

# 비행체 탑재 펄스 도플러 레이더 시험모델 개발

## Airborne Pulsed Doppler Radar Development

곽영길\*, 최민수\*, 배재훈\*, 전인평\*, 양주열\*

Young-Kil Kwag\*, Min-Su Choi\*, Jae-Hoon Bae\*, In-Pyung Jeon\*, and Ju-Yoel Yang\*

### 요 약

비행체 탑재 레이더는 기상 관계없이 전천후로 비행체의 안전항행, 임무감시, 사격통제, 충돌회피, 이착륙 등 비행에 필수적인 항공장치이다. 본 논문에서는 비행체 탑재 다중 모드 펄스 도플러 레이더 시험 모델의 설계, 제작 및 비행시험 결과를 제시한다. 레이더 시스템은 안테나부, 송수신부, 신호처리부와 전시부의 4-LRU(Line Replacement Unit)로 구성되며, 개발기술은 평판 슬롯 배열 안테나, TWTA 송신기, coherent I/Q detector, 디지털 펄스 압축, 도플러 FFT 필터를 기반으로 한 DSP, 적응 CFAR, TWS 추적 처리기, 비행 정보 IMU 및 도플러 추정정보상 기법을 포함한다. 개발된 레이더 시스템의 설계 성능은 다양한 헬기탑재 비행시험을 통하여 기능 및 성능을 확인하였다.

### Abstract

An airborne radar is an essential aviation electronic system of the aircraft to perform various missions in all weather environments. This paper presents the design, development, and test results of the multi-mode pulsed Doppler radar system test model for helicopter-borne flight test. This radar system consists of 4 LRU units, which include ANTU(Antenna Unit), TRU(Tx Rx Unit), RSDU(Radar Signal & Data Processing Unit) and DISU(Display Unit). The developed technologies include the TACCAR processor, planar array antenna, TWTA transmitter, coherent I/Q detector, digital pulse compression, DSP based Doppler FFT filtering, adaptive CFAR, IMU, and tracking capability. The design performance of the developed radar system is verified through various helicopter-borne field tests including MTD (Moving Target Detector) capability for the Doppler compensation due to the moving platform motion.

Key words : Airborne Radar, Multi-mode, MTD, Doppler Compensation, Radar Flight Test

### I. 서 론

비행탑재 레이더는 비행체의 안전항행, 주변탐색 및 감시, 충돌회피, 이착륙 등 다양한 임무수행을 위해 필수적인 항공전자 장치이다. 최근 한국형 다목적 헬기 개발에 대한 관심이 높아짐에 따라, 헬기 탑재 항행 및 감시 레이더 기술개발의 필요성이 제기되어

산자부 항공우주기술개발사업의 기초연구로 헬기 탑재형 도플러 X-밴드 레이더 시험모델을 개발하게 되었다 [1],[2].

헬기의 비행 특성은 저고도, 저속 비행, 체공 등 비교적 기동이 많은 비행을 하게 되므로 산악 지대와 고층 건물 등 장애물에 대한 충돌 위험이 많아 비행 전방 장애물 탐지는 물론 목표지점 까지 기상 관계

\* 한국항공대학교 항공전자공학 레이더신호처리연구실(Radar Signal Processing Lab., Avionics Dept, Hankuk Aviation Univ.)

· 제1저자 (First Author) : 곽영길

· 접수일자 : 2006년 6월 9일

없는 전천후 항행이 요구된다. 헬기 레이더의 임무는 지상과 공중의 이동표적 및 장애물 탐지와 추적, 기상 클러터 맵핑, 비행체의 고도와 속도 측정 등을 통하여 헬기 운항 및 이착륙에 필수적인 정보를 제공하는 것이다.

비행체 탐재 레이더는 지상 레이더와 달리 비행체 플랫폼 이동에 의한 지상의 고정된 클러터의 상대 도플러가 발생하며, 클러터의 중심 주파수와 스펙트럼 폭은 비행체의 속도와 고도, 지상 관측각도 및 방위 탐색 각도 등에 따라 변하는 특성이 있다. 따라서 비행탐재 레이더의 표적탐지 성능은 도플러 중심 주파수의 변화에 민감하게 변하게 되며, 레이더의 플랫폼의 이동과 표적에 대한 스캔 빔 각도 때문에 지면 클러터의 스펙트럼의 퍼짐현상이 발생하게 된다 [3]-[5]. Low PRF의 경우 일반적인 비행탐재 레이더의 기하학적인 구조는 그림 1과 같다.

