

## M&S 기법을 통한 피아식별 레이더 성능예측 및 분석

김현승<sup>\*.1)</sup> · 박명훈<sup>1)</sup> · 전우중<sup>1)</sup> · 홍성민<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> LIG넥스원(주) M&S연구팀

<sup>2)</sup> LIG넥스원(주) 레이더연구소

### Performance Prediction and Analysis of Identification Friend or Foe(IFF) Radar by using Modeling & Simulation Methodology

Hyunseung Kim<sup>\*.1)</sup> · Myunghoon Park<sup>1)</sup> · Woojoong Jeon<sup>1)</sup> · Sungmin Hong<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> M&S R&D Team, LIG Nex1 Co., Ltd., Korea

<sup>2)</sup> Radar R&D Team, LIG Nex1 Co., Ltd., Korea

(Received 2 January 2020 / Revised 20 March 2020 / Accepted 30 March 2020)

#### Abstract

In actual battlefield environment, IFF radar plays an important role in distinguishing friend or foe targets and assigning unique identification code to management. Performance of IFF radar is greatly affected by radio environment including atmosphere and terrain, target maneuvering and operation mode.

In this paper, M&S tool is consisted of interrogator(IFF radar) and answering machine(target) for radar performance analysis. The wave propagation model using APM(Advanced Propagation Model) and radar actuator system were modeled by considering beam waveform of individual operation beam mode. Using this tool, IFF radar performance was analyzed through two experimental results. As a result, it is expected that performance of IFF radar can be predicted in the operational environment by considering target maneuvering and operation beam mode.

Key Words : Modeling and Simulation(모델링/시뮬레이션), IFF Radar(피아식별 레이더), Operation Mode(운용 모드), Prediction of Radar Performance(레이더 성능 분석)

#### 1. 서론

IFF(Identification Friend or Foe)라고 불리는 피아식

별은 지상, 해상, 공중전에서 탐색 레이더의 탐지판단을 도와 적군인지 아군인지를 자동으로 식별하는 중요한 기능이다. 이렇게 피아를 식별하기 위해 피아식별 레이더는 질문 신호를 표적기에 송신하고, 표적기로부터 수신한 응답 신호를 처리하는 통신 시스템으로 구성된다. 실제 항공기의 경우 각 기종 별로 고유

\* Corresponding author, E-mail: kim.hyunseung@lignex1.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

식별 코드가 부여되어 있어 레이다가 실시간으로 송수신하여 관리할 수 있다.

현대전에서는 전장 환경의 범위가 넓어지고 표적기가 소형화 및 고속화 되는 추세이기 때문에 지상에서 아군 및 민간 항공기를 보호하고 관리하는 피아식별 레이더 또한 발전하는 추세이다. 특히 우리나라에서는 과거의 피아식별 모드 운용 체제에서 발전해 더욱 빠른 응답성을 위한 재정립이 필요한 상황에서 새로운 모드 도입에 따른 피아식별 레이더의 성능 분석이 필요한 실정이다. 하지만 피아식별 모드에 대해 실제 비행시험을 통한 성능 분석은 시간과 비용이 많이 들기 때문에 안테나 빔 패턴, 운용 등에 대한 개발 단계에서의 사전 분석이 필요하다. 이러한 사전 분석은 피아식별 레이더의 성능 예측 및 모드 운용에 따른 전투 체계에서의 적합성 판단을 위해 M&S를 통해 수행할 수 있다. 피아 식별의 질문과 응답 신호는 전파를 통해 전달되기 때문에 피아식별을 전파 관점에서 분석할 필요가 있다.

본 논문에서는 레이더 기준 진입/퇴각 방향으로 실제 표적기의 기동 시나리오를 바탕으로 체계 성능을 예측하고 분석하기 위해 M&S도구를 개발하였다. 피아식별 레이더의 탐지 성공은 모드 운용, 구동 등의 기술적 요소와 레이더 위치, 대기상태, 표적 기동 등의 운용 환경에 따라 변화하는 응답신호 세기를 계산하고 이를 질문기 입장에서 임계치를 넘는 경우로 정의하였다. 이 때 대기상태 및 지형은 피아식별 레이더의 성능에 있어 큰 손실을 유발한다. 특히 지상에 고정된 레이더의 경우 대기에 따른 굴절률뿐만 아니라 지형에 따른 다중경로 손실이 발생하면 지형에 의한 차폐구역이 형성되어 질문기 신호가 표적기에 도달하지 못하는 경우가 발생하기 때문에 전파신호 약세로 응답기가 질문 신호를 받지 못하거나 잘못된 정보가 도달할 수 있다. 따라서 피아식별 레이더의 성능 예측 및 분석에 있어 운용환경을 반영한 전파 분석이 중요하다.

