

論文96-33B-7-17

펄스도플러 레이더 시험장치 개발

(A Development of Test and Evaluation Equipment for Pulsed Doppler Radar)

申鉉翼*, 李正昱*

(Hyun-Ik Shin and Jeong-Wook Lee)

요 약

레이더 시스템 개발 과정에서 시험/평가는 필수적이며, 표준 모의신호에 의한 실험실 시험(in-house test)과 실제 환경에서의 운용시험(field test)으로 크게 구분할 수 있다. 실험실 시험을 수행하기 위해서는 시스템 설계정수 결정시 적용한 신호들을 실시간으로 발생할 수 있는 시험환경이 요구되며, 따라서 모의신호 발생을 위한 범용장비의 사용과 더불어 시험대상 레이더의 타이밍신호발생 등을 위한 특수기능보드 및 운용 소프트웨어의 설계/개발이 필요하다. 본 논문에서는 임의의 표적환경(표적 위치/속도 및 신호 대 클러터비)을 갖는 모의 신호를 실시간으로 레이더(송신기 또는 신호처리기)에 입력하고, 최종 출력인 전시기의 결과를 비교/확인함으로써 레이더 시스템의 기능을 시험/평가할 수 있는 실험실 시험장치를 개발하였다. 개발한 시험장치는 소프트웨어에 의해 각종 시험환경 변수들을 제어할 수 있으므로 2차원 레이더는 물론 3차원 레이더 시험/평가에도 적용할 수 있다.

Abstract

The test and evaluation is an integral part of the radar development process and it consists of two parts, field test and in-house test using a standard simulated signal. To take the in-house test, the test environment is needed to generate the critical signal that is used to determine the system design parameters and consists of general purpose measurement equipments, specialized boards and operating softwares. This paper presents the in-house test environment configuration and its function for radar system. Because this test environment generates the simulated radar signal which has arbitrary flight path and target condition, the developed test environment makes it possible to evaluate the function for radar system. The programmability of test parameters makes it possible to apply a test for 2D and 3D radar system.

I. 서 론

레이더 개발에 있어서 시스템 시험평가는 필수적인 과정이며, 설계단계의 시스템 사양분석과 모의시험, 조립단계의 구성품시험과 실험실에서의 종합/기술 시험 그리고 실제 환경에서의 운용시험 등으로 이루어진다. 레이더의 설계정수는 사양분석 및 모의시험을 통하여

검증되며, 기능/성능평가는 설계정수와 제작된 시스템의 시험결과를 비교/분석함으로써 이루어진다¹⁾.

레이더 개발의 첫단계는 시스템 설계 정수로부터 각 구성품의 설계정수(예 : 송신 전력, 송신 파형, 안테나 빔폭, 수신기 잡음 지수, 신호처리기 성능 등)도출이며, 구성품의 설계 및 제작은 전문 기술 분야별로 별도로 이루어지는 것이 일반적이다. 제작된 구성품들은 하나의 시스템으로 통합되기에 앞서 구성품별 기능/성능 시험 과정을 거치게 되며, 기능 및 성능이 입증되면 실험실에서의 시스템 조립 및 종합 시험이 이루어진다. 이러한 과정을 거쳐 개발된 레이더는 실제 환경에서 운

* 正會員, 國防科學研究所

(Agency for Defence Development)

接受日字:1995年3月20日, 수정완료일:1996年3月20日

용 시험을 통하여 표적 탐지를 비롯한 요구 기능들을 시험/분석하게 된다.

레이더 시험/평가에 있어서 가장 어려운 문제점은 레이더의 시스템 사양이 정량적인 방법에 의해 표현된다는 점이다(예 : 고도 2Km, 강우 2mm/h, 표적 RCS 2m²인 경우 30Km에서 90% 탐지 확률을 갖는 시스템을 설계).

이러한 정량적인 시스템 사양의 검증은 시스템 사양 분석 및 모의 시험 단계에서는 수학적 모델링에 의하여 수행 될 수 있지만, 구성품을 제작하고 실시하는 하드웨어 시험에서는 시험 조건을 만족하는 입력 신호(예: 강우량이 2mm/h인 강우 클러터 신호 및 RCS가 1m²인 Swerling case 1의 표적 신호)의 발생뿐만 아니라 결과의 측정/분석이 가능하여야 한다. 따라서 구성품 및 전체 시스템의 시험/평가를 효율적으로 수행하기 위해서는 표준 모의신호의 발생 및 결과의 수집/분석을 용이하게 하여주는 시험장치가 필요하다.

본 논문에서는 레이더의 구성품 및 전체 시스템의 기능을 시험/평가할 수 있도록 그림 1의 구성을 갖는 실험실 시험장치를 개발하고 그 기능 및 성능에 대하여 기술하였다. 레이더 시험장치는 그림 1에서와 같이 시스템 제어기(controller), TSG(timing signal generator)보드, 인터럽트보드, HP 8770A 임의파형합성기(arbitrary waveform synthesizer) 및 HP 8791 FASS(frequency agile signal simulator)로 구성되어 있으며, 시스템 제어기로는 HP 745i 워크스테이션을 사용하였다. 한편 임의파형합성기 또는 레이더 수신기의 출력신호를 수집하기 위하여 VXI보드인 HP E1429B A/D변환보드 및 HP E1488A 메모리 보드를 사용하였다.

