Journal of the KIMST, Vol. 19, No. 5, pp. 590-597, 2016
ISSN 1598-9127
DOI http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2016.19.5.590

Research Paper 센서 · 신호처리 부문

고해상도 레이더용 다중산란점 발생장치의 설계 및 제작

이호준*,1) · 김윤진1) · 윤승구1) · 정해창2) · 공덕규2) · 이재웅2) · 변영진2)

1) LIG넥스원㈜ 감시정찰연구소
2) 국방과학연구소 제3기술연구본부

A Design and Fabrication of Multiple Scattering Points Generator for High Range Resolution Radar

Ho-Joon Lee*,1) · Youn-Jin Kim1) · Seung-Gu Yoon1) ·
Hae-Chang Jeong2) · Deok-Kyu Kong2) · Jae-Woong Yi2) · Young-Jin Byun2)

1) *ISR & EW R&D Center, LIG NEX1. Co., Ltd, Korea*
2) *The 3rd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 15 February 2016 / Revised 10 May 2016 / Accepted 19 August 2016)

ABSTRACT

We designed the multiple scattering points generation system to simulate an actual situation of target signal for high range resolution radar system. This provides replicating the target signals and controlling the status of target signals for radar system. This is composed transmit antenna and multi target generator. Transmit antenna is waveguide array antenna and multi target generator has signal distribution module and control & power module. Multi target generator is able to provide the high isolation and variable output power. Moreover, in order to monitor all output signals of the multi target generator, the flows of signals are programed in control & power module. The performance is demonstrated using experimented results of high range resolution radar.

Key Words : High Range Resolution Radar(고해상도 레이더), Multiple Scattering Points Generator(다중산란점 발생장치), Radar Signal Generator(레이더신호발생기)

1. 서 론

HRR(High Range Resolution) 신호 파형을 사용하는 레이더는 기존의 펄스 도플러 레이더와 비교했을 경우, 운용 대역폭이 커질수록 거리 방향에 대해 높은 해상도를 가진다. 이러한 고해상도 레이더를 통해 대상물을 탐지할 경우, 거리 방향에 대한 레이더 단면적을 얻게 된다[1]. 이때, 레이더 해상도와 대상물의 전파 산란점에 의하여 대상물의 레이더 단면적은 분포된 형태로 나타나며, 이러한 레이더 단면적 분포를 대상물의 다중산란점에 의한 분포라 한다.

* Corresponding author, E-mail: hojoon.lee@lignex1.com
Copyright ⓒ The Korea Institute of Military Science and Technology

고해상도 레이더는 레이더 해상도가 결정되면 특정 대상물의 크기와 형상, 자세에 따른 다중산란점 분포를 시뮬레이션 또는 시험적으로 도출할 수 있다. 도출된 다중산란점 분포는 데이터베이스(DB; Data Base)화 하여 레이더에서 특정 대상물의 다중산란점을 획득했을 때, 데이터베이스와 비교하여 대상물의 종류, 크기와 자세 형상에 대한 정보를 곧바로 유추해 낼 수 있는 장점이 있다.

Fig. 1은 고해상도 레이더의 개발 과정을 보여주는 흐름도의 예이다. 우선 1)레이더로 탐지할 대상물을 선정하고, 2)대상물의 특성을 고려하여 레이더의 해상도를 결정한다. 3)선정된 대상물을 시뮬레이션을 통해 다중산란점을 예측한 후, 측정 결과와 비교 분석하여 다중산란점을 획득 및 시뮬레이터를 검증한다. 4)시뮬레이션 및 레이더 실험을 통해 획득된 다중산란점 정보를 기반으로 다중산란점 데이터베이스를 구축한 후 5) 레이더 알고리즘 구축 단계에서는 대상물 식별 및 자세 판별에 대한 레이더 알고리즘 구축에 활용한다. 6) 실내 모의시험 단계에서는 무반향 챔버내에서 다중산란점을 갖는 레이더신호발생기를 이용하여, 레이더를 간이시험 한다. 이때 실내 모의시험 단계에서 성능이 정상적으로 검증되지 않는 경우, 알고리즘을 보완하여 정상적으로 검증될 때까지 실내 모의시험을 반복하게 된다. 7)야외시험 및 8)레이더 성능 검증 단계에서는 실제와 유사한 환경 및 조건에서 대상물을 측정하여 레이더의 성능을 검증하게 된다.