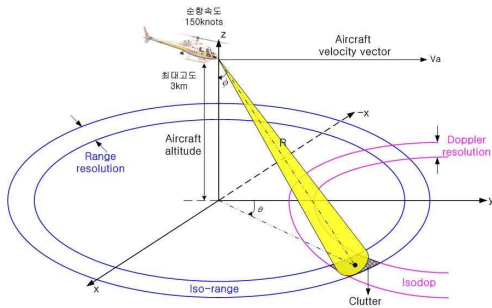


그림 1. 지면 클러터 패치의 기하학적 구조  
Fig. 1. The ground clutter geometry of airborne radar.

클러터 스펙트럼 특성은 지면 클러터 패치와 비행탐재 레이더 플랫폼 사이의 이동 플랫폼 기하구조에 의해 영향이 크다. 고각이 작을 경우, 안테나의 빔의 주엽 폭은 안테나의 방위방향의 빔 폭에 의해 결정되고, 방위방향 빔 폭은 안테나의 개구면에 반비례한다. 또한 지상 클러터 도플러 스펙트럼 확산 폭은 레이더 플랫폼 이동으로 인한 지면 클러터 패치 중심의 도플러 주파수와 방위각과 고각의 함수로 주어진다. 안테나 빔 폭 내에 존재하는 많은 클러터 성분으로 인하여 발생하는 클러터 스펙트럼 퍼짐은 방위각도에 따라 변화하며 퍼짐 현상은 플랫폼의 이동방향과 직교방향에서 최대가 된다. 클러터 스펙트럼 퍼짐의 확대는 MTI 개선지수를 제한시킬 수 있다. 최근 헬기탐재 레이더는 보다 정밀한 표적정보 획득을 위하

여 마그네트론을 사용한 년 코히어런트 방식에서 TWT(Traveling Wave Tube) 또는 반도체 송신기를 사용한 코히어런트 방식을 사용하는 추세이다.

본 논문에서는 X 밴드의 코히어런트 방식의 비행체 탐재 펄스 도플러 MTD (Moving Target Detector)의 시험모델의 설계, 제작 및 시험 결과를 제시하고 특히 다양한 지상시험과 비행 시험을 통하여 비행체 플랫폼 이동으로 인하여 발생하는 클러터 도플러를 측정하고 비교 분석하였다.

## II. 레이더 시스템 설계

비행체 탐재 레이더 시스템의 설계는 최신 헬기탐재 레이더를 벤치마킹하여 설계 파라미터를 정립하고 성능분석을 통하여 설계사양을 도출하였다. 본 레이더 시스템은 최신 코히어런트 방식의 펄스 도플러 기법을 적용하여 공중 이동표적을 탐지하고 추적하는 기능을 가지고 있으며, 탐지거리는 다중모드 방식을 사용하여 임무에 따라 PRF (Pulse Repetition Frequency)와 펄스폭을 조정하여 단거리 (7.5 Km), 중거리 (30 Km), 및 장거리 (75 Km 이상)로 설계하였다. 레이더 주파수는 국제적으로 항행용으로 할당된 X 밴드를 사용하며, 단위 펄스신호 대역폭은 10MHz 간격으로 21개의 채널을 최대 200MHz로 확장하여 전자파 재밍에 대응한 ECCM (Electronic Counter-Counter Measure)기능을 구현하였다. 안테나는 평판배열 슬롯 안테나를 적용하고 탐색범위는 방위각 방향으로 360도 또는 섹터 스캔이 가능하며, 고도 방향으로 상향 및 하향 빔 조향이 가능하도록 설계하였다. 송신기는 8 kW급 코히어런트 TWT를 사용하고 수신기는 이단 복조 수퍼 헤테로다인 방식을 사용하였다. 정밀한 위상의 연속성을 갖는 주파수를 제공하기 위한 주파수 합성기는 디지털 방식으로 신호를 발생하고 주파수 변조방식의 칩 신호를 발생시켜 디지털 펄스 압축방식을 사용하였다. 레이더 신호처리기는 최신 고성능의 DSP (Digital Signal Processor)를 적용하여 디지털 펄스 압축과 MTI 필터, MTD 도플러 필터 뱅크, CFAR (Constant False Alarm Rate) 탐지와 TWS 추적기능을 가지고 있다. 방위방향의 안테나 빔 드웰시간 동안 두개의 CPI (Coherent Processing Interval) 단위로 16개의 펄

스를 누적하여 FFT를 수행하여 표적을 탐지한다. 헬기탑재 레이더 시스템의 주요 사양은 다음 표 1과 같다.

표 1. 비행체 탑재 레이더 시스템 주요 사양

Table 1. Airborne radar system parameter.

