

# 항공기 충돌방지 레이더의 표준 표적 탐지 시험분석

## Standard RCS Target Detection Test of Aircraft Collision Avoidance Radar

문상만\*, 김현경, 이상중, 김인규, 김태식, 이해창  
(한국항공우주연구원)

### 1. 서 론

요즘의 항공기에는 다양한 목적에 맞는 레이더가 장착되어 있으며, 그 크기와 장착 위치가 매우 다양하다. 하지만, 레이더가 장착 할 수 있는 위치 및 영역을 레이더의 역할에 비해 그리 충분하지는 않다. 그렇기 때문에 장착장비는 더욱 소형화 집적화가 되어 가고 있는 추세이어서 동 성능의 기능을 보유하며, 더욱 작은 레이더를 탑재하기 위해 사용주파수 대역을 높여가고 있다. 높은 주파수의 사용은 안테나의 소형화, 송수신 장치의 소형화를 이룩하였으며, 이에 따라 다양한 목적의 탑재장비를 탑재할 수 있게 되었다.

본 논문에서는 이러한 소형화에 맞추어 설계 제작된 헬기탐재 밀리미터 대역 레이더를 개발하였으며, 이러한 개발된 레이더의 성능시험방안에 대한 언급하고자 한다.

본 논문에서는 언급하는 레이더는 헬기에 탑재되는 레이더로서 주요 표적을 전력선으로 하여 전력선의 탐지 및 충돌회피를 목적으로 장착하는 레이더이다. 전력선은 항공기의 운항에 지대한 영향을 주는 위험요소로서, 항공장애물에 속한다. 그렇기 때문에 설계 제작된 레이더를 시험하기 위해서는 레이더를 탑재하여 항공기를 직접 전력선에 근접시켜 시험하여야 하지만, 이는 문제가 있다. 따라서, 장착 레이더의 성능을 시험하기 위해 전력선을 표준 RCS로 대체하여 동일한 조건에서 상대적으로 시험하고자 한다. 이러한 시험에서 같은 RCS인 표준 표적을 탐지한다면, 전력선도 탐지 할 수 있을 것이다.

먼저 본 논문에서 목표하고 있는 전력선은 그 크기가 직경 38mm 정도의 고전압 선이다. 이에 대한 이론적 해석 및 분석은 여러 문헌에서 잘 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 헬기의 충돌사고를 낮추기 위한 충돌 방지 레이더

개발에 있어 주 탐지 표적을 전력선 탐지를 목표로 선정하였으며, 전력선을 탐지 가능성을 확인하기 위해 이와 동등 또는 그 이상의 RCS를 갖는 표준 RCS(해당 주파수에서 반사량 및 그 특성을 알고 있는 기준이 되는 반사체)를 이용하여 개발 레이더의 성능을 가늠 할 것이다. 또한, 이와 더불어 동 성능의 레이더로 주변 환경 및 지형에 대한 반사량에 대한 시험을 위해 필요한 추가 시험 종목을 제안하여 그림 1처럼 헬기가 운행 중 처할 수 있는 조건에서의 충돌방지 탐지력에 대한 그 성능을 가늠할 수 있도록 그 방안을 본 논문에서는 제안하고자 한다.

그러므로 본 논문에서는 이와 같은 목적의 레이더 시스템 검증에 앞서 본 설계된 레이더의 목표 성능에 대해 언급하고 이에 대한 분석을 위한 성능시험 절차 및 방안에 대해 기술하고자 한다.

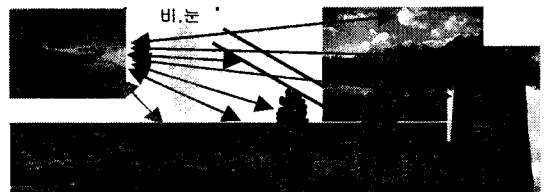


그림 1. 헬기 항행시의 주변 환경 및 항공장애물

### 2. 본 론

#### 1. 표적 전력선의 RCS 및 기본설계

본 논문에서 언급된 헬기 탑재형 레이더의 기본 설계 및 레이더 방정식을 이용하여 그 필요 성능 요구를 추출하여 표1에 요약하였다. 이의 설계를 위하여 표적의 특성을 분석하였으며, 주 표적인 일반적 전력선은 꼬임이 있는 도체 전선으로 모델링 할 수 있으며, 이러한 모델에 대한 산란 예측 및 측정값이 보고[1]된 바 있어