레이더 성능 검증을 위한 실내 모의시험은 야외시험에 비해 반복성, 편의성, 경제성, 시간적 측면에서 상당한 이점을 제공하기 때문에 레이더 개발과정에서 필수적이다. 레이더신호발생기는 대상물을 모사하는 신호를 발생시키는 장치로서, 실내 모의시험을 위하여 반드시 필요한 장치이다.

일반적인 펄스 도플러 레이더의 경우, 레이더 신호처리 시간동안 하나의 주파수를 펄스 형태로 송신하여, 대상물의 상대속도에 의한 도플러 신호를 상대거리에 따라 시간지연된 펄스 형태로 수신하게 된다. 수신된 펄스 도플러 신호의 주파수와 크기로 각각 대상물의 속도와 레이더반사량에 대한 정보를 파악하게 된다. 이때 주파수 영역에서는 거리정보를 파악할 수 없는 한계가 있으며, 하나의 대상물에 대하여 펄스 변조된 도플러 신호 하나를 수신하게 되어 해상도 측면에서도 한계를 갖는다. 이러한 펄스 도플러 레이더의 실내시험에서도 레이더 신호발생기는 하나 혹은 복수의 대상물에 대한 도플러 신호를 제공하는데 그쳤다[2]. 고해상도 레이더의 실내 모의시험을 위한, 다중산란점을 갖는 레이더신호발생기는 현재까지 알려져 있는 바가 없다.

본 논문에서는 고해상도 레이더의 실내 모의시험을 위한 다중산란점 발생장치의 설계 및 제작을 보였다. 다중산란점 신호의 특징을 바탕으로 다중산란점 발생장치의 구성과 이를 이용한 실내시험 개념을 수립하였다. 이를 바탕으로 다중산란점 발생장치를 설계 및 제작한 후, 고해상도 레이더로 측정하였으며, 측정 결과를 분석하여 다중산란점 발생장치의 효용성을 검증하였다.

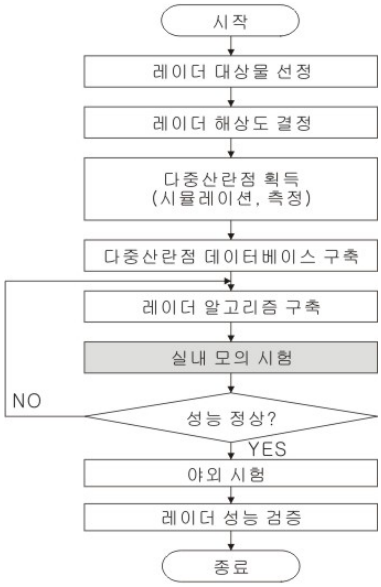


Fig. 1. Example of HRR radar development process

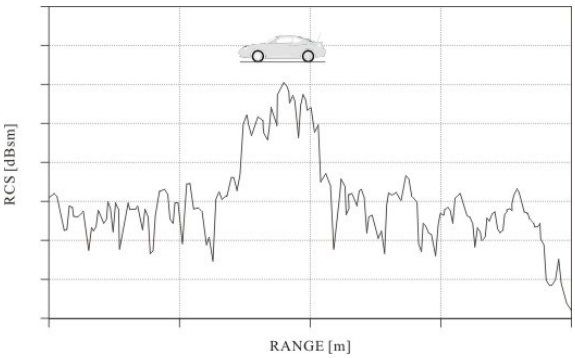


Fig. 2. The example of multiple scattering points

2. 다중산란점 발생장치의 개념 설계

2.1 다중산란점 신호의 특징

Fig. 2는 고해상도 레이더로 획득한 다중산란점 분포의 예를 보인다. 다중산란점 신호의 특징은 산란점 수, 산란점 간 거리, 산란점 크기, 시변 특성을 들 수 있다. 산란점 수는 대상물의 형상과 레이더 해상도에 의존하며, 산란점 간 거리와 산란점 크기는 대상물의 전파 반사량에 의존한다. 시변 특성은 이동형 대상물에 대해서 산란점 수, 크기, 거리가 변화할 수 있다. 이를 다중산란점 프로파일이라고 하며, 데이터베이스화 하여 제공되게 된다. 따라서 다중산란점 발생장치는 대상물의 다중산란점 프로파일을 레이더신호로 발생할 수 있도록 산란점 수, 산란점 간 거리, 산란점 크기, 시변특성을 반영할 수 있도록 설계되어야 한다.