항 목	사 양
동작 주파수	X-밴드 (9.38GHz)
탐지거리	7.5km/ 30km/ 75km (다중모드)
대상표적	지상/공중 이동표적 및 탐색
운용모드	이·착륙 / 항행 / 기상
PRF 주파수	5 kHz / 2 kHz / 1 kHz
펄스폭	0.1usec / 6.4usec / 6.4usec
펄스압축	LFM 방식:2.5 MHz(압축비 :16)
탐지확률	90% for SW1, RCS 2(m2)
거리분해능	15m(PRF 5kHz) / 60m(PRF 2kHz)
안테나 이득	32 dBi
빔 폭	3° (수평) / 7° (수직)
스캔 범위	수평:360°/120°, 고도:+20°/-80°
스캔 속도	30 rpm

비행체 탑재 레이더 시스템은 소형, 경량, 저 전력의 개념으로 설계하며, 설치와 수리가 용이하도록 4개의 LRU(Line Replacement Unit)로 구성된다. 안테나(ANTU), 송수신기(TRA), 레이더 신호 및 데이터 처리기(RSDU), 전시기(DISU)의 네 개 장치로 구성되며, 구성된 각각의 장치에는 부 체계별 조립체(Assembly)와 모듈로 구성된다. 헬기탑재 레이더 시스템의 구성도는 그림 2와 같다.

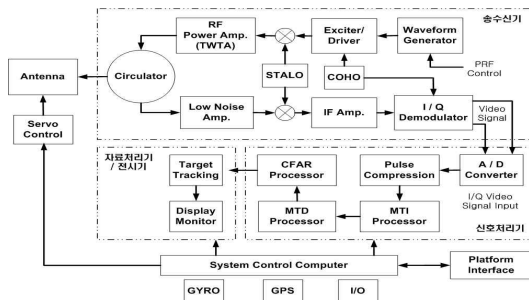


그림 2. 비행체 탑재 레이더 시스템 구성도  
Fig. 2. The system structure of airborne radar.

시스템의 전체적인 통제 제어는 중앙처리방식으로 RSDU에 있는 Pentium 4 Processor를 이용하여 SCM (System Control Module)이 관장하며, 부체계인 TRU의 제어는 TCM(Transceiver Control Module)이 SCM의 명령을 받아 송수신부의 동작 모드별로 수행하고, RSDU, DISU, ANTU의 제어는

SCM이 직접 수행하도록 설계하였다.

### III. 레이더 시스템 제작

비행체 탑재 레이더 시스템의 각 구성품별 제작을 위하여 LRU 단위로 소형, 경량의 구조설계를 바탕으로 안테나, 송수신기, 송신 출력 증폭기, 레이더 신호처리 및 전시기로 나누어 Concurrent Engineering 방식으로 수행되었다. 레이더 시스템의 구성품 별 제작형상은 다음 그림 3과 같다.

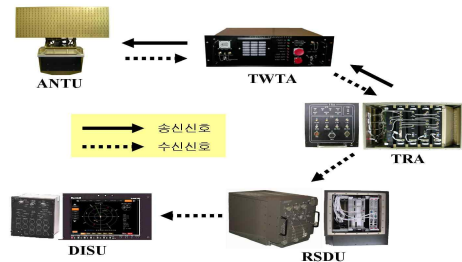


그림 3. 비행체 탑재 레이더 시스템 제작 형상  
Fig. 3. Airborne radar system configuration.

#### 3-1 안테나 설계 제작

안테나부는 레이더에서 공간상의 표적을 탐지하기 위한 전파 빔의 방사와 표적 반사 신호를 수신하는 역할을 담당하며, 송신신호를 공간상으로 방사하는 안테나 조립체(ANTA)와 안테나의 위치와 자세를 제어하는 모터 구동부(PDSA)로 구성되어 있다. 레이더 안테나는 평판 슬롯 배열 안테나를 사용하였고, 제작사양과 시험결과는 표 2와 같다.

표 2. 안테나 설계 제작 사양  
Table 2. Antenna parameter and test result.

항 목	설 계 사 양	제 작 시 험 결 과
정재파비	1.5 : 1 이하	1.5 : 1
빔 폭	수 평	3° ± 0.1°
	수 직	7° ± 0.5°
이 득	32 ± 0.5 dBi	32.2 dBi
편 과	Horizontal	Horizontal
부엽 레벨	수 평	- 30 dBc 이하
	수 직	- 25 dBc 이하
전 력	Peak 10 KW 이상	Peak 10 KW 이상
급전방식	Waveguide (WR-90)	Waveguide (WR-90)
크 기	79cm x 35cm	78.4cm x 32.4cm

