도플러 주파수 변이값이 계산된다. 계산된 도플러 변이값을 속도기만기법의 입력 파라미터로 이용한다.

$$f_d = \frac{2f_c V_r}{c} = \frac{2f_c}{c} \times \frac{c D_T}{2 W_T} = f_c \frac{D_T}{W_T} \quad (5)$$

그림 9는 속도기만 구현방식을 나타내며 운용시간

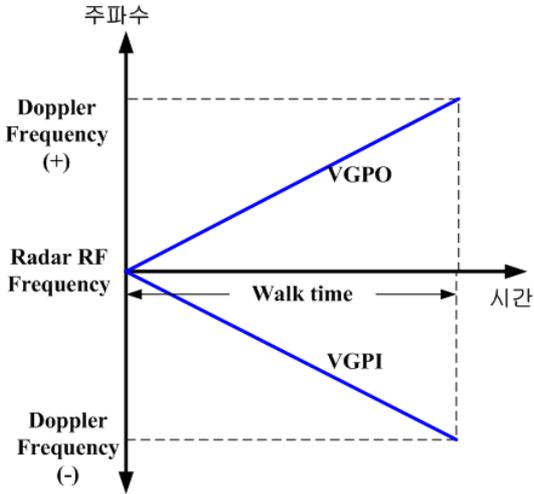


그림 9. 속도기만 구현 방식

동안 레이더를 기준으로 표적이 멀어지면 도플러 주파수가 작아지는 VGPI(velocity gate pull in)와 표적이 가까워지면 도플러 주파수가 높아지도록 하는 VGPO(velocity gate pull off) 방식으로 구현될 수 있으며 거리기만 기법과 복합적으로 사용된다.

각도기만은 레이더의 각도추적 오차를 유발하기 위해 레이더의 보어사이트(boresight)의 주엽(mainlobe) 영역에 신호레벨이 상대적으로 약한 신호를 주입하고 부엽(sidelobe) 영역에 강한 신호를 주입하여 결과적으로 레이더가 수신하는 신호레벨이 강한 부엽방향으로 추적하도록 하는 방위 기만기법이다. 이는 기만신호발생기 출력신호에 프로그래머블 감쇄기를 제어하여 진폭크기를 조절하고 진폭변조 사용률(duty cycle)을 가변하는 방식으로 구현될 수 있다. 그림 10은 시간에 따라 소인(sweep)하면서 진폭변조 사용률에 적

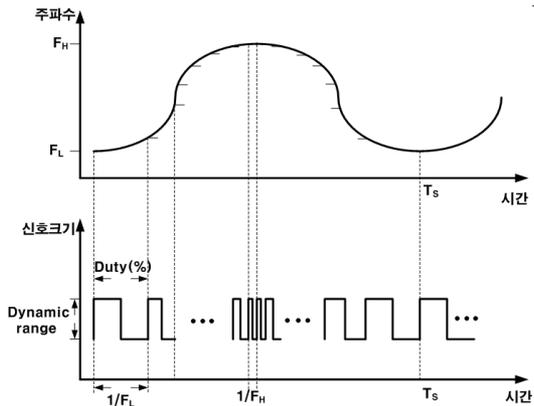


그림 10. 각도기만(비선형 소인) 구현 방식

용되는 주파수 변위가 정현파 패턴을 가지도록 구현한 경우이다.

각도기만 신호발생 파라미터는 진폭변조범위(dynamic range), 상한주파수(F_H)와 하한주파수(F_L), 그리고 패턴발생주기(T_s) 등이 있으며 시간영역에서 해상도 기준으로 연속적으로 변화하는 비선형 소인방식과 패턴발생주기 대신 주파수별 고정 유지시간을 적용한 선형소인 방식 등 두 가지 방식으로 구분하여 구현하였다.