개발된 레이더 시험장치 구성에서 핵심적인 기능을 하는 TSG보드는 각종 변수들을 프로그램할 수 있기 때문에 다양한 레이더 타이밍 신호의 발생이 용이하며, 임의파형합성기 및 FASS를 이용하여 임의의 표적 환경을 갖는 모의 신호의 발생이 쉽게 구현될 수 있도록 설계/제작되었다. 또한 인터럽트보드를 이용하여 레이더의 최종 출력인 표적 신호의 거리/방위각 위치를 시스템 제어기의 모니터상에 전시함으로써 레이더의 입력 대 출력 결과 비교를 매우 용이하게 하였다.

본 논문에서 구성한 레이더 시험장치는 3차원 위상 배열 레이더 개발에 사용하여 기능 및 성능을 확인하였다.

II. 레이더 시험장치의 구성 및 기능

레이더 시험장치의 구성에서 시스템 제어기는 기저 대역(base band)의 레이더 모의신호(표적 신호+클러터 신호) 모델링, TSG보드의 계수 설정, 인터럽트보드로부터의 인터럽트 처리, 임의파형합성기에 데이터 로딩, E1429B A/D보드와 E1488A 메모리 보드의 초기화 등 시험환경에 필요한 모든 사항들을 제어하고, 수집된 데이터를 분석하는 기능을 갖는다. 한편 RF(radio frequency)대역 레이더 표적신호를 발생하여주는 FASS장비의 제어는 전용 제어기인 내장 PC에 의해 이루어진다.

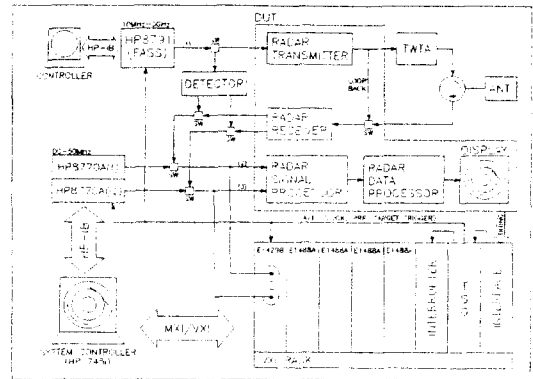


그림 1. 레이더 시험장치의 구성
Fig. 1. Configuration of radar test equipment.

TSG보드는 레이더 운용에 필요한 각종 타이밍 신호(PRF(pulse repetition frequency)펄스, ACP(azimuth change pulse), ARP(azimuth reference pulse), DT(dwel time)펄스, CPI(coherent pulse interval)펄스)와 임의파형합성기 및 FASS의 외부 트리거 신호로 사용되는 표적트리거펄스를 발생하여 준다. 인터페이스보드는 시험대상 레이더로부터 타이밍 신호를 공급받는 경우 시험대상 레이더에서 공급되는 신호의 타이밍 및 레벨을 TSG보드에 맞도록 변환하여 준다. 인터럽트보드는 레이더에 입력되는 표적 신호의 위치를 확인하기 위하여 TSG보드의 표적트리거펄스를 인터럽트로 받아들여 그 순간의 거리/방위각셀 위치를 시스템 제어기의 모니터상에 전시함으로써 레이더 전 시기의 결과를 미리 확인할 수 있도록 하여준다. 임의 파형합성기 및 FASS는 각각의 제어기에서 로딩된 기저대역 및 RF대역의 레이더 모의신호를 저장하고 있다. 외부 트리거(TSG보드의 표적 트리거)신호에 의

해 원하는 거리/방위각셀에 표적신호가 발생하도록 하여 준다. 임의파형합성기에서 발생하는 기저대역에서의 모의 입력신호, I/Q 검파기(detector)에 의해 검출된 FASS신호 및 송수신기 시험을 위해 루프백(loop back)을 통해 수신된 수신기의 출력신호는 E1429B A/D보드 및 E1488A 메모리 보드에 의해 수집되며, 시스템 제어기의 운용 소프트웨어는 이 신호를 이용하여 신호처리 알고리즘을 수행함으로써 표적 탐지 여부를 확인할 수 있도록 구성되어 있다.

1. TSG보드의 구성 및 기능

레이더의 기능을 시험하기 위해서는 레이더의 동작에 필요한 각종 타이밍 신호와 임의의 표적환경을 갖는 모의신호의 발생이 필요하다. TSG보드는 레이더 동작에 필요한 각종 타이밍 신호 및 임의의 표적환경을 갖는 모의신호 발생을 위한 표적트리거펄스를 제공하여 준다. 개발된 TSG보드의 구성은 그림 2와 같으며, 내부 또는 외부 클럭신호를 이용하여 레이더 운용에 필요한 PRF펄스, CPI펄스, DT펄스, ARP, ACP 및 표적신호 발생을 위한 트리거펄스 등을 출력하며, 이들 신호의 발생 범위는 표 1과 같다. 특히 부시스템을 시험하는 경우에는 시험대상 레이더와 동일한 타이밍신호 및 표적트리거펄스를 자체적으로 발생하여 공급할 수 있으며, 전체 시스템을 시험하는 경우에는 시험대상 레이더로부터 A/D클럭, ARP, PRF펄스 및 CPI펄스를 직접 공급받아 표적트리거펄스를 발생할 수 있도록 구성되어 있다.