2.2 다중산란점 발생장치 구성 및 실내시험 개념

Fig. 3은 다중산란점 발생장치 구성개념 및 고해상도 레이더의 실내시험 개념도를 보였다. 전파무반향 챔버내에 고해상도 레이더, 수신안테나, 송신안테나를 배치한다. 외부에는 스위치와 레이더신호발생기, 신호분배모듈이 연결된다. 스위치는 레이더의 송신 여부에 따라 레이더 신호발생기가 선택적으로 레이더 신호를 입력 받을 수 있도록 한다. 스위치에 의하여 레이더에서 방사된 신호를 수신안테나로 수신하는 경로 1과 레이더의 신호원에서 분기된 신호를 직접 입력받는 경로 2로 선택할 수 있다. 스위치를 거친 레이더 신호는 레이더 신호발생기에 입력되어 속도와 거리 정보를 갖도록 신호를 혼합하고 시간지연 시킨다. 이 신호를 바로 송신안테나로 연결하게 되면 일반적인 도플러 레이더신호 발생장치의 구성이 된다. 다중산란점을 갖는 레이더신호를 발생하기 위하여 레이더신호발생기의 출력을 신호분배모듈에 입력하게 된다. 신호분배모듈은 n개의 신호분배블록으로 구성된다. 여기서, n은 산란점의 수와 같다. 신호분배블록은 입력 A 및 출력 B의 신호크기가 갖도록 증폭기의 이득을 설정하여 신호분배블록의 다단연결을 통해 산란점 수 확장에 유리한 장점을 갖도록 구성하였다. 신호분배블록은 증폭기, 가변시간지연소자, 커플러, 가변감쇠기로 구성되며 커플러의 통과 출력은 다음단의 신호분배블록과 연결되며, 커플링된 출력은 송신안테나로 연결된다. 이때, 시간지연소자의 시간지연 값을 조정하여 각 송