2.3.3 주파수 상향변환반 및 잡음발생기 설계

주파수 상향변환반은 그림 11에 나타난 것과 같이 DRFM 모듈에서 출력되는 2.5~3.5GHz 신호를 레이더 주파수 대역으로 상향변환한다. 주파수 상향변환에 사용하는 국부발진 신호는 신호동조기에서 주파수 하향변환 시 사용했던 동일한 국부 발진기의 출력신호를 이용한다. 상향변환과정은 레이더 주파수가 2~8GHz일 경우 1차 상향 주파수 변환을 수행한 후 대역통과 필터를 거치고 2차 하향 주파수 변환을 수행한다. 상향변환과정은 신호동조기에서 하향변환과정의 역순서로 수행한다. 레이더 주파수 8~18GHz일 경우 1차 상향변환만 수행하여 신호결합반으로 출력한다.

잡음재밍은 재밍발생 시나리오에 따라 점(spot), 광대역(barrage) 및 점소인(swept spot) 잡음신호를 발생한다. 잡음신호 발생은 FMOP(frequency modulation on pulse) 제어회로에서 백색잡음 특성을 가지는 잡음소스 신호를 발생하여 디지털 동조발진기(DTO, digital tuning oscillator, GMC-D6218)의 주파수변조 입력단에 입력하고 운용자가 설정한 잡음재밍 종류와 잡음발생 주파수를 입력받아 잡음신호가 발생되도록 구현하였다.

FMOP 제어회로는 그림 12와 같이 잡음재밍 발생 특성이 레이더 수신기의 열잡음과 유사한 백색 가우시안 분포로 가지도록 잡음 다이오드 및 클램핑 회로를 활용하여 구성하였고 잡음대역폭 조절을 위해 사인파형발생기와 결합하여 구성하였다.

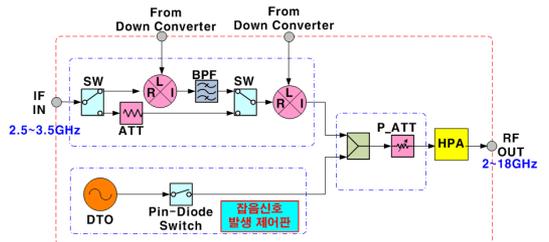


그림 11. 주파수 상향변환 및 잡음재밍

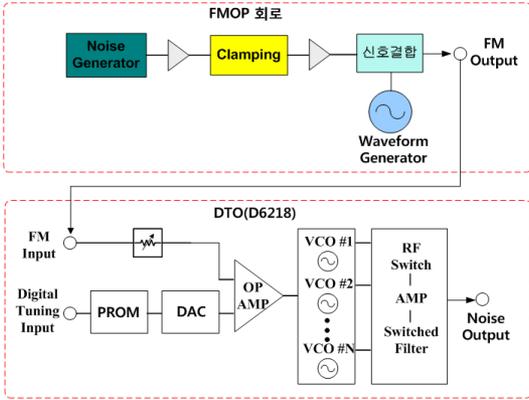


그림 12. FMOP 제어회로를 이용한 잡음신호발생

DRFM의 커버펄스(cover pulse) 신호와 잡음신호가 결합한 형태의 경우, 그림 13과 같이 잡음신호 발생제어판으로부터 출력되는 잡음신호에 대해 DRFM의 커버펄스 비디오신호를 입력받아 펄스폭 구간동안 편-다이오드 스위치를 고속 제어함으로써 구현된다. 커버펄스 기법은 거리기만 기법과 복합적으로 사용할 수 있으며 특히 선행 엣지추적(leading edge tracking) 기능을 보유한 레이더에 효과적인 재밍기법이다.

점소인 잡음의 경우 그림 14와 같이 제한된 대역폭 내에서 주파수 어질리티(agility) 모드로 구현되는 레이더신호에 대해 협대역(BW_N)의 잡음신호를 지정된 대역폭(SW_{freq})만큼 소인하는 잡음재밍 기법으로 다중 위협대응 및 주파수 호핑 레이더에 효과적인 기법이다.