표 1. TSG보드의 출력 신호 범위
Table 1. Output range for TSG board.

분당 ARP수 (안테나 RPM)	30/40/60 RPM
스캔당 ACP수	4096(방위각 정확도 : 0.0879도) 또는 16384(방위각 정확도 : 0.02197도)
A/D 클럭 주파수	최대 20 MHz(1,2,4,8분주 가능)
DT당 CPI펄스수	1 - 16
PRF펄스의 주기	(1 - 4096)x(A/D클럭 주기)
PRF펄스 폭	(1 - 256)x(A/D클럭 주기)
CPI당 PRF펄스수	1 - 256
스캔당 표적수	1 - 2048

① ACP 및 ARP의발생

기계적으로 회전하는 안테나의 방위각 정보는 360°를 정수 개의 구간으로 분할하여 주는 ACP 및 방위각의 기준 위치를 알려주는 ARP로부터 얻어진다. 제작된 TSG보드는 360°를 4096 또는 16384개의 ACP로 분할하며, 1회전에 1개의 ARP를 발생하여 준다. 특히 분당 ARP수(안테나 RPM)는 30/40/60으로 프로그램 가능하다.

② DT펄스의 발생

코히어런트 펄스도플러 레이더는 그림 3에서와 같이 안테나의 방위각 빔폭에 해당하는 방위각을 회전하는 데 소요되는 DT동안에 M개의 송신 펄스로 구성된 N개의 CPI를 갖는다. 따라서 ACP와 ARP를 이용하여 방위각을 DT구간으로 나누어주는 DT펄스의 발생이 필요하다. 제작된 TSG보드는 DT펄스를 구성하는 ACP의 개수를 메모리에 저장하고, 이를 연속적으로 읽어 내면서 원하는 ACP개수가 되었을 때 DT펄스를 발생하는 구조로 되어 있기 때문에 메모리에 로딩되는 ACP의 값을 바꿈으로써 DT펄스의 간격을 쉽게 바꿀 수 있다.

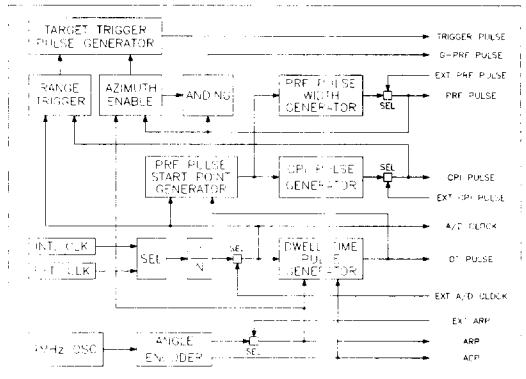


그림 2. TSG 보드의 구성.
Fig. 2. Configuration of TSG board.

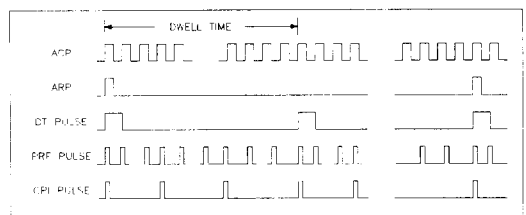


그림 3. 코히어런트 펄스도플러 레이더의 타이밍 관계도
Fig. 3. Timing diagram for pulsed Doppler radar.

③ PRF펄스 및 CPI펄스의 발생

펄스도플러 레이더는 CPI동안 일정한 주기를 갖는 PRF펄스를 이용하여 송신과 수신 시간을 구분하며, 맹속(blind speed)을 제거하기 위하여 그림 3에서와 같이 CPI단위로 PRF펄스의 주기를 바꾸는 것이 일반적인 운용 방식이다. 특히 3차원 레이더의 경우에는 CPI 단위로 PRF펄스의 수 및 펄스폭도 다르게 운용될 수 있다.

제작된 TSG보드에서 발생하는 PRF펄스 및 CPI펄스의 필요한 모든 파라미터는 프로그램가능 하도록 구성되어 있으므로 표 1의 범위 내에서 쉽게 원하는 신호들을 발생할 수 있다. 즉, PRF펄스의 경우 펄스폭은 A/D 클럭의 1-256배까지, 펄스 주기는 A/D클럭의 1-4096배까지 프로그램에 의하여 가변할 수 있다. 또한 CPI펄스를 구성하는 PRF펄스의 수는 1-256개 범위에서 선택이 가능하며, DT구간에 최대 16개의 CPI를 만들 수 있도록 구성되어 있다.

④ 표적트리거펄스의 발생

레이더 시스템에서의 표적 탐지가 정확하게 이루어졌는지를 확인하기 위해서는 임의의 거리/방위각 위치에 표적이 존재하도록 모의신호를 발생시킨후 이를 신호처리기 또는 송신기에 인가하고, 레이더 전시기의 전시 결과를 이와 비교함으로써 확인할 수 있다. TSG보드는 최대 2048스캔(표적이 1개인 경우)동안 스캔마다 원하는 거리/방위각셀에 표적트리거펄스를 발생함으로써, 임의파형합성기 또는 FASS를 이용하여 임의의 표적 환경을 갖는 모의 표적 신호의 발생을 가능하게 하여준다.