이를 이용하였다. 또한, 전력선의 탐지 방향 및 측정방법에 따라 많은 차이가 있는 것으로도 알려져 있어 추후 성능시험에 다양한 경우를 적용해야 함을 예상할 수 있었다. 이는 일반적으로 실제 환경에서의 일정 길이 이상의 전력선은 그 반사특성이 입사파의 편파 및 반사파의 편파에 따라 각각 다르며, 전선의 처짐성에 따라서도 달라지고, 꼬임의 수, 꼬임의 각에 따라 매우 다양한 특성을 나타내나, 입사각이 수직에 대한 두드러진 특징은 꼬임 선의 특징에 따라 다수의 침두 반사점이 있으며, 이는 입사각의  $-20 \sim +20^\circ$  사이에서 대부분 나타나는 것으로 계산 및 측정 되었다. 이러한 특징을 고려하여 레이더의 스캔 범위 및 탐지 범위를 선정할 수 있었으며, 그 침두 및  $-20 \sim +20^\circ$ 의 평균값 또는 최소 탐지값을 선정하여 레이더 송수신부 SNR을 예측 및 계산하는데 이용하였다.

표 1. 목표사양 및 주요 설계요소

방식	Non-Coherent Pulse Radar
사용 주파수	35 GHz(Ka band)
RF power	평균 2.5W(침두 2.5KW)
안테나 이득	37 dBi 이상
안테나 빔폭	2° 근처
사이드 로브	-30 dB 이하
급전방식	4 beam switched (5°간격)
Scan Angle	-85° ~ +25° (Elevation) -90° ~ +90° (Azimuth)
Scan rate	120°/sec
탐지 거리	이륙/착륙 모드(2Km) 항행 모드(8Km) 기상 모드(70Km)
표적 RCS	평균 7 dBsm(전력선)
레이더 무게	45 Kg 이하

2. 하드웨어 설계

다음으로 본 논문에서 언급도니 헬기 탑재형 레이더의 시스템 전체 구성도를 그림 2에 나타내었다.

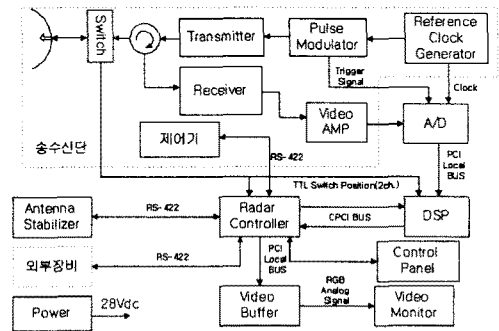


그림 2. 탑재 레이더 전체 구성도

전체 구성은 송수신부, 안테나 안정화부, 제어부 및 신호처리부 및 외부장비로 나눌 수 있으며, 이들을 서로 유기적으로 데이터 통신을 위해 serial 통신 및 CPCI 통신으로 구성되어 있다.

2.1 송수신부

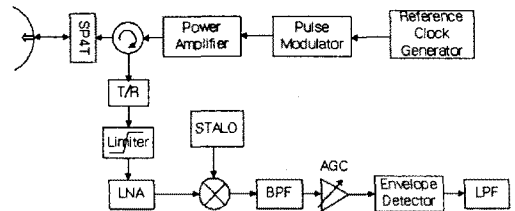


그림 3. 송수신부 구성도

그림 3에서는 레이더 주요 구성부 중에 하나인 송수신부는 저가의 시스템을 구현하고자, Non-Coherent Pulse radar의 일반적인 형태로 구현하였다. 그리고, 2.5KW의 침두 전력을 만들기 위해 마그네트론을 사용하였으며, 송수신부는 안테나 안정화 장치에 연결되어 헬기로부터의 진동 및 자체 스캔에 의한 진동으로부터 보상하고자 하였다.

