

능동위상배열 다기능레이다의 부배열 수신신호 모의를 위한 레이다환경신호모의장비 개발

김국현^{*,1)} · 유경주¹⁾ · 이경민¹⁾ · 길성준¹⁾ · 양은호¹⁾ · 이광철¹⁾ · 이희영²⁾

¹⁾ 한화시스템(주) 연구개발본부 레이다연구소

²⁾ 국방과학연구소 제3기술연구본부

Development of Radar Environmental Signals Simulator for Simulating Sub-array Receiving Signals of Active Phased Array Multi-function Radar

Gukhyun Kim^{*,1)} · Kyungjoo Yoo¹⁾ · Kyungmin Lee¹⁾ · Sungjun Gil¹⁾ ·
Eunho Yang¹⁾ · Kwangchul Lee¹⁾ · Heeyoung Lee²⁾

¹⁾ *Research and Development Institute, Radar R&D Center, Hanwha Systems, Korea*

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

(Received 21 April 2020 / Revised 10 August 2020 / Accepted 28 August 2020)

Abstract

In this paper, the contents of the development of RESS(Radar Environmental Signals Simulator) for the test of active phased array multi-function radar are described. The developed RESS can simulate multiple target environments, such as target/jamming/missile response/cluster signals, by using received radar operational information and simulated scenario. It can also modulate frequency, phase, gain, timing on all waveforms operated by multi-function radar and simulated two targets and one jamming in the beam. The RESS can be used to perform functional and performance verification of the active phased array multi-function radar with sub-array receiving structures.

Key Words : Multi-function Radar(다기능레이다), Radar Environmental Signals(레이다 환경 신호)

1. 서론

다기능레이다(MFR: Multi-Function Radar)는 다수의

항공기 등의 표적에 대한 탐지, 추적을 수행하고 제
밍 대응, 요격탄 교신과 같은 다수의 임무를 단일 레
이다로 수행한다. 다기능레이다의 기능 및 성능에 대
한 객관적인 입증은 실제 표적을 이용하여 수행되어
야 하지만 비용, 시험시설 구축 및 여러 제약조건이
있다. 또한 실 표적을 이용하여 시험할 경우 시간, 장

* Corresponding author, E-mail: kigcho@hanwha.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

소 등 여러 제약 사항과 경제적인 소모가 크고 송신 전력이 높은 다기능레이다의 경우 시험을 위한 송신 시 하드웨어의 점진적 성능 열화 가능성이 있어 비효율적이다. 이를 극복하기 위해 레이다환경신호모의장비(RESS: Radar Environmental Signals Simulator)를 이용하여 생성한 표적 모의 신호를 수신기에 입력하는 방식으로 레이다의 기능 및 성능 시험을 수행한다. 즉 RESS는 실 표적 없이 다기능레이다를 시험할 수 있도록 레이다의 수신 신호를 모의하는 시험장비다. 이전에 모노펄스 방식의 수동위상배열 다기능레이다용 표적 반사 신호 및 재밍, 요격탄 응답 신호 모의가 가능한 신호모의기가 개발된 바 있으나^[1] 최근에는 부배열 단위의 디지털 빔포밍 신호 처리 기술이 적용되는 다기능레이다가 개발되는 추세이고, 이를 시험하기 위한 부배열 수신신호 모의 방안 및 장비 개발 방안에 대해 연구가 함께 진행되고 있다^[2,3].

개발된 RESS는 다기능레이다의 최대 탐지거리와 최대 탐지속도 이상의 모사성을 가지며 빔 내 표적 2개, 재밍 1개를 모의할 수 있어 탐지 거리, 추적 속도, 표적 분해능, 재머 회피기능 등의 다기능레이다의 성능을 시험할 수 있다. 또한 다기능레이다 통합 이전에는 디지털수신기, 신호처리장치, 통제장치의 단품 및 연동시험에 사용된다.

본 논문에서는 능동위상배열 다기능레이다의 부배열 수신신호 모의를 위한 RESS 설계 및 제작에 대해 기술하였다. 2장에서는 RESS의 요구 성능 및 기능과 구성품 설계 및 제작에 대해 기술한다. 3장에서는 구성품 통합 및 시험 결과에 대해 기술하고 4장에서는 결론 순으로 나열하였다.