시간에 따른 협대역 잡음의 소인패턴은 정현파, 톱니파, 삼각파, 랜덤파형으로 구현가능하며 정현파의 경우 그림 15와 같이 소인 중심주파수에서 소인주기만큼 사인함수를 이용하여 식 (6)의 계산식에 따라 주파수 소인을 수행한다.

$$Freq(n) = CF + SW_{freq} / 2 \cdot \sin(2\pi / SW_{time} \cdot n) \quad (6)$$

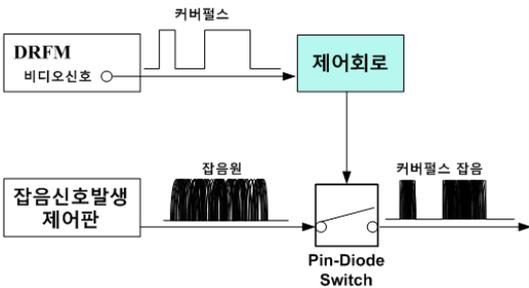


그림 13. 커버펄스 잡음

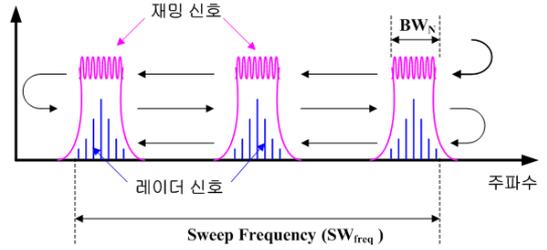


그림 14. 점소인 잡음

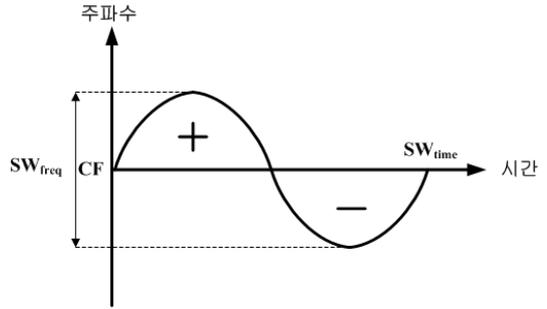


그림 15. 점소인 형태(정현파)

여기서 CF는 소인 중심 주파수, SW_{freq}는 소인 대역폭, SW_{time}는 소인주기를 나타낸다.

이상과 같이 레이더 전자보호 성능시험을 위하여 신호동조기, 신호처리기, 기만신호발생기, 주파수 상향변환반 및 잡음발생기로 구성되는 광대역 재밍시물레이터를 구현하였으며 레이더 신호수신을 위하여 재밍시물레이터 전단에 2~18GHz 대역의 방향성 수신 안테나와 주파수 경로에 따른 신호의 증폭 등, 레이더 신호 전처리기능을 수행하는 RF 모듈을 추가하고 재밍신호 송신을 위하여 주파수 상향변환반 후단에 고출력 증폭기와 송신 안테나를 구성하였다. 재밍시물레이터는 하나의 콘솔형태로 구성하여 국과연 보유 시험지원 함정에 설치하고 시험선 외부감판에 수신 안테나와 송신안테나를 설치하였다.

III. 실험결과

구현된 기만재밍과 잡음재밍 기법에 대한 발생능 검증과 재밍시물레이터의 유용성을 확인하기 위하여 레이더 시험신호에 대해 재밍발생 실험을 수행하였다. 그림 16은 재밍시물레이터의 성능을 확인하기 위한 실험장비 구성을 나타낸다.