안테나 제작 패턴 측정 결과는 그림 4와 같다. 수직 7도, 수평 3도의 빔 폭을 확인할 수 있으며, 부엽 레벨은 수평 30.5dBc, 수직 27.1dBc로 설계 사양을 만족하였고 환경조건에서는 레이돔 적용시 습도나 풍속의 조건도 만족시킴을 확인하였다. PDSA는 안테나의 Pitch 및 Yaw 방향으로 원활한 제어 및 전파를 송수신기에 신호 감쇄없이 전달하기 위한 장치로 모터의 회전 각속도는 신호처리부와 직결되어서 신호처리부 설계사양을 모터 제어부 설계사양에 고려하였다. 안정화된 안테나의 각속도는 Dwell Time 동안 수신된 펄스 개수와 안테나의 빔폭과 관련되어 있으며 안정화된 안테나 방위각속도를 유지하기 위해서 제어기는 위상 보상기 및 PID Controller로 구성하였다.

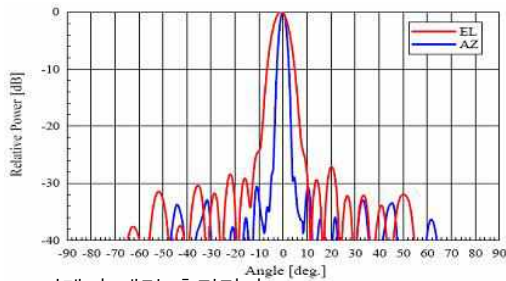


그림 4. 안테나 패턴 측정결과  
Fig. 4. Antenna pattern measurement result.

3-2 송수신기 설계 제작

TRU는 송수신기 조립체(TRA)와 진행파관 조립체(TWTA) 등의 세부 모듈별로 구성된다. TRA는 레이더 송신신호를 생성시켜서 X-Band 대역으로 상향 변환하여 TWTA로 입력신호를 공급하고 수신기는 이단 복조 Super Heterodyne 방식을 적용하였다. LNA에서 저잡음 증폭된 수신신호를 입력으로 IF신호로 하향 변환하여 I/Q신호로 복조한다. TRA 기구장치는 ATR(Airborne Transport Rack) 장치로서 Airborne환경을 고려하여 소형·경량으로 설계 제작되었다. TWTA는 TRA에서 전송된 X-Band의 송신신호를 높은 이득과 출력으로 증폭하여 안테나로 전송한다. 수신된 신호는 서큘레이터의 수신 경로를 통하여 리미터를 통과 후 저 잡음 증폭기를 통해 증폭되어 TRA의 수신부에 전송된다. 표 3은 송수신기 조립체의 설계 제작 사양이다. 운용 모드에 따라 단거리 모드에서는 펄스폭을 0.1 us에서 거리해상도

15m, 중거리 모드에서는 압축펄스 폭을 0.4 us에서 확장 펄스 폭 6.4 us의 선형 FM Chirp 변조 방식으로 16:1 펄스 압축을 구현하였다. PRF도 드웰 시간의 펄스 수에 따라 가변되도록 하였다.

표 3. TRA 설계사양  
Table 3. TRA design parameter.

구분	모드별 사양			Unit
	Short	Medium	Weather	
Transmitter Type	Double Conversion Super Heterodyne			
Output Power	10 ± 0.5			[dBm]
Frequency band	9.380 ± 0.1			[GHz]
Pulse Width	0.1	6.4(LFM)	6.4(LFM)	[us]
PRF	5,000	2,000	1,000	[Hz]
No of Channel	21 [EA], Step : 10 [MHz]			[EA]
Receiver Type	Double Conversion Super Heterodyne			
Noise Figure	3.2			[dB]
Bandwidth	12	2.5	1.5	[MHz]
Receiver Gain	75	81	84	[dB]
STC range	100 [dB], 100 [us]			
Power Supply	DC 28[V], 135[W]			

3-3 레이더 신호처리기 설계 제작

레이더 신호처리기는 수신기에서 I/Q 복조된 아날로그 신호를 10MHz의 샘플링 속도로 디지털 신호로 변환하여 각종 레이더 신호처리 알고리즘을 통해 표적을 탐지하고 추적하며 시스템 전체를 통제하는 기능을 수행한다. 레이더 신호처리기 구성도는 그림 5와 같다. 신호처리기(RSPA)에서는 디지털 데이터로 샘플링하여 펄스압축, MTI, DFB, CFAR 알고리즘을 수행하고 탐지된 표적 정보를 자료처리기(RDPA)에 보낸다. 자료처리기는 인터페이스를 통해서 외부 디바이스를 통제하고 표적 추적 및 운용자에게 필요한 정보를 전시기에 보내준다.