2. 설계 및 제작

2.1 요구 성능 및 기능

RESS는 다기능레이다의 성능 시험을 위한 표적/재밍/요격탄 응답/클러터 신호의 모의가 가능하여야 하고 빔 내 표적 2개, 재밍 1개를 동시모의 할 수 있어야 한다. 또한 다기능레이다가 운용하는 모든 파형을 생성할 수 있어야하며 모의 표적의 거리, 속도, 위치 정보를 모의하기 위해 이득, 위상, 주파수 변조기능을 보유하여야 한다. RESS의 주요 요구 성능과 기능은 Table 1과 같다.

Table 1. The specification and function of RESS

항 목		내 용
모의신호 종류		표적/재밍/요격탄 응답/클러터
모의신호 개수		표적 2개, 재밍 1개 동시모의
채널 수		OO개(부배열 개수)
파형 종류		LFM, PT(LPRF, MPRF, HPRF)
이득 제어	표적	-105 dB 이상, 0.5 dB 간격
	재밍	-60 dB 이상, 0.5 dB 간격
위상 조정		0 ~ 360°, 간격 0.5° 이내
도플러주파수		$f_{if} \pm 196$ kHz, 간격 6 Hz 이내
지연 시간		10 ms 이상, 간격 20 ns 이내
수신기 잡음모의		부배열 수신 잡음 생성 채널 별 30 dB 이상 이득제어

다기능레이다의 최대/최소 탐지거리 및 재밍회피기 능 시험을 하려면 수신기의 포화 레벨부터 잡음 레벨 까지의 동적영역 전체에 신호를 모의할 수 있어야 하므로 수신기의 동적영역 이상의 이득제어 성능을 보유하도록 규격을 설정했다. 설정된 규격에 의해 모의 신호생성기는 표적 80 dB 이상, 재밍 71 dB 이상 모 의신호의 수신 SNR을 조절할 수 있다.

다기능레이다가 바라보는 표적의 방향과 속도에 따 른 부배열 위상을 모의하기 위해 0 ~ 360° 위상 조정 이 가능해야 하고, 다기능레이다 추적속도 성능 시험 을 위해 목표 표적 속도 이상의 도플러주파수를 규격 으로 설정했다.

표적의 거리를 모의하기 위한 지연시간 목표 성능은 10 ms 이상, 간격 20 ns 이내로 1500 km 이상의 거리 를 3 m 해상도로 모사할 수 있다. 또한 수신기 없이 시험할 경우 수신기의 잡음을 ADC에 입력하기 위한 수신기 잡음모의 기능을 보유한다.

RESS는 모의신호제어기, 모의신호생성기, 디지털하 향변환기로 구성되며 통제장치, 안테나장치, 신호처리 장치, 모의시나리오제어기와 연동된다. RESS 내/외부 구성도는 Fig. 1과 같다.

능동위상배열 다기능레이다의 부배열 수신신호 모 의 과정은 Fig. 2와 같다. 먼저 모의신호제어기에서 빔 방사 위치(Beam probing)와 모의 할 표적 위치의 좌표 변환을 통해 In-beam 여부를 판단하고 In-beam

일 경우 위상배열안테나 각 부배열에 대한 방사패턴을 계산한 후 이를 이용하여 각 부배열에 해당하는 모의신호 파라미터를 계산한다. 모의신호생성기는 계산된 모의신호 파라미터에 맞게 부배열 모의신호를 생성하며 디지털하향변환기는 수신된 모의신호의 I/Q 디지털 변환을 수행한다. 모의 과정 별 각 장비에서 수행하는 기능에 대한 상세 내용은 다음절에 기술한다.