시험신호는 레이더 신호발생기를 이용하여 펄스마다 주파수가 변경되는 2단의 주파수 어질리티(8GHz, 8.6GHz) 신호를 발생하여 재밍시물레이터로 입력하였

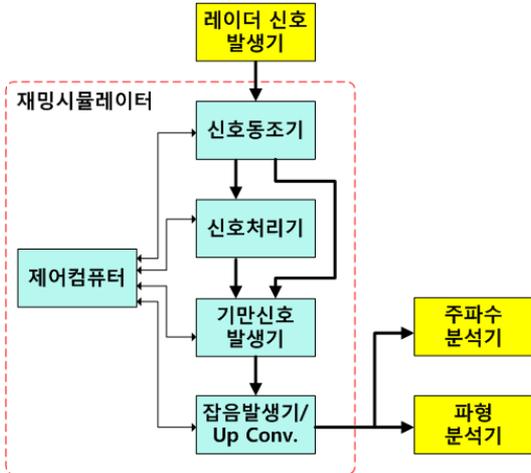


그림 16. 실험장비 구성도

다. 그림 17은 주파수 분석기에서 측정한 레이더 시험 신호를 나타내며 입력된 두 개의 신호에 대해 재밍시물레이터의 기만재밍 및 잡음재밍 신호발생능을 확인하였다.

그림 18은 레이더 시험신호에 대해 거리기만 기법 중 유지시간 종료지점에 훅(hook) 펄스 하나를 가지는 RGPO(range gate pull off) 기법을 나타내고 그림 19는 신호처리기에서 분석한 거리기만 신호에 대한

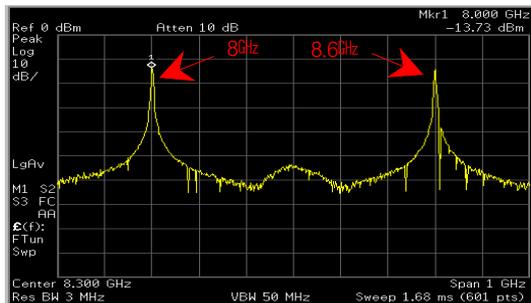


그림 17. 레이더 모사신호

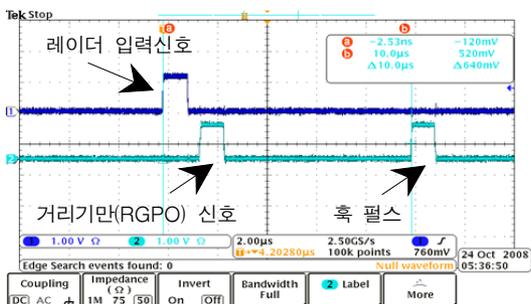


그림 18. 거리기만(RGPO) 펄스특성



그림 19. 거리기만(RGPO)-시간대 펄스반복주기 특성

포물선형태의 시간대 펄스반복주기(time vs pri) 분석 그래프를 나타낸다.

분석그래프에 나타난 것과 같이 거리기만 펄스가 훅 펄스에 가까워질수록 입력레이더 펄스와의 펄스간격이 포물선 형태로 증가되고, 동시에 기만펄스와 훅 펄스의 펄스간격이 역 포물선형태로 감소하고 있음을 알 수 있다. 그림 20은 거리기만 기법중 RGPI(range gate pull in) 기법을 나타내고 그림 21은 RGPI에 대한 S-커브 특성을 갖는 시간대 펄스반복주기 분석 그래프를 나타낸다.

속도기만의 경우 레이더로부터 표적이 멀어지면 수신되는 레이더의 도플러 주파수는 낮은쪽으로 편향되

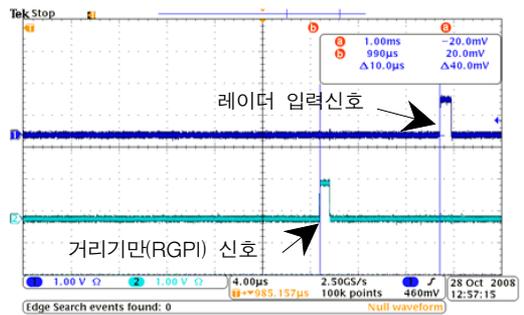


그림 20. 거리기만(RGPI) 펄스특성



그림 21. 거리기만(RGPI)-시간대 펄스반복주기 특성

고 표적이 가까워지면 높은쪽으로 편향된다. 그림 22와 23은 거리기만 RGPO 기법에 대해 속도기만 VGPI 기법을 동시 적용하였을 때 펄스특성 및 주파수특성을 나타낸다. 도플러 주파수가 낮은 쪽으로 이동함을 볼 수 있다.