2.2 안테나 안정화 장치부

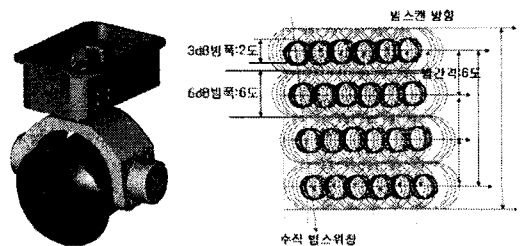


그림 4. 안정화 장치 및 레이더 스캔 개념도

그림 4에서는 안테나 안정화 장치와 송수신부의 연결도를 나타내며, 이를 이용한 레이더 스캔 개념을 나타낸다. 레이더의 스캔은 높은 RCS 및 높은 출력을 만들기 위해 좁은 빔폭을 갖는 안테나를 사용하는 단점을 보완하고자, 4개의 switched 빔을 사용하는데, 개념은 레이더의 시간에 따른 멀티 빔 혹은 stacked 빔으로써 빔 간격을 6°로 하여 한번에 Elevation 방향을 약 24°에 대한 정보를 포함하여 조종사에게 적절한 정보를 넘겨줄 수 있으리라 판단된다.

2.3 제어부 및 신호처리부

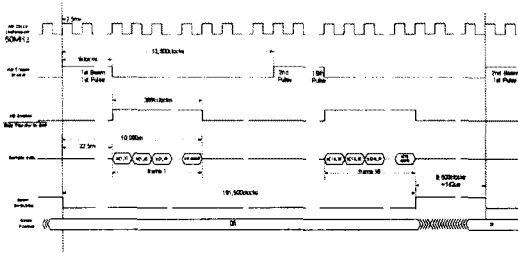


그림 5. 레이더 시스템 timing

그림 5는 레이더의 신경이라 할 수 있는 시스템 전체 timing 이다. 이를 바탕으로 제어 소프트웨어 구현 및 전체 시간 분배, 신호처리 시간 선정을 하였으며, 이를 바탕으로 레이더의 성능이 구체화 될 수 있었다.

또한, 레이더의 시스템은 real time OS를 바탕으로 구현되어졌는데, 흔히 알려진 VxWorks 기반으로 프로그램이 수행된다. 제어 프로그램은 On-board 프로그램으로서 전원 인가시 자동적으로 입력 대기 상태 및 각 주요 부분과의 통신을 통해 임무 수행 준비를 하게 된다. 이에 대응적으로 신호처리부의 주요 핵심인 DSP 역시 제어부와는 독립적으로 동작하는 Stand alone으로 프로그램이 ROM화 되어 있어 전원 인가시 프로그램의 독립적인 동작을 수행하도록 되어 있으며, 인터럽트를 이용한 전체 timing을 유지하며 수행하게 된다.

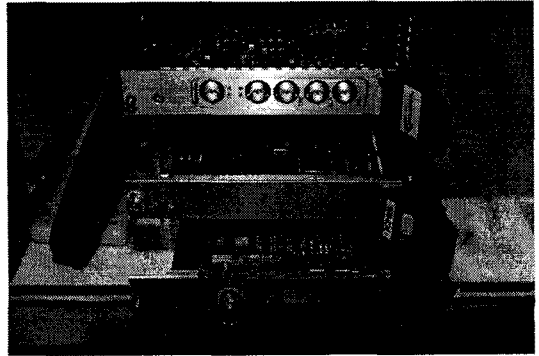


그림 6. 제어부 및 신호처리부 구성

그림 6에서 가운데 부분에 있는 것이 송수신부, 안테나 안정화 장치 및 기타 외부장치와의 시리얼 통신을 담당하며, 윗부분에 있는 것이 송수신부로부터 수신신호를 받아 신호처리를 담당하고, 맨 아래 부분이 레이더 전체 시스템의 디지털 데이터 송수신 및 각 장치로의 명령 전달을 담당하며, 사용자에게 표적에 대한 정보를 알려주는 전시를 담당하는 제어부로 구성된다.