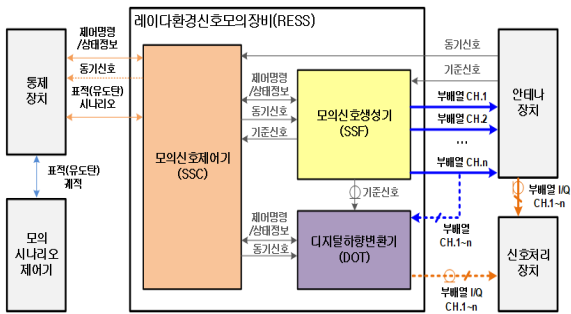


Fig. 1. The block diagram of RESS

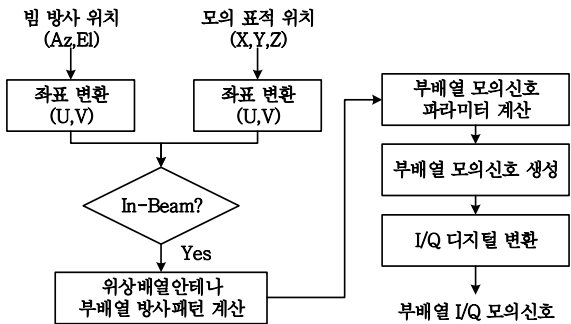


Fig. 2. Sub-array receive signal simulation process

2.2 모의신호제어기

2.2.1 좌표 변환 및 In-beam 판단

모의신호제어기는 레이더 통제장치로부터 수신한 Az-El 좌표 기준의 Beam Probing 정보(Az_B, El_B)를 U-V 좌표 기준의 Beam Probing 정보(U_B, V_B)로 좌표변환 연산을 수행한다. Fig. 3과 같이 U-V 좌표계는 레이더가 방사하는 면적을 표현하기 위한 좌표계로서 원점에서 일정 반지름을 갖는 구 형태의 면적이 있다고 할 때 레이더가 탐색영역에 방사를 하면 전파가 구의 어떤 면적에 조사 될 것이고 이를 2차원 면적으로 모델링한 것이다. 그리고 Az-El 좌표계

는 거리, 방위각, 고각으로 나타내며 방위각은 진북 기준 시계방향의 각도, 고각은 수평면을 기준으로 정의한다.

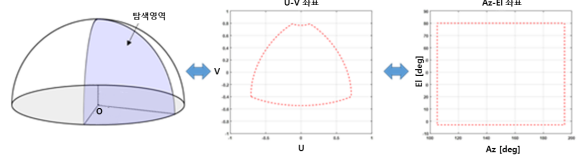


Fig. 3. U-V and Az-El coordinate transformation

(Az_B, El_B)를 (U_B, V_B)로 변환 식은 식 (1)과 같다. 여기서 안테나 배열면을 기준으로 방위각 방향의 바라보는 각도를 θ_{Heading}, 고각 방향으로 바라보는 각도를 φ_{Ptch}로 정의했다.

$$U_B = \cos\left(El_B \times \frac{\pi}{180}\right) \cdot \sin\left(Az_B \times \frac{\pi}{180} - \theta_{Heading}\right)$$

$$V_B = \sin\left(El_B \times \frac{\pi}{180}\right) \cdot \cos(\phi_{Ptch}) - \sin(\phi_{Ptch}) \cdot \cos\left(El_B \times \frac{\pi}{180}\right) \cdot \cos\left(Az_B \times \frac{\pi}{180} - \theta_{Heading}\right)$$

또한 모의시나리오제어기로부터 수신 받은 모의 표적위치는 지면에 대한 고정 직각 좌표 기준 위치 (X_T, Y_T, Z_T)로, U-V 좌표 기준 위치(U_T, V_T)로 좌표변환을 수행한다. 먼저 식 (2)를 이용하여 Az-El 기준 위치(Az_T, El_T)로 변환 후 식 (1)과 동일한 계산식을 이용하여 (U_T, V_T)로 변환한다.

$$Az_T = \tan^{-1}(Z_T / X_T)$$

$$El_T = \tan^{-1}\left(Y_T / \sqrt{(X_T^2 + Z_T^2)}\right)$$

다음으로 방위각, 고각 방향 안테나 빔 패턴을 각각 (Az_p, Az_p)이라고 하면 식 (3)을 이용하여 (U_p, V_p)로 변환할 수 있다.