2. 표적 전시를 위한 인터럽터보드의 구성 및 기능
TSG보드에서 발생된 표적트리거펄스가 원하는 거리/방위각셀에서 정확하게 발생되는지 여부를 알기 위해서는 표적트리거펄스가 발생하는 순간의 거리/방위각셀 값을 확인하여야 한다. 그림 4의 인터럽터보드는 표적트리거펄스가 발생할 때의 거리셀 및 방위각셀 값을 저장하고 시스템 제어기에 인터럽트를 요구하도록 구성되어 있으며, 인터럽트 서비스루틴은 그 순간의 거리/방위각셀 값을 읽어서 모니터 상에 표적의 위치를 전시하도록 프로그램 되어 있다. 이러한 표적 전시를 누적함으로써 표적의 비행 경로를 알 수 있으며, 인터럽터보드에 의한 표적의 비행 경로 전시는 레이더의 최종 출력 정보인 전시기의 전시결과로서 레이더의 전체

적인 기능을 쉽게 확인/비교 할 수 있도록 하여준다.

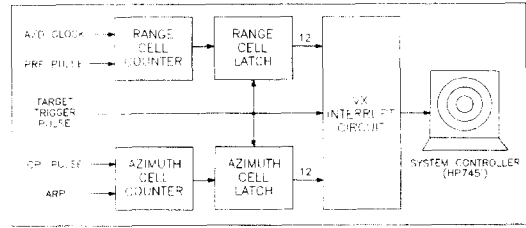


그림 4. 표적 전시를 위한 인터럽터보드의 구성
Fig. 4. Configuration of interrupter board for target display.

3. 기저대역 모의신호 발생을 위한 임의파형합성기 (HP 8770A)의 기능^[2]

TSG보드에서 발생된 표적트리거펄스를 이용하여 원하는 거리/방위각셀에 기저대역의 모의 신호 발생을 위하여 임의파형합성기를 사용하였다. 임의파형합성기는 시스템 제어기로부터 파형 자료를 받아서 512Kx12 비트로 구성된 내부 메모리에 기억한 다음 TSG보드의 표적트리거펄스에 의해 이를 원하는 순서로 읽어 내어 D/A변환함으로써 DC에서 50MHz범위의 아날로그 신호를 발생하여 준다. 따라서 임의파형합성기 메모리에 기저대역의 표적신호를 기억시켜 놓고, TSG보드의 표적트리거펄스를 임의파형합성기의 외부 트리거 신호로 사용함으로써 임의의 표적 환경을 갖는 기저대역의 레이더 모의신호를 신호처리기에 입력할 수 있다. 임의파형합성기는 125 MHz(8 nsec)의 샘플링속도를 갖기 때문에 표적 신호의 위치를 1.2 m 단위로 변화시킬 수 있다.

4. RF대역 표적신호 발생을 위한 FASS(HP 8791-11)의 기능^[3]

기저대역 신호발생에 사용한 임의파형합성기가 시간 영역의 디지털 데이터를 메모리에 기억시켰다가 이를 D/A변환하는 임의파형합성(arbitrary waveform synthesis)방식을 사용하는 것과 달리, FASS는 신호의 중심주파수(carrier frequency)와 진폭변조, 위상변조, 주파수변조 및 펄스변조를 독립적으로 제어할 수 있는 직접디지털합성(direct digital synthesis)방식을 사용한다. 이 방식은 신호의 주파수 및 변조방식 등을 고속으로 변환하는 레이더 시험용으로 적합하며, 본 시험장비에서 사용한 모델11은 10 MHz에서 3 GHz 범위의 RF신호를 발생 할 수 있다. FASS도 임의파형합

생기와 같이 TSG보드의 표적트리거펄스를 외부 트리거신호로 사용하여 원하는 거리/방위셀에 RF대역의 표적신호를 발생시킬 수 있도록 구성되어 있다. FASS는 134.21788 MHz(7.45ns)의 내부클럭을 사용하기 때문에 표적의 위치를 1.12 m 단위로 변화시킬 수 있다.

5. 레이더 신호 수집 장치의 구성 및 기능

임의파형합성기 또는 레이더 수신기의 출력을 수집/분석하기 위해서는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 주는 A/D변환보드 및 다량의 고속 데이터를 저장하는 경우 이를 실시간으로 저장할 수 있는 메모리 보드가 필요하다. 본 시험장비에서는 VXI보드인 E1429B A/D변환보드 및 4장의 E1488A 메모리보드를 사용하였다.