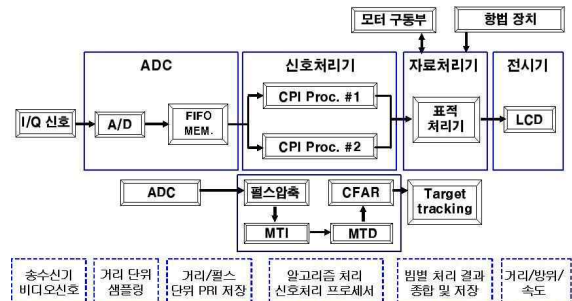


그림 5. 레이더 신호 및 자료처리기 구성  
Fig. 5. RSDU block diagram.

RSPA 구성은 DSPM(Digital Signal Processing Module), ADCM(Analog-to-Digital Converter Module), 그리고 TSGM(Timing Signal Generation Module)으로 구성되어 있으며 그 형상은 그림 6과 같다.



그림 6. RSPA 구성 Module  
Fig. 6. RSPA module.

ADCM은 ADC단은 아날로그-디지털 신호변환기로 신호를 샘플링하여 연장 커넥터의 I/O 버스를 통해 DSP 보드로 데이터 전송한다. H/W적으로 입력시저 왜곡 필터와 증폭기를 거쳐서 신호 크기와 오프셋 조정 할 수 있다. 샘플링 한 데이터 전송시에는 8K 데이터(16Bit) 크기의 FIFO 메모리를 버퍼로 사용하며 DSP 내부 메모리로 DMA(Direct Memory Access) 방식이 가능하다.

DSPM은 신호처리의 펄스 압축 및 DFB와 CFAR 알고리즘을 처리하는 핵심모듈이며 TMS320C6701을 탑재한 C-PCI 버스의 DSP 보드를 선정하여 알고리즘 처리를 담당하게 하였다. DSP 신호처리보드는 한 CPI 동안 펄스를 받아서 모든 거리 셀 별로 연산을 수행하도록 1G FLOP DSP 2개를 병렬로 사용하였다. 각각의 모듈은 디지털 모듈러 개념을 도입하여 시스템의 확장, 알고리즘의 추가 및 계산속도의 향상을 위해 다수의 DSP를 확장하도록 유연성있게 제작하였다. 표 4는 DSPM 제작사양이다.

표 4. DSPM 제작사양

Table 4. DSPM system parameter.

구분	내용
CPU	TMS320C6701(32Bit), 167MHz Clock
성능	1G FLOPS
버스	C-PCI 버스
데이터전송속도	132M/sec
디지털 I/O	32Bit 디지털 I/O 포트,80M/sec 512x16 FIFO 포트
타이머/카운터	내부 32Bit 타이머, 16Bit 카운터/타이머
ADC 샘플링 rate	10MHz 12bits
ADC 메모리용량	8k byte x 4

샘플링 한 데이터 전송시에는 8 Kbyte 데이터 크기의 FIFO 메모리를 버퍼로 사용하며 DMA 방식으로 DSP 내부 메모리에 데이터를 전달한다. I/Q 비디오 신호의 신호처리는 두 개의 CPI (Coherent Processing Interval)로 분류되어 각 CPI당 한 쌍의 ADCM과 DSPM 모듈이 처리하고 있다. TSGM은 송수신에서 전달된 I/Q 비디오 신호를 두 개의 DSPM에 스위칭하여 전달하는 역할을 담당하고 있다.

RDPA는 SCM(System Control Module)과 IOM(Input Output Module), 그리고 PIM(Platform Interface Module)으로 구성되어 있다. RDPA의 SCM은 시스템 전체를 통제 하는 역할을 한다. 1.7GHz의 Pentium4 프로세서를 탑재한 시스템 보드를 SCM으로 사용하였다. IOM은 PDSA의 엔코더 값을 실시간으로 SCM 내부로 가져오기 위해 사용한다. 엔코더 값은 표적 각도 정보의 정확도에 직결되므로 직렬 버스를 사용하는 다른 구성품과 달리 시스템 버스를 사용하여 데이터를 전송하여 각도 오차 범위를 최소화한다. PIM은 SCM에서 레이더를 탑재한 비행체의 위치, 속도 및 자세 정보를 획득하기 위해 사용한다. 데이터의 정확도와 신뢰도 측면에서 BEI사의 C-MIGITS를 RDPA의 PIM으로써 사용하였다. C-MIGITS는 GPS와 IMU(Inertial Measurement Unit)가 함께 내장되어 있으며 IMU에서 생기는 Drift를 시간당 5도 이하로 유지할 수 있다. 레이더 전시기는 DISA(Display Assembly)와 CPA(Control Panel Assembly)로 구성이 되며 각종 알고리즘 처리의 결과를 전시하는 기능과 운용자의 선택 사항을 받아들이고 출력하는 입출력창의 역할을 한다.