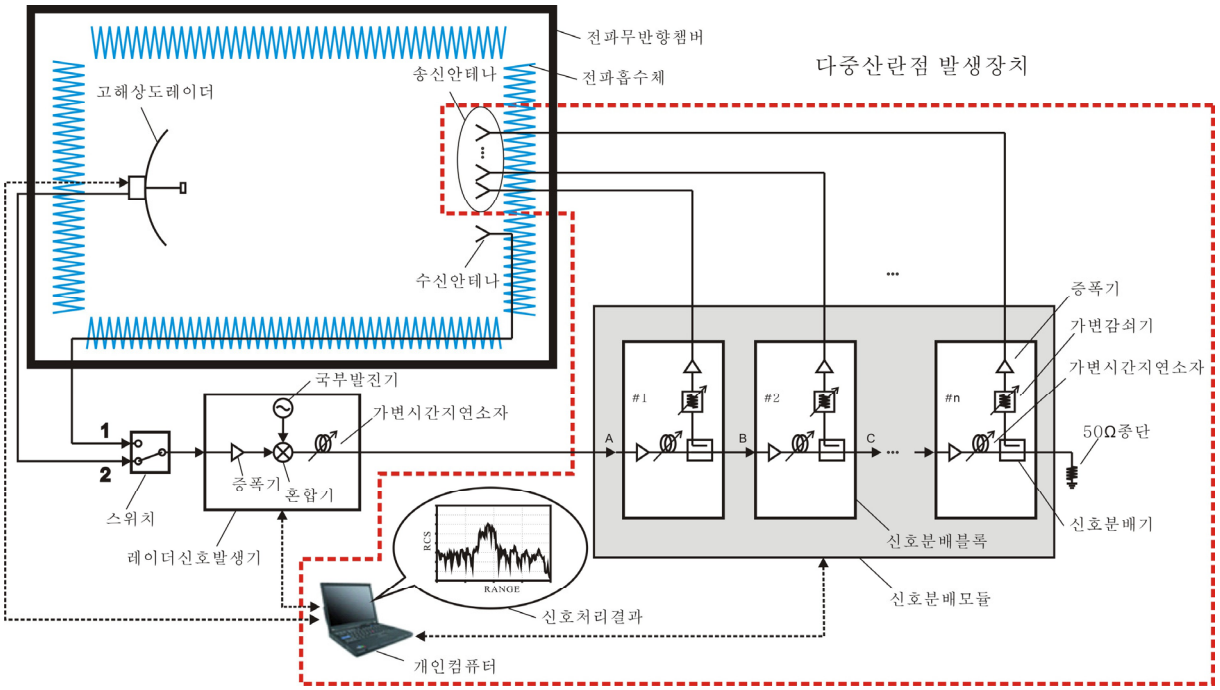


Fig. 3. The concept of laboratory test and configuration of multiple scattering point generator

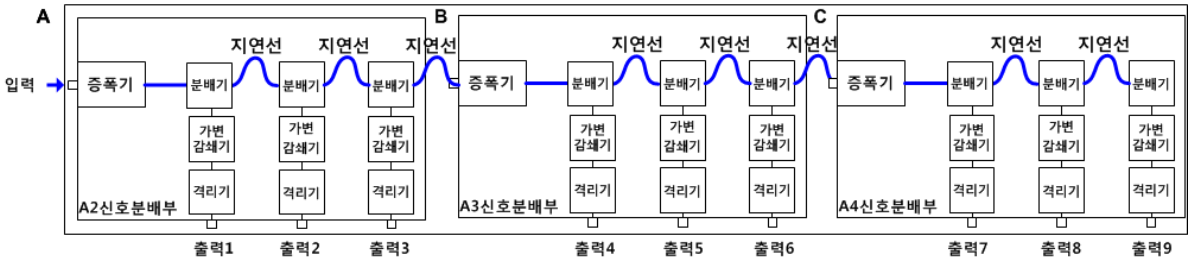


Fig. 4. Block diagram of signal distribution module

신 신호가 거리방향에 대하여 분포될 수 있도록 하고, 가변감쇠기의 감쇠값을 조정하여, 분포된 신호의 크기를 조정 가능하도록 한다. 또한, 별도의 제어 소프트웨어와 제어/전원모듈을 두어 고해상도 레이더의 레이더 처리시간과 동기시켜 시변기능을 갖도록 하였다.

3. 다중산란점 발생장치의 설계 및 제작

스위치와 레이더 신호 발생기는 일반적인 사항으로 본 논문에서 언급을 생략하였으며, 다중산란점 발생장치 의 설계 파라미터를 결정하고, 이를 만족하는 송신안테나, 신호 분배모듈, 제어프로그램에 대한 설계 결과를 보였다.

3.1 설계파라미터 결정

시뮬레이션을 통한 특정 대상물의 다중산란점 프로파일을 도출하고 분석하여, 다중산란점 발생장치의 설계 파라미터들을 결정하였다. 이때, 특정 대상물뿐만 아니라 다른 대상물에 대해서도 다중산란점 신호를 제공하도록 여유치를 두고 결정하였다.

산란점 수는 9개, 산란점 크기는 신호 대 잡음비를 고려하여 40 dB 이상, 산란점 간 거리는 대상물의 길이의 여유치에 대하여 9등분함으로서 등간격으로 나타나도록 설정하였다. 이때 이동성 대상물을 고려했을 때, 산란점 크기는 각각 40 dB 이내의 변화량을 갖도록 하였다. 산란점 간 거리 변화는 9개의 산란점 중 원하는 위치의 산란점을 선택하여 결정할 수 있도록 설계하였다.

3.2 신호분배모듈 설계 및 제작

신호분배블록은 Fig. 4와 같이 증폭기, 분배기, 가변감쇠기, 지연선, 격리기로 구성하였다. 증폭기는 분배기에 의한 감쇄량을 보상하여 신호분배블록의 입력 A와 출력 B의 크기가 같도록 하기에 충분한 이득을 갖는 증폭기를 선정하였다. 분배기는 3 dB 분배기를 사용하였다. 가변감쇠기는 0.5 dB 간격으로 최대 64 dB의 감쇠량을 가변 할 수 있는 8 bit 가변 감쇠기를 사용하였다. 시간지연소자는 RF케이블을 사용하였으며, 시간지연 τ은 식 (1)을 이용하여 결정하였다.