그림 24와 25는 거리기만 RGPI 기법에 대해 속도기만 VGPO 기법을 동시 적용하였을 때 펄스특성 및 주파수특성을 나타낸다.

그림 26, 27은 펄스반복주기 500 μ s의 레이더 신호에 대해 듀티 사이클 50%, 진폭범위 20dB를 갖는 각

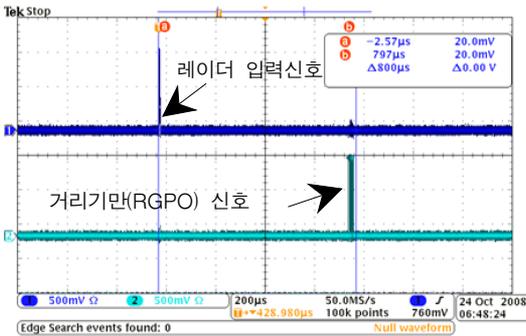


그림 22. 속도기만(RGPO+VGPI) 펄스특성

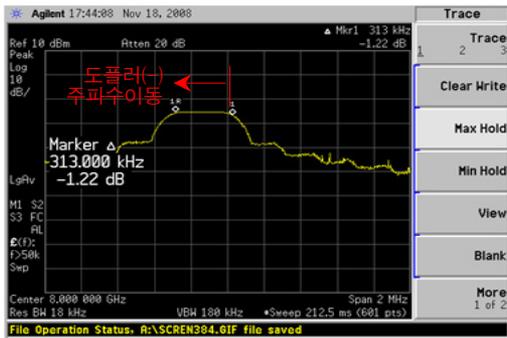


그림 23. 속도기만(RGPO+VGPI) 주파수특성

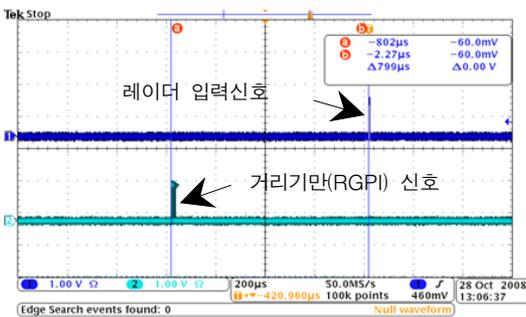


그림 24. 속도기만(RGPI+VGPO) 펄스특성



그림 25. 속도기만(RGPI+VGPO) 주파수특성

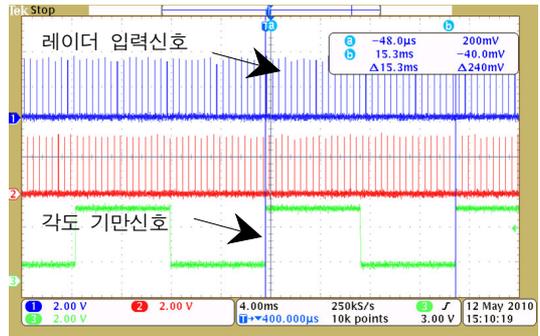


그림 26. 각도기만 시간특성

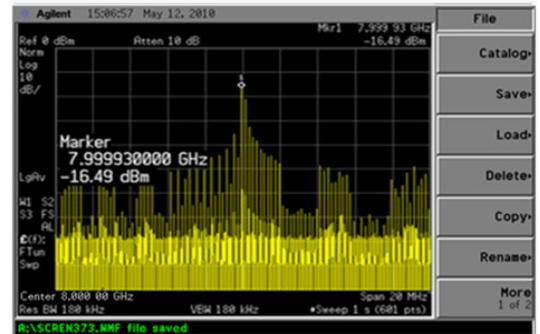


그림 27. 각도기만 주파수특성

도기만 신호에 대한 시간특성과 주파수특성을 나타내며 서로 다른 펄스폭과 주기를 가지는 펄스신호의 주파수특성이 두 신호의 컨볼루션(convolution) 형태로 측정됨을 알 수 있다.