① A/D보드(HP E1429B)의 기능^[4]

레이더 시험장비에 사용된 A/D변환보드는 VXI용 E1429B보드를 사용하였다. E1429B는 2채널, 12비트, 최대 20 MHz의 샘플링주파수를 갖는 A/D변환보드로서 2채널 각각 512K-12비트의 내부 메모리를 가지고 있다. A/D변환보드의 출력 데이터는 보드내의 메모리에 기억되었다가 VXI 버스를 통하여 시스템 제어기가 읽어 올 수 있으며, 내부 메모리 용량을 초과하는 다량의 데이터는 로컬(local)버스를 통해 E1488A 메모리 보드에 최대 80 MBytes/sec의 속도로 전송/저장될 수 있다. 샘플링클럭은 내부 20 MHz 또는 외부 클럭 신호를 사용할 수 있으며, 클럭은 1, 2, 4, 10, 20, 40 단위로 분주할 수 있다. 특히 다중 외부 트리거 신호를 시작점으로 하여 각 트리거 신호로부터 일정한 샘플 수만큼만 A/D변환하도록 하는 기능은 PRF펄스로부터 정수 개의 거리셀 데이터를 수집하는 레이더 신호 수집에 매우 유용하게 사용될 수 있다. 이 경우 외부 트리거 신호로는 PRF펄스를, 샘플링클럭으로는 레이더 신호처리기의 A/D샘플링클럭을 사용하면 된다.

② 메모리 보드(HP E1488A)의 기능^[5]

실제 레이더 운용 환경에서의 신호 수집은 고속/대용량의 데이터를 갖는다. 이 경우 하드 디스크는 역세 시간 등에 의하여 실시간 데이터 수집이 불가능하게 되며, 대용량의 메모리 보드가 필요하다. 레이더 신호 처리기 시험 장비에서는 대용량의 실시간 데이터 수집을 위하여 VXI용 메모리 보드인 E1488A를 사용하였다. E1488A는 한 보드당 최대 16 MBytes의 메모리 용량을 가지며, 로컬 버스를 통하여 E1429B A/D변환

보드로부터 최대 80 MBytes/sec의 데이터를 전송 받을 수 있다. 따라서 A/D변환보드가 2채널, 12비트이기 때문에 20 MHz의 샘플링주파수에 대해서도 실시간 데이터 저장이 가능하며, 그림 1에서와 같이 수집 장치는 4개의 E1488A로 구성되어 있으므로 총 64 MBytes의 신호를 20 MHz의 A/D샘플링속도로 실시간 수집할 수 있다.

III. 레이더 시험장치의 기능시험 및 결과

1. TSG보드의 기능 시험

부시스템을 단독으로 시험하는 경우 TSG보드는 레이더 운용에 필요한 각종 타이밍 신호를 발생하여 주어야 하며, 이들 신호는 시험 대상 레이더 시스템에서 발생하여 주는 타이밍 신호와 동일하여야 한다. 따라서 TSG보드의 각종 타이밍 신호는 정확하게 발생되는지 확인되어야 하며, 기능 시험에 사용된 TSG보드의 변수는 표 2와 같이 설정하였다. 타이밍 신호의 측정은 LeCroy 9354AL 디지털 오실로스코프를 사용하였다.

표 2. TSG보드의 설정 변수
Table 2. Parameters for TSG board.

안테나 회전수	30 RPM
스캔당 ACP수	4096
안테나 방위각 빔폭	1.5도
DT 내의 CPI수	3
A/D클럭	2.5 MHz(거리분해능 : 60 m)
CPI 내의 송신 펄스수	11
송신 펄스의 주기	240/250/260 μ s
송신 펄스폭	4.4 μ s
표적 위치	거리셀 : 50(3 Km) 방위각셀 : 6번째 CPI

① ACP 및 ARP의 측정

TSG보드에서 발생하는 ACP 및 ARP는 안테나가 30/40/60 RPM으로 회전하는 경우 360°를 4096 또는 16384개의 펄스 구간으로 나누어준다. 그림 5는 표 2의 조건에서 채널1의 ARP를 기준신호로하여 ACP(채널2)를 측정된 결과로서 ACP의 주기는 501 μ s가 됨을 알 수 있으며, 따라서 ARP의 주기는 2.052(4096x501 μ s)초가 된다. 즉, 안테나는 29.2 RPM의

속도로 회전함을 알 수 있으며, 안테나의 회전속도 오차는 그림 2의 TSG보드 구성도에서 발전기의 주파수를 높임으로써 줄일 수 있다.

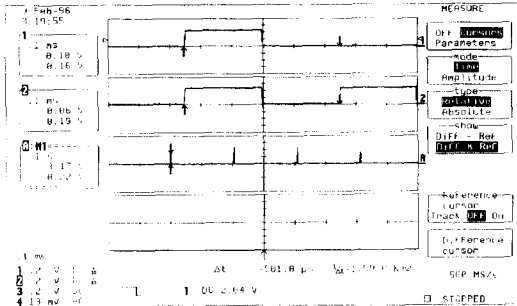


그림 5. ARP 및 ACP의 측정 결과
Fig. 5. Measured result for ARP and ACP.

② DT펄스의 측정

레이더의 안테나 회전수를 30 RPM, 빔폭을 1.5도로 설정하였으므로 한 스캔(360도)에 240개의 DT펄스 구간이 존재하며 이에 대한 ACP의 개수는 17.07개기된다. 이 경우 방위각 정보에 대한 오차를 최소화하기 위하여 DT당 ACP의 개수를 17로 하고 15의 배수에 해당하는 DT에서 ACP개수는 18이 되도록 하였다. 따라서 14번째까지의 DT펄스 간격은 8.517 ms(17x501 μs) 15번째 DT펄스 간격은 9.018 ms(18x501 μs)가 된다.