Fig. 5. Outline of multi target generator, control & power module

$$\tau = 2R/c_0 \quad (1)$$

여기서, R은 산란점 간 거리를 의미하며, c_0는 광속을 의미한다. 이때 거리 R은 레이더 해상도의 약 3배의 길이를 갖도록 설계하였다. 격리기는 송신안테나에 의해 수신된 고전력의 레이더 신호로부터 소자를 보호하기 위하여 사용되었다. 신호분배모듈의 9개 출력 전력은 레이더 안테나 이득, 송신 안테나 이득과 공간 손실, 케이블 손실을 고려하여 각각 약 0 dBm의 출력

에서 40 dB 감쇠량을 갖도록 설계하였다. 9개 출력전력의 편차는 가변 감쇠기를 조정하여 ± 1 dB 이내가 되도록 하였다.

Fig. 5는 제작된 신호분배모듈의 형상을 보인다. 신호분배블록 3개와 제어/전원모듈 1개를 하나의 랙으로 구성하였다. 신호분배블록 및 제어/전원모듈은 3U랙 크기의 4단 서랍형구조 캐비닛으로 제작하였다. 전면에는 전원단자, 레이더신호발생기의 신호를 입력받는 단자와 송신안테나와 연결되는 9개의 출력단자, 제어 프로그램과 통신을 위해 연결되는 LAN 단자를 배치하였다.

3.3 송신안테나

송신안테나는 산란점 수와 동일하게 9개의 혼안테나로 구성하였다. 고해상도 레이더의 3 dB 빔폭내에 9개의 혼안테나가 위치하도록 하였다. 약 5 dBi의 이득을 갖는 소형 혼안테나가 사용되었으며, 인접한 혼안테나 간 격리도를 고려하여 배치되었다.

Fig. 6은 제작된 송신안테나를 보인다. 9개의 혼안테나는 별도의 장착판에 고정하였으며, 장착판은 전후진 이동 및 지향방향 조정이 가능하도록 제작되었다.

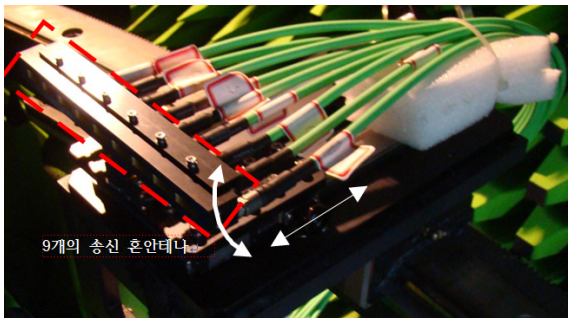


Fig. 6. The fabricated transmit antennas

3.4 제어 프로그램 설계

제어 프로그램은 다중산란점 발생장치의 제어 및 상태확인을 위한 프로그램으로서 파일관리부, RF블록도 및 감쇠량확인부, 감쇠량제어부의 3구역으로 구분되며 Fig. 7에 메인화면을 나타내었다.

파일관리부는 기 작성된 감쇠량 프로파일을 다중산란점 발생장치의 제어부메모리에 저장하여 사용하게 되며 이 파일을 관리하는 역할을 한다. 기 작성된 감쇠량 프로파일 선택하는 기능과 수정하여 저장하는 기능, 현재 선택된 프로파일을 다중산란점 발생장치로