### 3-4 레이더 이동 클러터 추정 보상

비행탑재 레이더에서 필수적인 비행체 이동 도플러 추정 보상을 위해 TACCAR 기능을 향상시킨 AMDOC (Adaptive Moving Clutter Doppler Compensation) 기술을 구현하였다[6]. 비행체 이동에 의한 도플러 변이 현상으로 지면 클러터 스펙트럼의 중심 주파수가 이동되어 MTI 표적탐지를 어렵게 하므로, 비행체 속도에 의해 발생된 도플러 주파수만큼 보상해주어야 한다. 레이더의 이동으로 인해 지면



클러터는 레이더 이동 속도에 해당하는 도플러 주파수를 갖게 되고, Azimuth각 및 Depression각의 변화에 따라 스펙트럼 폭의 퍼짐현상이 생기게 된다. 레이더 이동으로 인한 지면 클러터 패치 중심의 도플러 주파수는 식 (1)과 같이 주어진다.

$$f_c = f_{ac} \cos \phi \cos \theta = \frac{2v_{ac}}{\lambda} \cos \phi \cos \theta \quad (1)$$

식 (1)에서  $f_{ac}$  는 레이더 탑재체인 비행체 속도에 의한 도플러 주파수,  $v_{ac}$  는 비행체의 속도,  $\phi$  는 안테나 빔의 Depression 각,  $\theta$  는 안테나 빔의 Azimuth각이다.

TACCAR (Time Average Clutter Coherent Airborne Radar)는 비행체의 속도에 의한 지면 클러터 스펙트럼의 중심 주파수 변화를 평균적으로 추정하여, 송수신기에서 보상해주는 방법이지만 AMDOC 기술은 DSP를 이용하여 신호처리기에서 CPI 시간동안 도플러를 추정하고 실시간으로 도플러를 보상하는 기법이다.

#### IV. 비행 시험 성능 분석

비행체 탑재 레이더 제작 및 통합시험을 거친 후 최종 성능 시험은 1단계 지상 고정 시험, 2단계 Look Down 시험, 3단계 지상 이동 시험, 4단계로 헬기탑재 비행시험 등 총 4단계로 이루어졌다. 지상 고정시험을 통하여 레이더의 모드별 탐지거리, 거리 및 방위 해상도, 고정표적 탐지성능, 이동표적 탐지성능, 클러터 맵 전시 성능, 표적추적 기능 등을 시험하였다. 레이더 고정 시험 위치는 레이더 무선 실험국으로 허가된 한국항공대학교를 중심으로 기준 표적 방향은 남서방향에 전방으로 약 120도로 개활지가 있으며 4km 부근에 RCS가 고정 금속 반사체인 철재로 된 방화대교가 위치해 있어 거리 및 해상도 시험을 위한 지상 고정 표적으로 적합하였다. 또한 이동 표적 탐지 시험을 위해 시험위치에는 남서 방향으로 약 15km 근방에 김포공항과 40km 근방에는 인천국제공항이 위치하고 있어, RCS가 큰 비행체 표적 신호 획득에 용이하였다. 지상시험과 차량 이동시험을 통하여 레이더의 기본 성능을 확인하고 헬기탑재 비행

시험을 통하여 이동 비행체에 의한 클러터 스펙트럼을 분석하여 최종 성능을 확인하였다. 비행시험 경로는 대전에서 논산을 거쳐 서천까지 대략 2시간 왕복 구간에서 4차례 실시되었다. 평야지역에서 지면 클러터를 수집하였으며, 서천 해안선 경로에서는 해면 클러터를 측정하였다. 시험에 사용된 헬기는 W-3A Sokol 헬기로써, 레이더 탑재 형상은 그림 7과 같다.



그림 7. 헬기탑재 MTD 레이더 비행시험  
Fig. 7. MTD radar flight test.

레이더 이동 플랫폼에 따른 클러터 도플러 신호를 실시간 레이더 신호수집 장치를 이용하여 저장하여 비행속도와 고도, 방위 및 고각에 따른 시험 변수를 조정하여 클러터 도플러 스펙트럼 보상관계 분석을 수행하였다. 첫 번째로 운항 고도, 속도, EL 각은 고정하고 AZ각 변화에 따른 스펙트럼 변화를 분석하였다. 그림 8은 고도 3200ft, 속도 80knots, EL각 -5도일 경우 AZ 각 변화에 따른 클러터 도플러 스펙트럼 변화이다.