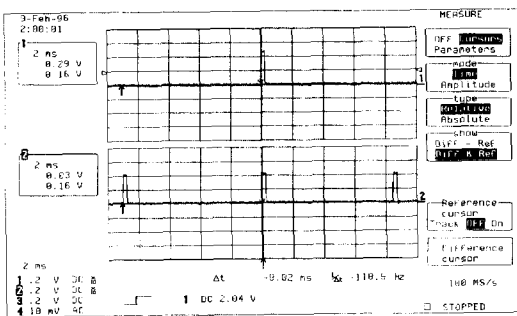


그림 6. ARP 및 DT펄스의 측정 결과
Fig. 6. Measured result for ARP and DT pulse.

그림 6은 채널1의 ARP를 기준신호로하여 DT펄스(채널2)를 측정한 결과로서 ARP와 첫 번째 DT펄스 간격은 8.52 ms가 됨을 알 수 있으며, 마지막 DT펄스 구간에 해당되는 240번째는 15의 배수가 되므로 DT펄스 간격이 한 개의 ACP(501 μs)만큼 긴 9.02 ms가

됨을 확인할 수 있다.

③ PRF펄스 및 CPI펄스의 측정

DT내의 CPI수를 3, 각 CPI에서의 송신 펄스수를 11, PRI(pulse repetition interval)을 240/250/260 μs로 설정하였기 때문에 CPI펄스는 DT펄스로부터 0/2.64/5.39 및 8.52(또는 9.02) ms에서 발생하게 된다. 그림 7은 채널1의 DT펄스를 기준신호로하여 CPI펄스(채널2) 및 PRF펄스(채널3)를 측정한 결과로서 0/2.64/5.39 및 8.52 ms에서 CPI펄스가 발생함을 알 수 있다. 또한 DT내 첫 번째 CPI에서의 PRI는 240 μs, 두 번째 CPI(2.64 ms에서 시작)에서의 PRI는 250 μs, 세 번째 CPI(5.39 ms에서 시작)에서의 PRI는 260 μs가 됨을 확인하였다.

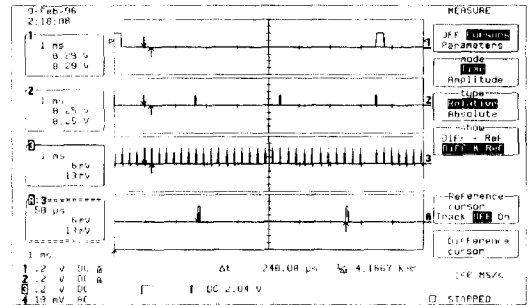


그림 7. PRF펄스 및 CPI펄스의 측정 결과
Fig. 7. Measured result for PRF pulse and CPI pulse.

④ 표적트리거펄스의 측정

제작된 TSG보드는 임의의 환경을 갖는 표적신호를 발생을 위하여 원하는 거리/방위각셀에서만 임의파형함성기 및 FASS에 트리거 신호를 제공하는 표적트리거 펄스를 발생하도록 설계/제작하였다. 그림 8은 채널1의 PRF펄스를 기준신호로하여 거리셀 트리거 펄스(채널 2)를 측정한 결과로서 거리셀 50번째(20 μs)에서 표적 트리거펄스가 발생함을 알 수 있다.

그림 9는 채널1의 ARP를 기준신호로하여 채널2에 방위각셀 트리거 펄스를 측정한 결과이다. 표 2에서 표적의 위치를 ARP로부터 6번째 CPI로 하였고 DT당 CPI수가 3이므로 표적의 위치는 2번째 DT펄스의 세 번째 CPI가 되며, 방위각셀 트리거 펄스는 13.907 ms(17x501 μs+11x240 μs+11x250 μs)에서 발생함을 알 수 있다. 따라서 표적트리거펄스는 거리셀 트리거 펄스 및 방위각셀 트리거 펄스가 동시에 만족되는 방

위각 3° (6번째 CPI), 거리 3 Km(50번째 거리셀)에서 발생하며 CPI내의 송신 펄스수가 11이므로 11개의 표적트리거펄스가 발생된다.

2. 인터럽트보드에 의한 표적의 비행경로 전시

임의의 비행경로를 갖고 발생하는 표적트리거펄스에서의 거리/방위각셀을 확인하기 위하여 설계/제작된 인터럽트보드는 표적이 위치하는 방위각셀 내의 첫 번째 거리셀 트리거 펄스에서 방위각셀 및 거리셀 값을 저장하고 시스템 제어기에 인터럽트를 요구하며, 시스템 제어기의 인터럽트 서비스루틴은 그 순간의 방위각셀 및 거리셀 값을 읽어서 모니터에 표적의 위치를 그래픽으로 표시하여 준다. 표적이 임의의 비행 경로를 가지고 비행하는 경우 표적트리거펄스가 정확하게 발생되는지 확인하기 위하여 그림 10과 같이 방위각 90°, 거리 24 Km에서 방위각 0° 거리 24 Km를 향해 300 m/sec의 속도로 직선 비행하는 표적 및 방위각

270°, 거리 24Km에서 300 m/sec의 속도로 동심원을 그리면서 반시계 방향으로 비행하는 2개의 표적을 가정하고 표적트리거펄스를 발생하였으며, 그림 11은 이 경우 인터럽트 발생에 의한 표적의 비행 경로를 실시간 전시한 결과로서 그림 10에서 설정된 비행 경로와 일치함을 확인할 수 있다. 따라서 표적신호가 원하는 위치에서 정확하게 발생됨을 알 수 있으며, 이는 전시기의 전시결과와 일치하여야 한다.