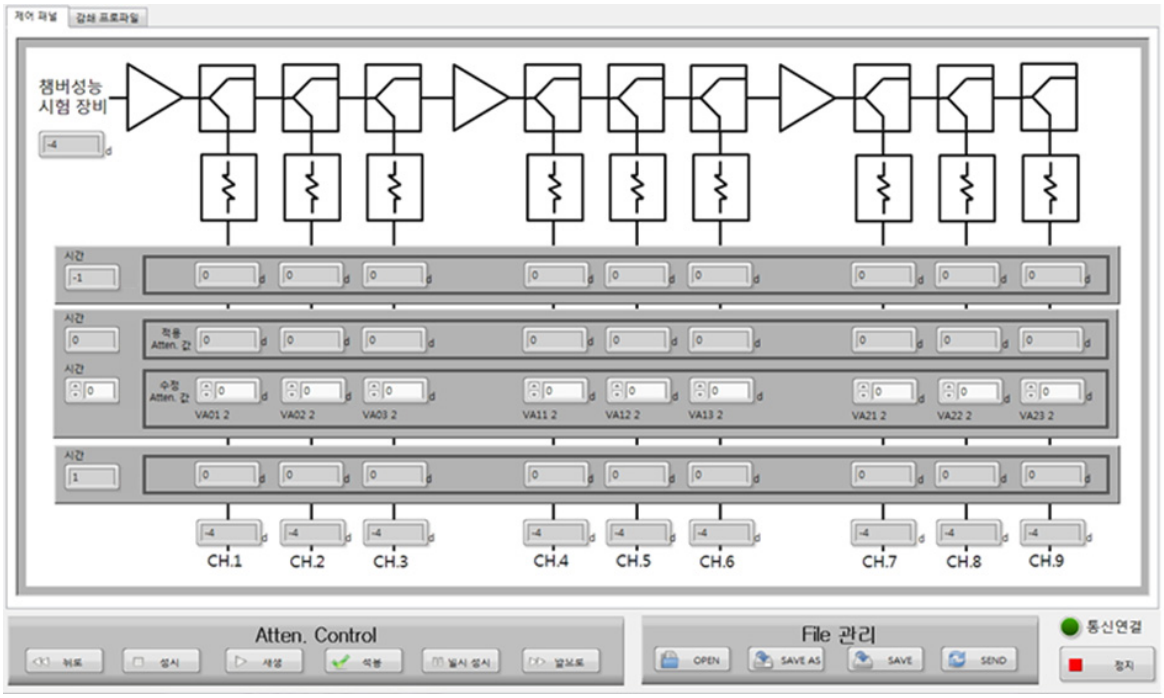


Fig. 7. Control program

전달하는 기능을 구현하였다.

본 제어 프로그램은 다중산란점 각 9개에 대한 감쇠량 제어주기를 수 ms 단위로 제어할 수 있으며 최대 10초 분량의 프로파일을 미리 설정하여 시간에 따라 프로그램 제어가 가능하다.

RF블록도 및 감쇠량확인부는 멀티표적생성기내의 각 채널별 구조 및 현시점의 감쇠량값을 한눈에 알 수 있도록 하였으며 레이더신호발생기로 부터 입력된 전력 대비 감쇠량 제어부에서 적용된 감쇠량 값을 포함한 총 9개 산란점의 출력을 실시간 파악할 수 있다.

4. 다중산란점 발생장치의 측정 결과

제작된 다중산란점 발생장치는 제어 프로그램를 적용하여 검증하였으며, 송신안테나의 격리도, 신호분배모듈의 출력 전력, 출력 간 시간지연을 측정하였다. 또한 고해상도레이더를 이용하여 실내시험을 수행하였다[3].

4.1 송신안테나 측정

송신안테나의 인접한 혼안테나간 격리도를 시험하였으며 측정결과의 신뢰성을 위하여 회로망분석기를 무반향챔버 밖에 위치하여 측정장비의 간섭이 없도록 하였다. 회로망분석기의 포트1을 혼안테나와 연결되어 있는 CH1의 케이블과 연결하고, 포트2를 혼안테나와 연결되어 있는 CH2의 케이블에 연결한 후 S_{21}와 S_{12}의 값에서 미리 측정된 케이블 및 어댑터 손실을 보상하여 격리도를 얻었다. 혼안테나간 격리도 측정결과를 Table 1에 나타내었으며 모든 혼안테나에 대하여 40 dB 이상의 격리도를 보였다.

4.2 신호분배모듈 측정

신호분배모듈은 출력 전력, 가변감쇠량, 출력간 시간지연을 측정하였다. 이때, 제어 프로그램과 연동하여 측정하였다.

출력전력은 레이더 신호 입력단을 신호발생기에 연결하고, 9개의 출력 포트를 스펙트럼분석기에 연결하여 측정하였다. 제어 프로그램를 이용하여 9개 출력 모두 약 0 dBm, 편차 ± 1 dB의 출력전력을 갖도록 설정하였다.