$$U_p = \sin(Az_p \times \pi / 180)$$

$$V_p = \sin(El_p \times \pi / 180)$$

U-V 좌표로 변환된 Beam Probing 정보(U_B, V_B), 시나리오 상 표적의 위치(U_T, V_T), 안테나 빔 패턴(U_P, V_P)을 식 (4)를 이용하여 표적의 In-Beam 여부를 판단하고 In-Beam 일 경우에 모의신호 생성 명령을 전송한다. 식 (4)는 안테나 빔 폭을 표현하는 타원 방정식이고, 표적이 W 내에 위치하면 In-Beam으로 판단한다. 여기서 W 는 표적 종류에 따라 각각 다른 값을 가질 수 있는 가중치 값이다.

$$\frac{(U_T - U_B)^2}{(U_P/2)^2} + \frac{(V_T - V_B)^2}{(V_P/2)^2} \leq W^2 \quad (4)$$

2.2.2 부배열 모델링 및 모의신호 파라미터 연산

평면형 위상배열안테나의 (θ, ϕ) 방향의 부배열 방사패턴 계산을 위해 각 부배열의 phase center 위치($\rho_{m,x}, \rho_{m,y}$)에 가상의 방사 소자가 존재한다고 가정하고 가상 방사 소자들의 배열을 subarray라고 하면 M 개의 부배열로 구성된 배열 안테나의 복사패턴은 식 (5)와 같이 표현할 수 있다^[4]. 여기서 N_m 는 m -번째 부배열의 배열 소자 개수이며 w_n^m 과 (x_n^m, y_n^m) 은 각각 m -번째 부배열의 n -번째 소자 가중치와 위치를 나타낸다. 계산된 방사패턴으로부터 부배열 별로 수신되는 표적신호의 도래각에 따른 안테나 Complex Gain을 얻을 수 있고 이를 기반으로 부배열 모의신호 파라미터가 계산된다.

$$AF(\theta, \phi) \approx \left| \sum_{m=1}^M f_m(\theta, \phi) \right| \left| f_{subarray}(\theta, \phi) \right|$$

$$f_m(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^{N_m} w_n^m e^{j2\pi(x_n^m u + y_n^m v)}$$

$$f_{subarray}(\theta, \phi) = \sum_{m=1}^M e^{j2\pi(\rho_{m,x}(u-u_0) + \rho_{m,y}(v-v_0))}$$

$$u = \sin\theta \cos\phi, v = \sin\theta \sin\phi \quad (5)$$

모의신호제어기는 레이다 통제장치로부터 수신된 표적의 속도, 거리, RCS, 위치, 빔 정보 등의 데이터를 이용하여 부배열 별로 모의신호의 도플러주파수, 위상, 진폭, 지연시간을 계산한다. 표적/재밍/요격탄 응답의 SNR 계산 수식은 식 (6)과 같다^[5]. 수신 전력을 제외한 나머지 파라미터는 측정 및 계산을 통해 알고 있는 값이거나 레이다 통제장치의 제어명령에 포함되어 있으므로 표적의 종류 별로 특정 방향에 대한 수신 전력을 계산 할 수 있다.

$$\sqrt{\frac{P_r}{N}} = \sqrt{\frac{P_t \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_t^4 10^{L/10} k T B 10^{F_N/10}}} G_t G_r$$

$$\sqrt{\frac{P_j}{N}} = \sqrt{\frac{N_j \lambda^2}{(4\pi)^2 R_j^2 10^{L/10} k T B 10^{F_N/10}}} G_r \quad (6)$$

$$\sqrt{\frac{P_{mr}}{N}} = \sqrt{\frac{P_{mr} \lambda^2}{(4\pi)^2 R_{mr}^2 10^{L/10} k T B 10^{F_N/10}}} G_r$$