2.4 전시화면

레이더의 전시화면은 사용자의 입장에서 보기 알기 쉽고 간단하게 위험물에 대한 표적을 나타내어야 한다. 이는 사용자의 관점이 최대한 반영되어야 하는 부분이다. 따라서 조작은 간단히, 단, 한 화면에는 많은 정보가 그리고, 그 정보는 간단명료히 전시되어야 그 전시 기능이 다하였다 할 수 있다. 이에 대한 전시화면 결과를 그림 7에 나타내었다. 표적을 색상으로 방위 및 고도 별 표시하며, 주변에 현재 레이더의 상태 및 위험물 위치 상태에 대한 종합적인 결과를 나타낼 수 있는 화면으로 구성되어 있다.

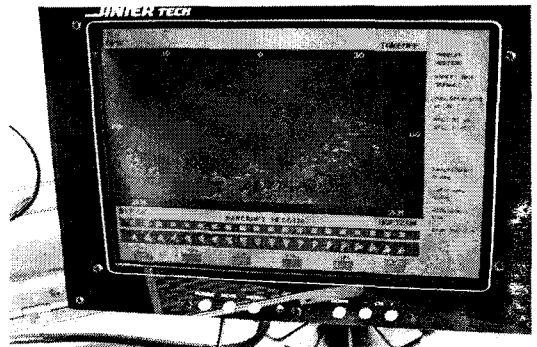


그림 7. 전시화면 구성

3. 레이더 성능시험 방안

3.1 탐지거리 및 방위각 측정

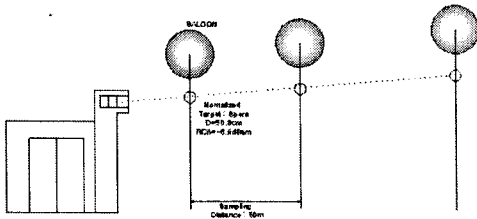


그림 8. Trapped balloon을 이용한 표적 측정

그림 8은 일반적으로 레이더 표적 측정을 위한 시험 개념도이다. 표적은 직경 50.8cm의 구면체를 이용하였으며, 거리에 따라 그 측정을 실시한다. 본 구면체는 RCS는 -6.8dBsm으로 작지만, 임의의 입사파에 대한 전방향성 방사가 이루어지기 때문에 상대적인 표적에 대한 레이더 탐지거리가 예상가능하다. 또한, 주빔 Off-set 및 전시 정확도 및 안테나 각도 정확도에 대한 측정에 이용할 수 있다. 측정결과 거리 200m에서도 탐지가 가능하였으며, 이는 전력선 RCS가 거리 200m에서 -6.8dBsm 이상이라면 충분히 탐지 가능하리라 판단된다.

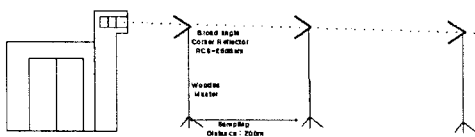


그림 9. 주변 강한 표적 측정

그림 9는 레이더의 방사시 주변 강력한 반사체의 경우를 묘사하였다. corner reflector의 경우 약 26dBsm의 강한 반사를 일으켜, 지면 및 주변의 강한 반사체에 의한 환경을 묘사하여 헬기가 접할 수 있는 상황을 만들 수 있다. 이를 사이드로브가 지향하는 곳에 위치시키고, 약

한 표적을 주빔에 의치시켰을 경우 주빔 방향으로의 근접 물체의 접근성 및 탐지 분해능 측정에 이용할 수 있다. 측정결과, 거리 3Km의 지점에서도 표적을 탐지할 수 있었으며, 이는 항공장애물이 거리 3Km 지점에서 29dBsm의 성능을 나타내면, 충분히 탐지 가능함을 확인할 수 있다. 아래표는 표적에 따른 거리별 탐지 가능성도 거리로 환산하여 나타내었다.