가변 감쇠량은 출력측정과 동일하게 연결하고, 제어 프로그램 화면에서 감쇠량을 설정하여 출력전력 차이를 측정하였다. 시험결과 1dB 단위로 최대 41dB 까지 감쇠량을 갖는 것을 확인하였다.

Table 1. The measured antenna isolation

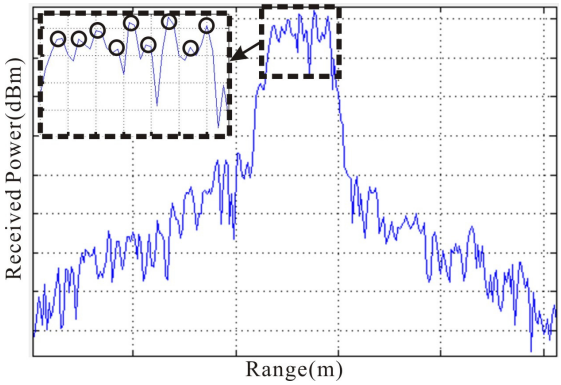
입력 단자	출력 단자	측정결과(dB)		
		측정값	케이블 및 어댑터 손실	격리도
CH1	CH2	54.4	12.73	41.67
CH2	CH1	54.4	12.73	41.67
	CH3	54.5	12.76	41.74
CH3	CH2	54.5	12.76	41.74
	CH4	55.5	12.80	42.70
CH4	CH3	55.5	12.80	42.70
	CH5	54.9	12.89	42.01
CH5	CH4	54.9	12.89	42.01
	CH6	54.9	12.87	42.03
CH6	CH5	54.9	12.87	42.03
	CH7	55.0	12.80	42.20
CH7	CH6	55.0	12.80	42.20
	CH8	54.3	12.88	41.42
CH8	CH7	54.3	12.88	41.42
	CH9	53.9	12.83	41.07
CH9	CH8	53.9	12.83	41.07

출력간 시간지연은 레이더신호 입력단을 네트워크분석기의 포트 1에 연결하고, 신호분배모듈의 출력을 포트 2에 연결하여 시간지연을 측정하였다. 입력 대 출력간 시간지연을 비교하여 각 출력간 시간지연의 차이를 도출하였으며, RF 케이블의 길이를 조정하여 등간격의 시간지연을 갖도록 하였다.

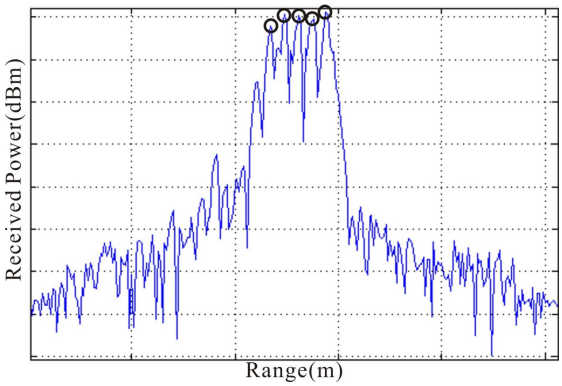
4.3 다중산란점 발생장치를 이용한 고해상도 레이더의 모의시험 결과

다중산란점 발생장치를 적용하여 고해상도 레이더에서 추출된 다중산란점의 모의시험결과를 Fig. 8에 나타내었다.

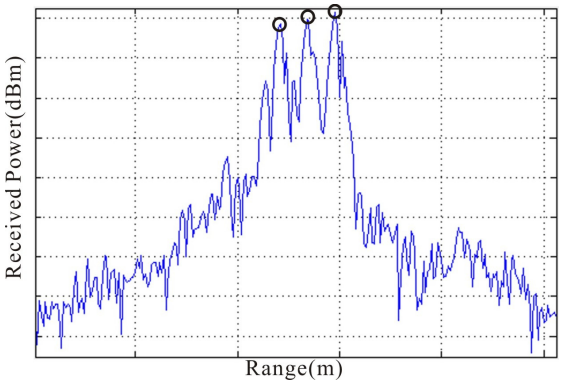
Fig. 8 (a)(b)(c)는 각각 9개(CH1, CH2, CH3, CH4, CH5, CH6, CH7, CH8, CH9), 5개(CH1, CH3, CH5,