- P_r, P_j, P_{mr} : 표적/재머/요격탄 응답 수신전력 [W]
- N : 잡음 전력 [W]
- P_t, P_{pmr} : 표적/요격탄 응답 최대 송신전력 [W]
- N_j : 재머 송신전력 [W/Hz]
- λ : 파장 [m]
- σ : 레이다반사면적(RCS) [m^2]
- G_t : 송신 안테나 이득 [V]
- G_r : 수신 안테나 이득 [V]
- R_t, R_j, R_{mr} : 표적/재머/요격탄 거리 [m]
- L : 수신기 급전 손실 [dB]
- k : 볼츠만 상수 [J/K]
- T : 실효 잡음온도 [K]
- B : 수신기 대역폭 [Hz]
- F_N : 수신기 잡음지수 [dB]

표적의 종류별로 계산된 결과를 식 (7)과 (8)을 이용하여 부배열 모의신호의 크기와 위상을 계산한다. 여기서 ΔA_m 와 $\Delta \Phi_m$ 는 기준 부배열과 m -번째 부배열의 진폭, 위상값의 차이이며 부배열 간 진폭, 위상 오차를 보정하기 위한 보정값이다.

$$A_m [dB] = 20 \log_{10} \left(\sqrt{\operatorname{re} \left(\sqrt{\frac{P_r}{N}} \right)^2} + \operatorname{im} \left(\sqrt{\frac{P_r}{N}} \right)^2} \right) + \Delta A_m \quad (7)$$

$$\Phi_m [rad] = \tan^{-1} \left(\operatorname{im} \left\{ \sqrt{\frac{P_r}{N}} \right\}, \operatorname{re} \left\{ \sqrt{\frac{P_r}{N}} \right\} \right) + \Delta \Phi_m \quad (8)$$

모의신호제어기는 통제장치로부터 받은 운용 주파수, 표적의 속도, 거리 정보를 이용하여 도플러주파수와 지연시간을 계산한다. 도플러주파수는 식 (9), 지연시간은 식 (10)을 이용하여 계산된다. 여기서 f_d 는 도

플러주파수, V_r 은 표적의 속도, Δt 는 지연시간, R 은 표적의 거리, c 는 빛의 속도이다. 계산된 각 부배열의 진폭(A), 위상(Φ), 도플러주파수(f_d), 지연시간(Δt) 등의 신호 파라미터는 모의신호생성기로 전송된다.

$$f_d [Hz] = \frac{-2 \times V_r [m/s]}{\lambda [m]} \begin{cases} f_d > 0: In-bound \\ f_d < 0: Out-bound \end{cases} \quad (9)$$

$$\Delta t [sec] = \frac{2 \times R [m]}{c [m/s]} \quad (10)$$

2.3 모의신호생성기

모의신호생성기는 모의신호제어기로부터 받은 신호 파라미터를 기반으로 표적 #1, 표적 #2, 재밍 모의신호를 생성한다. 부배열신호(재밍)생성부는 1개 당 6채널로 구성되어 부배열 수 만큼의 채널이 구성되어 표적 #1, 표적 #2, 재밍 부배열 신호를 동시에 모의한다. Fig. 4는 모의신호생성기 구성도이다.

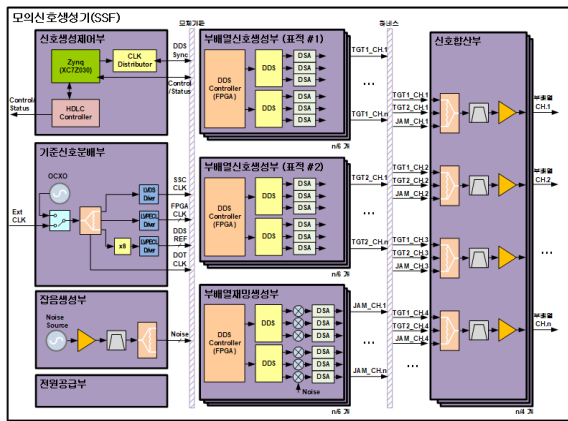


Fig. 4. The block diagram of SSF

신호생성제어모듈은 모의신호제어기로부터 계산된 모의 표적 및 재밍 신호의 크기, 위상, 도플러주파수 등의 제어명령을 받아 모의신호생성기 구성 모듈을 제어하고 상태정보를 수집하는 기능을 한다^[6]. 또한 다수의 DDS를 동일 타이밍에 제어하기 위한 동기화를 위해 기준신호 지연 기능이 포함되어 있다.