기만신호발생기로부터 출력되는 커버펄스에 잡음이 더해진 형태의 경우, 레이더 입력신호의 전, 후에 각 한 개의 펄스를 추가하고 펄스 폭내 4MHz 대역폭을 가지도록 잡음신호를 발생하였다. 그림 28은 커버펄스의 시간 특성을, 그림 29는 펄스내 잡음의 주파수

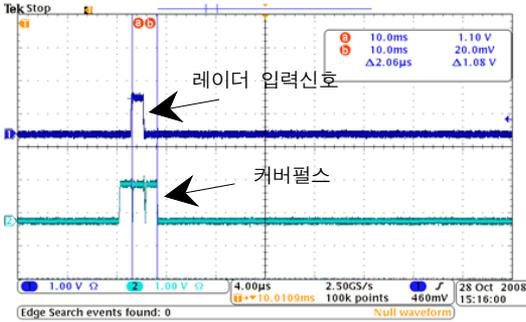


그림 28. 커버펄스 시간특성

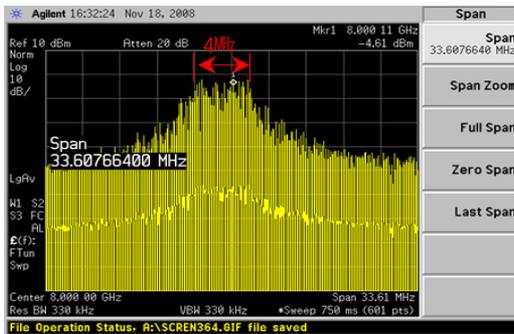


그림 29. 커버펄스내 잡음재밍특성

특성을 나타낸다.

잡음재밍의 경우, 8GHz의 중심주파수에서 8MHz의 점소인잡음, 512MHz의 광대역잡음 발생결과를 그림 30, 31에 나타내었고, 8GHz의 중심주파수에서 소인주기 1초, 8MHz 점잡음을 소인대역폭 256MHz로 소인한 결과를 그림 32와 33에 나타내었다.

이상과 같이 재밍시물레이터의 기만신호 발생특성을 실험실에서 계측기를 이용하여 확인하였다. 다음으로 재밍시물레이터를 국과연 보유의 시험지원함에 설치하여 실제 함정을 대상으로 그림 34와 같이 해상시험을 수행하였다.

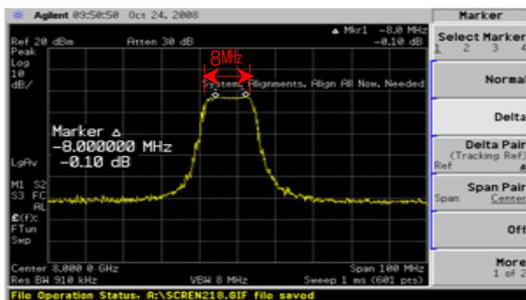


그림 30. 점 잡음(8MHz)

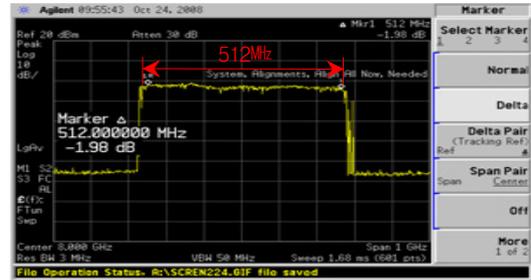


그림 31. 광대역 잡음(512MHz)

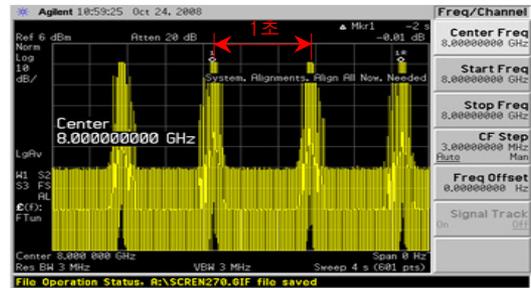


그림 32. 점소인 주기(1초)