(a) 9 scattering points
(CH1, CH2, CH3, CH4, CH5, CH6, CH7, CH8, CH9)



(b) 5 scattering points
(CH1, CH3, CH5, CH7, CH9)



(c) 3 scattering points
(CH1, CH5, CH9)

Fig. 8. The signal processing results of high range resolution radar using multiple scattering points generator[Y axis scale : 10 dB/div]

CH7, CH9), 3개(CH1, CH5, CH9)의 산란점을 갖도록 감쇠기를 제어했을 때의 레이더 신호처리 결과이다. 임의의 다중산란점 프로파일을 입력했을 때, 산란점 수 및 크기가 시간에 따라 제어한 만큼 조정되는 것을 확인하였다. 9개 산란점의 경우, 각 채널의 거리가 거리해상도의 약 3배 정도이기 때문에 구분이 다소 어려우나 원하는 위치에서 9개 산란점이 획득되는 것을 확인할 수 있다. 5개 및 3개 산란점의 경우, 확연하게 산란점이 구별되었다. 고해상도 레이더 측정 결과로부터 특정 대상물의 데이터베이스화된 다중산란점 프로파일을 입력할 경우, 산란점 수, 크기, 시변기능을 제공하여 고해상도 레이더로 하여금 실내 모의시험이 가능하도록 동작하는 것을 확인하였다. 향후, RF케이블 대신 가변시간지연소자를 적용할 경우 산란점 위치변화가 가능할 것으로 보이며, 다중경로에 의한 것으로 추정되는 산란점 신호를 제거할 경우, 명확한 산란점 분포를 제공할 것으로 기대된다.

5. 결 론

본 논문에서는 고해상도 레이더의 실내 모의시험을 위한 다중산란점 발생장치의 설계 및 제작을 보였다. 다중산란점 신호의 특징을 산란점 수, 산란점 크기, 산란점 간 거리, 시변기능으로 정의하였으며, 이를 바탕으로 다중산란점 발생장치의 구성과 이를 이용한 실내시험 개념을 수립하였다. 다중산란점 발생장치는, 확장에 용이한 장점을 갖는 신호분배모듈, 송신안테나, 제어소프트웨어로 구성하였다. 신호분배모듈은 거리방향에 대하여 분포된 형태를 갖도록 시간지연소자를 사용하였고, 분포된 신호의 크기를 가변감쇠기로 조정 가능토록 했으며, 제어소프트웨어와 제어기를 통해 가변감쇠기의 시변 제어가 가능하도록 제작하였다. 제작된 다중산란점 발생장치는 고해상도 레이더의 실내시험결과, 모의 대상물의 거리프로파일을 모사한 신호를 제공 가능하였으며, 실제 대상물에 대한 거리프로파일을 데이터를 입력하여 실제 상황과 유사한 시험을 수행할 수 있었다. 향후 고해상도 레이더의 실내시험에 활용되어 개발 비용 및 시간을 절감시킬 수 있을 것으로 예상된다. 또한 거리 감쇠량, 케이블 추가 연결에 따른 감쇠, 장비에 의한 방사전파 차폐를 고려하고, 장비의 소형, 경량화를 달성한다면 실외에서의 고해상도레이더 시험이 가능할 것으로 판단된다.

References

[1] D. R. Wehner, High Resolution Radar, 2nd edition. Artech House, 1987.

[2] Hyun-Ik Shin, Jeong-Wook Lee “A Development of Test and Evaluation Equipment for Pulsed Doppler Radar,” The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 33, No. 7, pp. 1174-1182, 1996.

[3] Hae-Chang Jeong, Deok-kyu Kong, Jae-Woong Yi, Young-jin Byun, Ho-Joon Lee, Kook-Joo Lee, “A Design and Fabrication of A Multiple Scattering Points Generator for High Range Resolution Radar,” KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 605-606, November, 2015.

[4] Hae-Chang Jeong, Gak-Gyu Choi, Sang-Yeop Lee, Deok-kyu Kong, Young-jin Byun, “Measurement and Analysis of an RCS Augmentation Device for Scattering Point Classification fo a Dummy Object,” KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 266-267, June, 2015.

[5] Merrill I. Sholnik, Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill, 2001.