기준신호분배모듈은 CW, LVDS, LVPECL 규격의 기준신호를 동시에 생성하여 내부 구성품에 분배하고 단독 국부모드로 동작하거나 안테나장치와 동기되어 원격모드로 동작한다.

부배열신호생성모듈은 4채널 DDS 2개와 제어를 위한 FPGA가 탑재되어 표적 반사 신호와 유도탄 응답 신호를 생성하며 모듈 당 6채널의 신호를 출력한다. 각 채널은 독립적인 DDS Core를 가지고 있어 독립적으로 여러 펄스 반복 주기를 갖는 파형 생성이 가능하다^[7]. 0.022° 간격으로 360° 위상제어가 가능하고, 5.99 Hz 간격으로 $f_{if} \pm 196$ kHz 범위의 도플러주파수 가변 범위를 갖는다. 각 채널에 4단 가변감쇄기가 배치되어 0.5 dB 간격으로 105 dB 이상 이득 제어가 가능하다.

부배열재밍생성모듈은 잡음생성모듈로부터 잡음을 입력받아 DDS에서 생성된 신호와 혼합하여 모듈 당 6채널의 재밍 신호를 출력한다. 4채널 DDS 2개와 제어를 위한 FPGA가 탑재되어 각 채널은 독립적으로 능동/수동 재밍 파형 생성이 가능하며 각 채널에 3단 가변감쇄기가 배치되어 0.5 dB 간격으로 60 dB 이상 이득 제어가 가능하다.

신호합산모듈은 생성된 표적신호 2개와 재밍신호 1개를 1:3 합산하는 기능을 수행하며 부배열 수만큼의 출력을 갖는다. 각 부배열마다 3개의 모의신호가 합산되어 있으므로 시나리오에 따라 다양한 레이더환경신호를 동시에 모의할 수 있다.

2.4 디지털하향변환기

디지털하향변환기는 모의신호의 디지털 I/Q 변환 기능을 수행한다. Fig. 5는 디지털하향변환기 구성도이다. 하향변환기제어모듈은 모의신호제어기로부터 파형, 주파수, 수신 구간 정보 등의 제어명령을 받아 구성 모듈을 제어하고 상태정보를 수집하는 기능을 수행한다^[8].

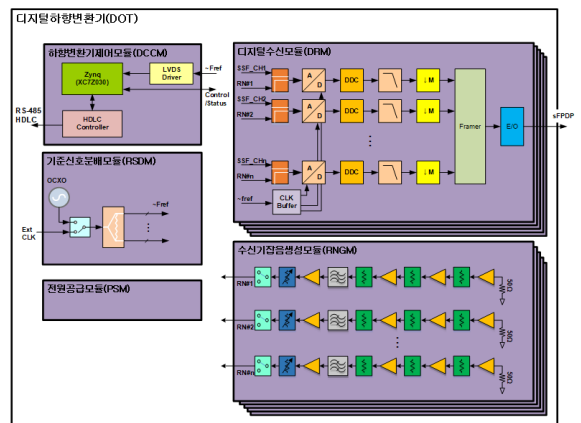


Fig. 5. The block diagram of DOT

디지털수신모듈은 모의신호생성기로부터 IF대역의 부배열 모의신호를 입력받아 ADC(Analog to Digital Conversion), DDC(Direct Digital Conversion), Decimation을 수행하며^[9] 디지털변환 된 신호는 전광 변환되어 신호처리장치로 전송된다. ADC는 변환 과정에서 SNR 손실과 비선형 특성으로 인해 발생하는 스퓨리어스 성분 등으로 인해 동적영역이 제한되며, 입력되는 잡음 전력의 이득을 설정하여 SNR 손실 및 동적영역을 설계한다. Fig. 6은 디지털수신모듈에 적용된 ADC의 입력 잡음 대비 손실 및 동적영역 시뮬레이션 결과이다. ADC에 입력되는 잡음 레벨에 따라 손실 및 동적영역이 trade-off 관계가 있으므로 다기능레이더의 동적영역을 고려하여 수신기잡음생성모듈에서 적절한 레벨의 수신기 잡음을 모사하여 ADC에 입력했다.