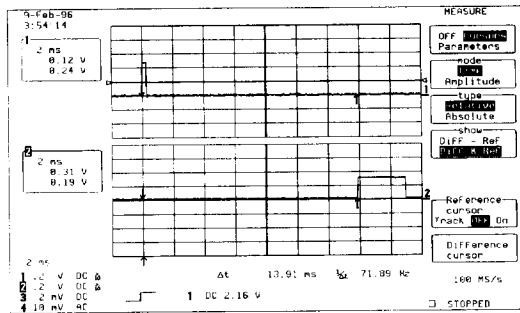


그림 8. ARP 및 방위각 트리거펄스의 측정 결과
Fig. 8. Measured result for ARP and azimuth trigger pulse.

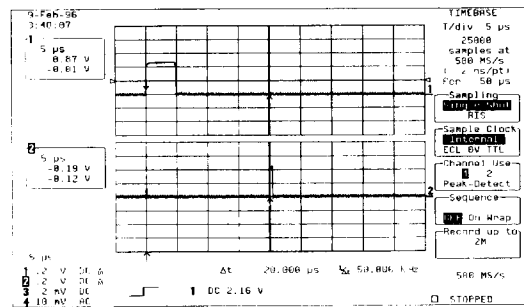


그림 9. PRF펄스 및 거리셀 트리거펄스의 측정 결과
Fig. 9. Measured result for PRF and range trigger pulse.

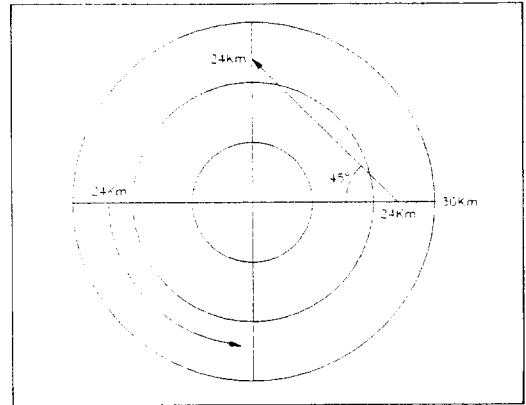


그림 10. 모의 표적의 비행 경로도
Fig. 10. Flight path for simulated target.

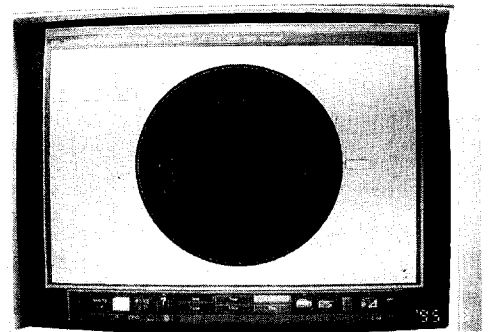


그림 11. 인터럽트에 의한 표적의 비행 경로
Fig. 11. Flight path of target using interrupt.

3. 임의파형합성기(HP8770A)에 의한 기저대역의 표적신호 발생

임의파형합성기는 TSG보드의 표적트리거펄스를 이용하여 시스템 제어기에서 로딩한 레이더 모의 표적신호(기저대역)를 발생하여 준다. 그림 12는 임의파형합성기의 출력 신호를 확인하기 위하여 거리 3 Km(20 μs)에 식 (1)로 표현되는 선형 칩(chirp)신호의 I 및 Q

신호를 측정된 결과로서 3 Km(20 μs)에서 표적 신호가 발생됨을 알 수 있다.

$$I = \cos\left(\frac{1}{2}\mu t^2\right) \quad (1)$$

$$Q = \sin\left(\frac{1}{2}\mu t^2\right), \quad \mu = \frac{2\pi\Delta f}{T}, \quad -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}$$

이 경우 대역폭 Δf는 2.5 MHz, 펄스 폭 T는 4.4 μs로 하였다. 측정시 오실로스코프의 기준 신호는 표적이 위치하는 방위각 내의 PRF펄스(그림 2에서 G-PRF펄스)를 사용하였다.

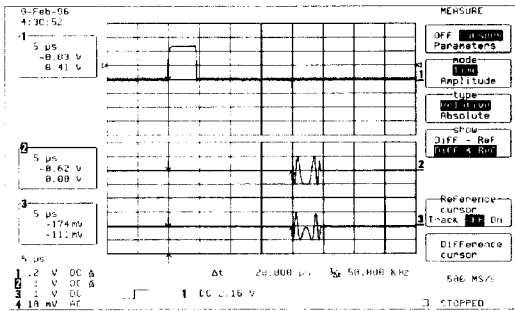


그림 12. 임의파형합성기에서 발생된 표적신호의 측정
Fig. 12. Measured target signal from AWS.