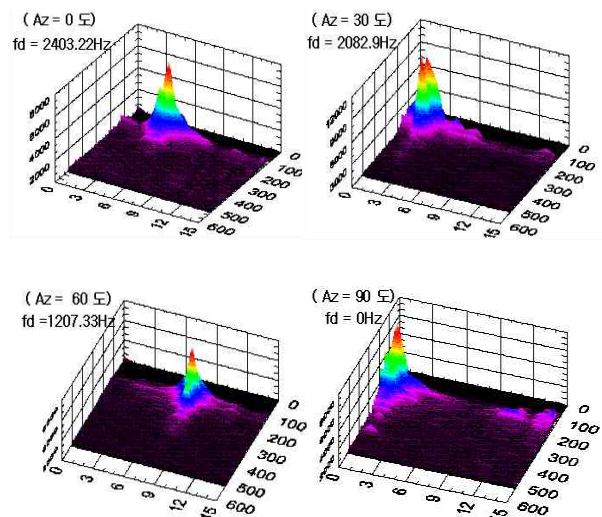


그림 8. Az 각변화에 따른 스펙트럼 변화  
Fig. 8. Doppler spectral variation with azimuth scan.

두 번째로 운항 고도, 속도, 및 AZ 각은 고정하고 EL각 변화에 따른 스펙트럼 변화를 분석하였다. 그림 9는 고도 2500ft, 속도 60knots, AZ각 30도일 경우 EL 각 변화에 따른 클러터 도플러 스펙트럼 변화를 보여준다.

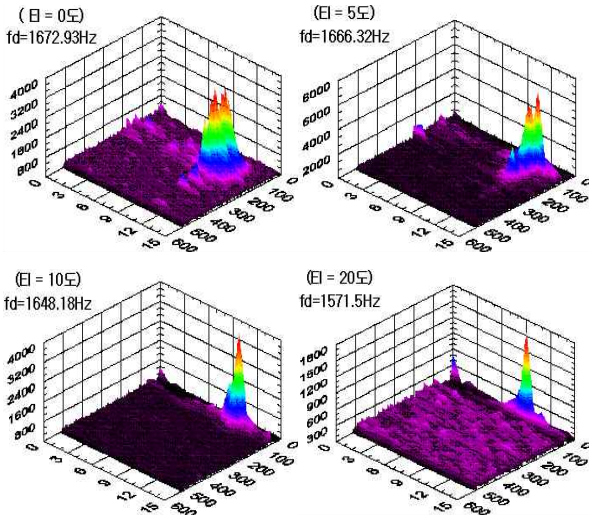


그림 9. E 각변화에 따른 스펙트럼 변화  
Fig. 9. Doppler spectral variation with elevation scan.

세 번째로 고도, EL각, AZ각은 고정하고 운항 속도 변화에 따른 스펙트럼 변화를 분석하였다. 그림 10은 고도 2000ft, AZ각 0도, EL각 -15도 일 경우 운항 속도 변화에 따른 클러터 도플러 스펙트럼 변화이다.

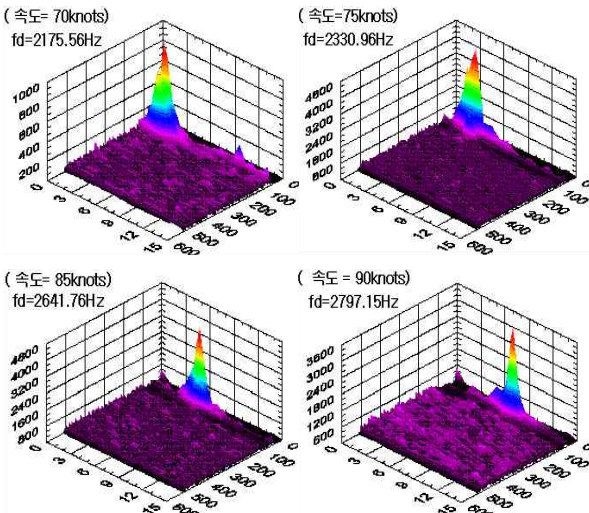


그림 10. 운항 속도 변화에 따른 스펙트럼 변화  
Fig. 10. Doppler spectral variation with velocity.

그림 11은 헬기 탑재 비행 시험분석을 종합하기 위하여 고도 2500ft에서 탑재 비행체 속도 80knots 일 경우 depression 각도 5도에서 AZ 변화에 따른 이동 클러터 주파수를 시뮬레이션결과와 실제 비행 탑재 시험을 통하여 수집된 신호와의 결과를 비교한 그림이다. 제시된 이동클러터 주파수 이동 모델과 거의 일치하게 도플러 주파수가 변화함을 확인 할 수 있다. 단 도플러 필터 resolution 만큼의 오차가 존재한다.