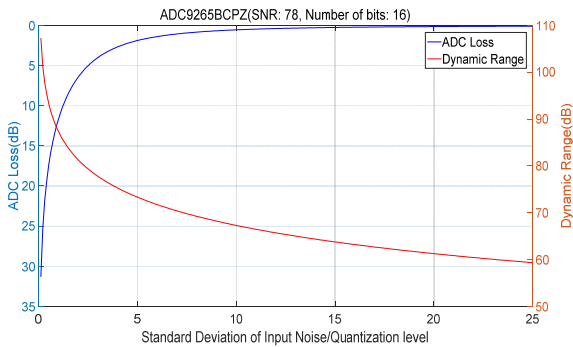


Fig. 6. ADC Loss and dynamic range by input noise

3. 통합 시험

개발 된 RESS의 형상을 Fig. 7에 나타내었다. 각 모듈은 내부 하우징에 장착되어 통합기판과 케이블 하네스를 통해 연동된다. 모의신호제어기는 19인치, 모의신호생성기와 디지털하향변환기는 21인치 크기의 랙마운트 타입 내부하우징이 적용되었고, 공랭식 방열을 위해 하부 흡기팬과 상부 배기팬이 장착되었다. 합체 하우징은 야전 운용이 가능한 IP65 이상의 방수성을 가지며 장비 간 연동 케이블은 각각의 함체하우징 후면 Circular 커넥터에 체결된다.

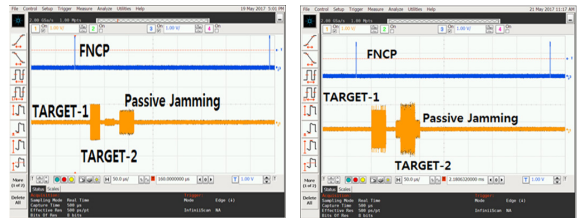
RESS 통합 시험을 위해 전용 시험장비를 이용하여 제어명령 및 시나리오를 전송하고 생성된 부배열 모의신호를 상용 계측기를 이용해 계측했다. 또한 디지털하향변환기에서 디지털 하향변환 된 부배열 데이터를 전용 시험장비에 저장한 후 신호처리 프로그램에 장입하여 분석했다. 일부 시나리오에 대한 시험 결과를 Fig. 8에 나타냈다.

디지털하향변환기에서 디지털 하향변환 된 부배열 데이터를 전용 시험장비에 저장한 후 신호처리 프로그램에 장입하여 분석했다. 일부 시나리오에 대한 시험 결과를 Fig. 8에 나타냈다.

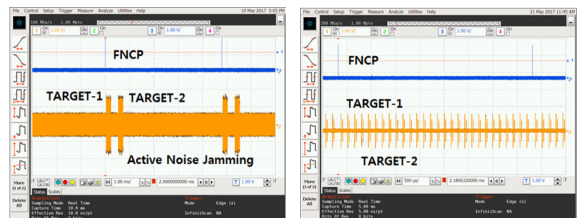


(a) 모의신호제어기 (b) 모의신호생성기 (c) 디지털하향변환기

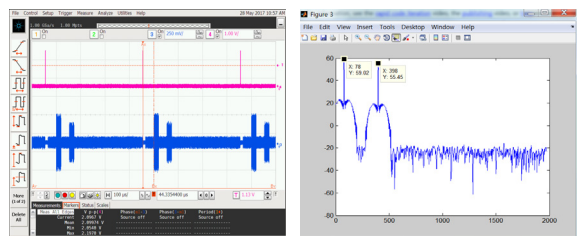
Fig. 7. RESS picture



(a) 표적2개+수동재밍(case1) (b) 표적2개+수동재밍(case2)



(c) 표적2개+능동재밍(case3) (d) 표적2개(PT)



(e) 표적2개(LFM)+능동재밍 (f) (e)의 펄스압축 결과

Fig. 8. Performance test results

4. 결론

본 논문에서는 능동위상배열 다기능레이다의 부배열 수신신호 모의를 위한 레이다환경신호모의장비 설계 및 제작 결과에 대해 기술하였다. 레이다환경신호모의 장비는 레이다 운용 정보와 모의 시나리오 정보를 수신하여 표적/재밍/요격탄 응답/클러터 신호 등 다중 표적 환경을 동시에 모의할 수 있도록 구현되었다.