4. FASS에 의한 RF대역 표적신호 발생

레이더의 송수신기를 시험하기 위해서는 송신기의 입력에 인가되는 RF신호의 발생이 필요하며 FASS는 진폭, 위상, 주파수 및 펄스변조된 10 MHz에서 3 GHz 범위의 RF신호를 발생하여 준다. 그림 13은 FASS를 이용하여 대역폭 2.5 MHz, 펄스폭 4.4 μs, 중심주파수 60 MHz인 선형 칩신호의 시간영역 및 주파수 스펙트럼을 측정된 결과로서 대역폭이 2.5 MHz, 중심주파수가 60 MHz임을 확인 할 수 있다. 한편 FASS에서 발생된 RF신호를 I/Q 검파기에 의해 기저 대역으로 변환한 결과는 그림 12와 동일함을 확인할 수 있었다.

5. 레이더 신호 수집 장치의 기능 시험

임의파형합성기 또는 레이더 수신기 출력신호의 특성 및 이 신호에 대한 표적탐지 여부를 확인하기 위해서는 신호의 수집이 필요하며, E1429B A/D변환보드 및 E1488A 메모리 보드를 사용하였다. 표 2의 TSG 보드 환경 하에서 발생된 임의의 스캔에서의 표적 신호를 수집하기 위하여 A/D변환보드의 샘플링클럭은 TSG보드에서 발생되는 2.5 MHz 클럭을 사용하였으

며, 외부 ARM신호(A/D의 샘플링 시작점을 알려주는 신호)로는 표적이 위치하는 CPI내의 PRF(G-PRF)펄스를 사용하였다. 다중 샘플링 모드에서 ARM신호의 수는 11, ARM신호로부터 샘플링 되는 데이터의 수는 512로 설정하였다. 따라서 11x512x2채널x12비트의 데이터가 얻어지며 시스템 제어기에서 수집한 신호는 그림 12의 오실로스코프 측정 결과와 동일하였으며, 펄스 압축, MTI(moving target indicator)처리, 도플러처리 및 CFAR(constant false alarm rate)처리의 신호 처리가 알고리즘에 의한 표적 탐지를 확인할 수 있었다.

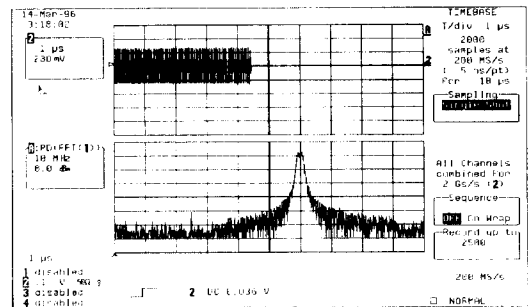


그림 13. FASS에서 발생된 표적신호의 스펙트럼
Fig. 13. Frequency spectrum of target signal from FASS.

IV. 결 론

본 논문에서는 레이더의 구성품 및 전체 시스템 기능을 시험할 수 있는 레이더 시험장치를 개발하고 이에 대한 기능 시험 및 전체적인 운용 시험을 수행하였다. TSG보드, 임의파형합성기 및 FASS를 사용하여 임의의 표적환경을 갖는 레이더 표적신호(기저대역 및 RF대역) 발생 및 이를 분석할 수 있는 시험환경을 구성함으로써 레이더의 부시스템 기능 및 전체 시스템 기능을 종합적으로 확인할 수 있도록 하였다. 특히 TSG보드의 각종 타이밍 신호를 프로그램 가능하도록 설계하였기 때문에 이들 타이밍 신호의 설정을 바꿈으로써 여러 종류의 레이더를 쉽게 시험할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서 구성한 레이더 실험실 시험환경은 2차원 레이더뿐만 아니라 3차원 위상 배열 레이더의 기능 및 성능 시험에 사용할 수 있으며, 실제 환경에서의 운용시험시 레이더 데이터 수집 및 분석에도 활용할 수

있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] D. K. Barton et al., Radar Evaluation Handbook, Artech House, Boston, pp.13.1-13.3, 1991.

[2] HP 8770A Arbitrary Waveform Synthesizer

Operating Manual, HP, 1988.

[3] Theory of Operation for the HP8791 Model 7/10/11/21 Frequency Agile Signal Simulator, HP, 1992.

[4] HP E1429B 20MSa/s 2-Channel Digitizer User's Manual, HP, 1993.

[5] HP E1488A Instrument Memory Module User's Manual, HP, 1993.

— 저 자 소 개 —



李 正 淵(正會員)

1947년 10월 11일생. 1970년 2월 공군사관학교 졸업(이학사). 1979년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1983년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1983년 3월

~현재 국방과학연구소 책임연구원. 주관심분야는 레이다설계 및 시험평가 기법연구



申 鉉 翼(正會員)

1963년 3월 10일생. 1986년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1988년 2월 경북대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1988년 2월~현재 국방과학연구소 선임연구원. 주관심분야는 레이다 신호처리, 레이다 시

험평가