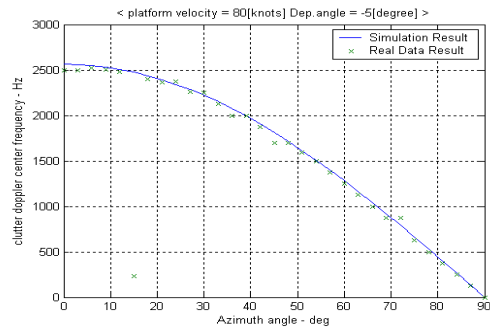


그림 11. 클러터 도플러 스펙트럼 비교  
Fig 11. Performance comparison for clutter doppler spectrum measurement.

헬기탑재 비행 시험을 통하여 다양한 플랫폼 속도와 안테나 빔 스캔 속도, 방위 및 양각에 따른 레이더 신호를 실시간으로 수집하고 분석하여, 레이더 플랫폼의 이동에 따른 클러터 주파수 분포 특성을 지면 클러터 패치의 기하학적 구조에 따라 모델된 이론식과 일치하여 변화하는 것을 확인 하였다. 이러한 도플러 주파수 이동 효과를 추정하여 플랫폼 이동에 따른 지상 클러터를 제거하여 효과적인 표적 탐지가 가능함을 확인하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 비행체 탑재 펄스 도플러 레이더 시험 모델 시스템을 설계, 제작, 시험을 통하여 레이더 탐지성능을 확인하였다. 다양한 비행임무에 적합하다중 모드 레이더 시스템 체계 설계 및 통합 시험 기법을 제시하고, 주요 구성품으로서 안테나, 송수신기, 신호처리 및 자료처리 등을 설계, 제작, 하여 시험하였다. 특히 헬기 탑재 비행시험을 통하여 다양한 플랫폼 속도와 안테나 빔 스캔 속도, 방위 및 양각

에 따른 이동 클러터 도플러를 실시간으로 측정 분석하여 비행 탑재 레이다의 설계 성능을 확인하였다. 본 연구결과는 향후 성능향상을 위한 테스트베드로 활용될 것이며, 다양한 헬기, 항공기, 및 무인기 등에 탑재하여 항행, 감시, 충돌방지 등의 기술기반에 활용될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2002.12부터 2005.12까지 산자부 항공우주기술개발사업의 지원으로 수행되었다. 본 연구에 참여한 stx엔진, 한림 ST, 한국항공대학교 부설 항공전자연구소 연구원 여러분에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 광영길, 배재훈, "헬기탑재 다중모드 레이다 시스템 모델 설계," *Proceeding of KEES Conference*, pp. 208, Oct. 2003.
- [2] 광영길 외, "MTD성능의 비행체 탑재용 레이다 시스템 핵심 기술 연구 최종보고서," *한국항공대학교 부설 항공전자연구소*, 2005. 11.
- [3] Guy Morris and Linda Harkness, *Airborne pulsed doppler radar*, Artech House, 1996.
- [4] D. Curtis Schleher, *MTI and pulsed doppler radar*, Artech House, 1991.
- [5] Galati, *Advanced radar techniques and systems*, IEEE Press, London, UK, 1993.
- [6] Young K Kwag, "Adaptive compensation for moving clutter doppler for helicopter-borne MTD radar" *IEEE CIE Radar conference*, Oct. 16-18, 2006.

광 영 길 (郭滌吉)

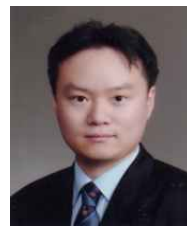


1981년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과(공학석사)  
 1987년 6월 : 미국오하이오대학교 전기전자공학과(공학박사)  
 2001년 3월~현재 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수  
 1976년 3월~2001년 3월 : 국방과학연구소 책임연구원

및 레이다 신호처리 연구실장

2001년 7월~현재 : 한국항공대학교 부설 항공전자연구소 소장, 한국전자과학회 레이다연구회 위원장  
 관심분야 : Radar System and Signal Processing, Synthetic Aperture Radar (SAR), Collision Avoidance Radar, DSP Application to Radar, Adaptive Array Processing, Aeronautical Telecommunication & Surveillance.

최 민 수 (崔珉洙)



2005년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)  
 2005년 3월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과(석사과정)  
 관심분야 : SAR Algorithm, Radar Signal Processing

배 재 훈 (裴在勳)



2003년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)  
 2005년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학석사)  
 2005년 2월~현재 : 한국항공대학교 항공전자연구소 연구원

관심분야 : CFAR Algorithm, Radar System Integration

전 인 평 (全仁平)



2004년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)  
 2006년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학석사)  
 관심분야 : CFAR Algorithm, Radar System Integration

양 주 열 (楊柱烈)



2006년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)  
 2006년 2월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과(석사과정)  
 관심분야 : Radar Signal Processing, Adaptive Filter