개발 된 RESS는 다기능레이다 수신기의 포화 레벨 부터 잡음 레벨까지의 동적영역 이상을 커버할 수 있는 이득제어 성능을 보유하여 수신기의 동적영역 전체에 신호를 모의할 수 있고 표적 80 dB 이상, 재밍 71 dB 이상 모의신호의 수신 SNR을 조절할 수 있다. 또한 0 ~ 360° 위상 조정이 가능해 다기능레이다가 바라보는 표적의 방향과 속도에 따른 부배열 위상과 목표 표적 속도 이상의 도플러주파수도 모의할 수 있으며 10 ms 이상, 간격 20 ns 이내로 지연시간을 조절하여 1500 km 이상의 거리를 3 m 해상도로 모사할 수 있다. 다기능레이다 수신기 없이 시험할 경우 수신기의 잡음을 ADC에 입력하기 위한 수신기 잡음모의 기능도 보유한다.

레이다환경신호모의장비는 빔 내 최대 표적 2개, 재밍 1개를 모의할 수 있어 다기능레이다의 기능 및 성능을 입증할 수 있는 시험장비로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] J. E. Roh, J. M. Yang, K. J. Yoo, Y. S. Gu, S. H. Lee, S. C. Song, H. Y. Lee, B. G. Choi and M. J. Lee, "Radar Return Signal Simulation Equipment Using MC-DDS(Multi-Channel Direct Digital Synthesis)," The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 22, No. 10, pp. 966~980, Oct. 2011.
- [2] K. J. Yoo, K. C. Lee, G. S. Kim and Y. D. Jin, "Development Method of Radar Environment Signals Simulator for Active Phased Array Multi Function Radar", KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 154~155, June. 2016.
- [3] G. H. Kim, E. H. Yang, K. J. Yoo, K. C. Lee, G. S. Kim and H. Y. Lee, "Design and Fabrication of Radar Environment Signals Simulator for Simulating Receiving Signals of Active Phased Array Multi Function Radar," KIEES Summer Annual Conference Proceedings, Vol. 6, No. 1, p. 355, Aug. 2018.
- [4] G. N. Kwon, J. Y. Park and K. C. Hwang, "Optimization of Subarray Configuration for Multi-Function Radar," KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 987~988, 2015.
- [5] William L. Melvin, James A. Scheer, "Principles of Modern Radar Vol. III : Radar Application," IET, United Kingdom(UK), p. 506, 2013.
- [6] K. M. Lee, K. J. Yoo, K. C. Lee, G. S. Kim and H. Y. Lee, "Design and Fabrication of Control Module for Radar Environment Signal Former of Multi Function Radar," KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 63~64, Nov. 2017.
- [7] E. H. Yang, G. H. Kim, K. J. Yoo, K. C. Lee, G. S. Kim and H. Y. Lee, "Implementation of Radar Environment Signals for Active Phased Array Multi Function Radar Using FPGA and DDS," IEIE Autumn Conference Proceedings, pp. 756~758, Nov. 2017.
- [8] S. J. Gil, K. J. Yoo, K. C. Lee, G. S. Kim and H. Y. Lee, "Design and Fabrication of Control Module for Digital Down Conversion and Fiber Optic Transmission of Multi Function Radar," KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 64~65, Nov. 2017.
- [9] H. M. Yi, D. H. Kim and I. T. Han, "Design of Sub-array Receiver for Active Phase Array Radar," Journal of the Korean Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 23, No. 5, pp. 568 ~573, May. 2019.