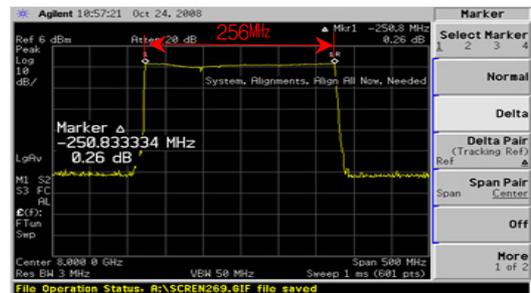


그림 33. 점소인 대역폭(256MHz)

시험함은 추적레이더를 이용하여 시험지원함을 추적하고 시험지원함의 재밍시물레이터는 추적레이더 신호를 수신하여 분석한 후 재밍신호의 대표적인 기만기법 중 하나인 POCP(pull off with cover pulse) 기법을 발생하여 추적레이더로 방사하였다. POCP 기법은 거리기만과 커버펄스, 그리고 펄스내 잡음재밍을 가한 복합기만기법이다. 그림 35는 함정에서 송신하는 레이더 신호와 표적위치에서 발생한 POCP 기만펄스를 나타낸다. POCP 기만은 레이더 펄스신호로부터 펄스폭의 배수만큼 복제하여 RGPO 기법을 가하고 펄스내에 32MHz의 잡음을 실어서 레이더를 향해 방사하였으며 추적상태 여부는 레이더 운용화면을 통해 확인하였다.

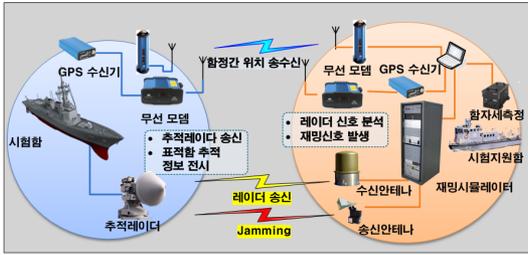


그림 34. 해상시험 구성도

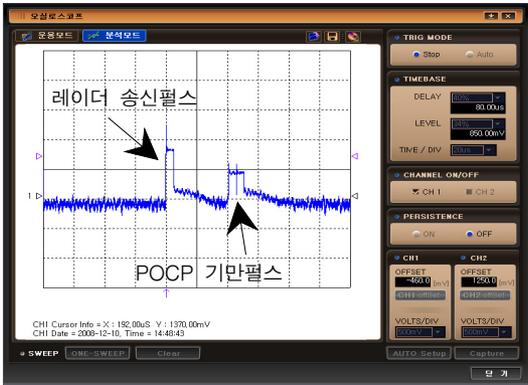


그림 35. POCP 기만신호의 펄스특성

그림 36은 재밍신호 발생전 시험함의 추적레이더가 시험지원함을 정상적으로 추적하고 있는 화면을 나타낸다. 화면상단의 빨간선으로 표시되는 추적게이트가 시험함으로부터 약 5Kysd정도 떨어진 시험지원함의 위치를 지시하고 있으며 화면하단은 추적게이트전, 후로 확대한 화면을 나타낸다. 화면상단에 추적상태가 지속적으로(tracking active) 유지됨을 알 수 있다.