표 2. 구 표적일 때의 실표적 환산거리

구(-6.9dBsm) 표적 탐지거리[m]	실표적 탐지 환산 값[m]		
	항행모드		기상모드
	전력선 (5dBsm)	지면 (29.3dBsm)	강우 (73.7dBsm)
200m	396.8m	1,607m	20,702m
400m	793.5m	3,214m	41,405m
600m	1,190.3m	4,821m	62,108m
800m	1,587.0m	6,428m	82,811m
1000m	1,983.8m	8,035m	103,514m
1200m	2,380.6m	9,642m	-

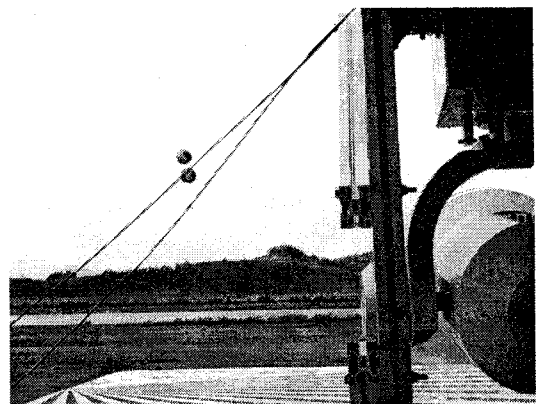


그림 10. 구 표적 측정 시험화면

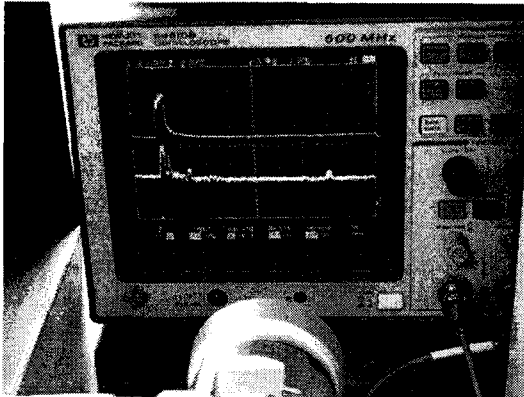


그림 11. 구 표적 측정결과



그림 12. 코너 리플렉터 표적 측정 시험화면

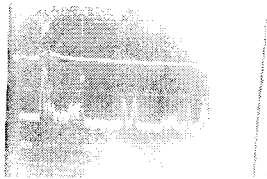


그림 13. 코너 리플렉터 표적 측정결과

표 3. 코너 리플렉터 표적일 때의 실 표적 환산 거리

코너 리플렉터 표적 탐지거리[m]	실표적 탐지 환산 값[m]		
	항행모드		기상모드
	전력선 (5dBsm)	지면 (29.3dBsm)	강우 (73.7dBsm)
500m	149.3m	605m	7,788m
1000m	298.5m	1,209m	15,577m
1500m	447.8m	1,814m	23,366m
2000m	597.1m	2,418m	31,155m
2500m	746.4m	3,023m	38,943m
3000m	895.6m	3,628m	46,732m
3500m	1,044.9m	4,232m	54,521m
4000m	1,194.2m	4,837m	62,310m
4500m	1,343.5m	5,441m	70,099m
5000m	1,492.7m	6,046m	77,887m
5500m	1,642.0m	6,651m	85,676m
6000m	1,791.3m	7,255m	93,465m
6500m	1,940.6m	7,860m	101,254m

### 3. 결 론

본 논문에서는 헬기용 35 GHz 충돌방지를 위한 항행 레이더에 대한 설계를 바탕으로 이를 검증하는 방안에 대해 논의하였다. 레이더의 성능 검증 방법으로는 먼저 주 탐지 물체로써 반사량을 정량적으로 알 수 있는 구면체 표준 RCS를 공기중에 띄워 그 탐지 거리 및 방위 정확도를 측정하는 방안에 대해 논의하였다.

그 결과, 구는 표준 RCS가 -6.8 dBsm 으로 거리 200m에서 탐지 가능하였으며, 코너 리플렉터 형태의 표적은 RCS가 26 dBsm으로 거리 3Km까지 양호한 탐지성능을 나타내었다. 이로써 표적 RCS가 실제 표적과 대등하다면, 상대적으로 실제 같은 RCS를 나타내는 표적도 탐지 가능함을 확인 하였다.

이로써 설계 제작된 레이더가 항행 안전성을 향상을 위한 항공장애물 탐지율을 높일 수 있음을 나타내어서 밀리미터 35 GHz 대역 레이더의 적용이 가능함을 확인 할 수 있었다.

### 참고문헌

[1] Kamal Sarabandi, Moonsoo Park "Millimeter-wave radar phenomenology of power lines a polarimetric detection algorithm" IEEE Transition on antennas and Propagation, Vol.47, No.12, December 1999