그림 37은 재밍시뮬레이터에서 POCP 기법을 발생

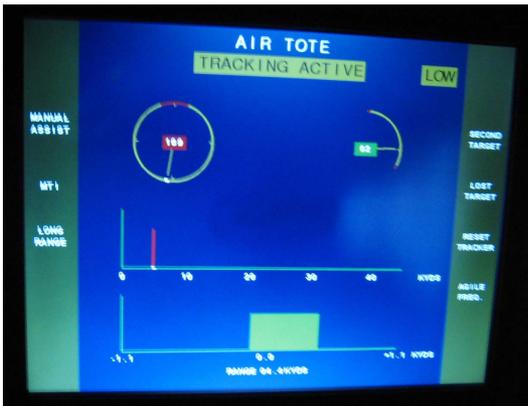


그림 36. 레이더 콘솔화면(표적 정상추적상태)



그림 37. 레이더 콘솔화면(표적 추적소실상태)

하여 추적레이더로 방사했을 때의 레이더 운용화면을 나타낸다. 화면하단에 POCP의 커버펄스 영향으로 추적게이트가 앞, 뒤로 길게 확장되어 표적이 소실되었음(coasting)을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서 제안한 재밍시뮬레이터는 광대역 주파수 범위를 가지고 운용되는 추적레이더의 전자보호 성능시험 목적으로 개발되었으며, 광대역 레이더 신호 처리·분석과 다양한 형태의 기만재밍 신호를 발생할 수 있다. 재밍시뮬레이터로 발생가능한 재밍기법은 거리기만, 각도기만, 허위표적 및 커버펄스 등의 레이더 펄스 기만기법과 레이더 펄스내 반송주파수를 변이시켜 레이더 도플러추적기를 기만하는 속도기만 기법 등이 있고 점, 광대역 및 점소인 잡음 등의 잡음재밍 구현이 가능하다. 또한 각각의 기만기법들을 조합하거나 기만기법과 잡음재밍을 통합하는 복합기법의 구현이 가능하다. 재밍시뮬레이터의 구성은 고주파 및 광대역으로 운용되는 레이더신호를 IF 대역으로 변환하는 신호동조기, IF 신호의 디지털 신호처리를 담당하는 신호처리기, 거리기만과 속도기만등 기만기법을 생성하는 기만신호발생기, 그리고 잡음재밍을 발생하는 잡음발생기와 IF 신호를 레이더 주파수대역으로 상향 변환하는 주파수 상향변환반으로 구성되어 있다. 여기에, 신호동조기 전단에 레이더 수신안테나와 주파수 전처리기 및 주파수 상향변환반 후단에 고출력증폭기와 송신안테나를 시험지원함에 설치하여 실제 해상환경에서 시험함정의 추적레이더에 대한 전자보호 성능시험이 가능하도록 하였다.

실제 제작된 재밍시뮬레이터는 재밍발생 능력을 계

측장비를 이용하여 확인하였고 실제 해상환경에서 합정 추적레이더를 대상으로 재밍시험을 수행하여 재밍시물레이터의 성능과 유용성을 입증하였다. 개발된 재밍시물레이터는 레이더의 전자보호 성능평가와 더불어 레이더 운용자 훈련, 나아가 전자전 환경에서 레이더 및 운용자의 임무성취도를 확인할 수 있는 전자전 효과도 시험평가도 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 김봉석, “전자전 시물레이션 동향”, 국방기술 연구, Vol.4, 1995.
- [2] Merrill I. Skolnik, *Radar Handbook*, McGRAW-HILL, pp.9.16-9.21, 1990.
- [3] D. Curtis Schleher, *Electronic Warfare in the Information Age*, Artech House, pp. 188-189, 1999.
- [4] Michael J. Groden, James R. Mann, “Mixed-Signal ASIC Design for Digital RF Memory Application,” 2004.
- [5] Phillip E. Pace, *Advanced Techniques for Digital Receivers*, Artech House, pp. 270-278, 2000.

이 성 호 (Sung-Ho Lee)



정회원

1991년 2월 한국해양대학교 전자통신공학과
2002년 8월 창원대학교 제어계측과 석사
1991년 3월~현재 국방과학연구소 선임연구원
<관심분야> 레이더 신호처리, 네트워크 자료처리

정 희 인 (Hoi-In Jung)



정회원

1996년 2월 부산대학교 전자공학과
1998년 2월 부산대학교 전자공학과 석사
1998년 2월~현재 국방과학연구소 선임연구원
<관심분야> 레이더 신호처리, 음성신호처리