따라서 본 논문에서는 모드 운용에 따라 시간자원을 반영한 레이더 모델과 표적기의 기동모델을 구성하고, 대기환경 및 지형정보를 반영한 운용환경 모델과 통합하여 M&S도구를 개발하였다. 이를 통해 지상에 고정된 피아식별 레이더의 동적인 운용성능을 예측하고 실제 레이더 측정 데이터와 비교분석을 통하여 M&S도구의 검증을 수행하였다.

## 2. 모델 구성

피아식별 레이더는 전파 또는 음파로 질문신호를 송신하고 그 신호를 감지한 아군 표적기에서 자동으로 응답신호를 보냄으로써 재수신하여 아군을 식별하는 기능을 수행한다. 실제 민/군용기에는 각각의 고유 식별코드가 부여되어 있어, 피아식별 레이더가 포착한 데이터는 MCRC(Master Control and Reporting Center, 중앙방공통제소)로 송부된다. MCRC에서는 피아식별 레이더로부터 수신한 다수의 데이터를 융합하여 표적을 판단 및 관리하게 된다. 이 때 주파수, 운용모드, 암호화된 코드로부터 보유 리스트와 일치하는 경우 아군기라고 판단하고, 나머지 데이터는 항적 또는 기동을 분석하여 비행 계획서와 비교하여 없을 시 적군기로 판단하게 된다.

실제 운용특성을 고려하여 M&S 모델은 Fig. 1과 같이 크게 피아식별 레이더 질문기와 표적기의 응답기, 시나리오에 따른 표적기 운동 모델과 운용환경 모델로 구성하였다. 피아식별 레이더 질문기 모델의 경우 빔 패턴, 운용 모드, 구동으로 구성되어 모드 운용에 따른 탐지성능 변화를 반영할 수 있도록 하였다. 표적기 운동 모델은 외란 없이 직진 기동을 하도록 구성하였다. 표적기 응답기의 경우 무지향성 빔 패턴으로 가정하여 반영하였으며, 운용환경에 따른 대기 손실은 APM(Advanced Propagation Model) 모델을 사용하였다. 각 모델별 상세 설명은 아래와 같다.

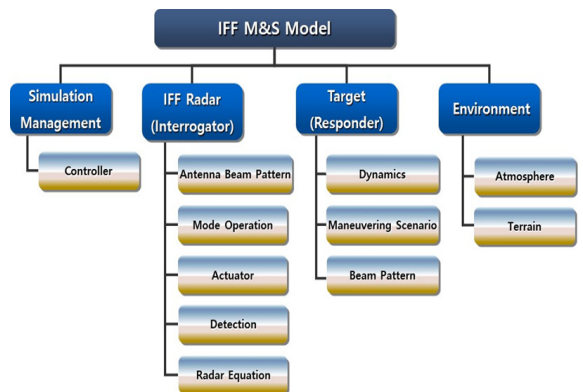


Fig. 1. The structure of IFF radar M&S model

### 2.1 질문기 모델

본 논문에서 모의하는 질문기 모델은 피아식별 레이더 모델로 송/수신 주파수와 안테나 빔 패턴으로 이

루어져 있으며, Fig. 2와 같이 질문기에서 송신된 신호는 전파 환경에 따라 수신신호가 감쇄되어 표적기에 수신된다. 이때 질문기의 모드는 1, 2, 3/A, C와 S 모드를 사용하며 모드에 따른 응답기의 응답여부가 결정되고 이는 피아식별장치의 탐지성능에 반영된다. 각 모드별 제공 정보는 아래 Table 1과 같다<sup>[12]</sup>. 모드 1, 2, 4는 군용기 전용 피아식별 모드로 모드 1은 부대 식별번호나 임무번호가 부여된다. 모드 2는 주로 군용기의 기종 번호를 나타내고, 모드 4는 피아식별을 위한 정보로 암호화된 코드이다. 모드 3/A는 관제사가 부여하는 군용기나 민항기의 비행에 필요한 고유번호이고, 모드 C는 항공기 고도, 모드 S는 데이터 링크를 위한 GPS 위치나 선택적 문의에 응답하기 위한 암호 코드를 포함한다.

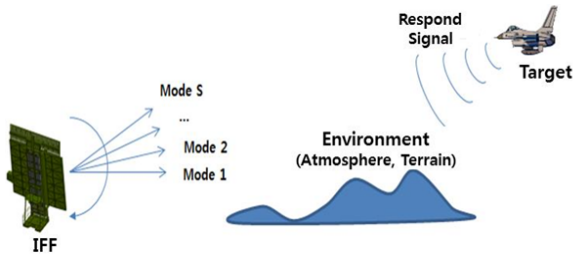


Fig. 2. The concept of IFF

Table 1. Type of IFF mode

Mode	Information	Mode	Information
1	Military identification code(Mission Number)	4	IFF password
2	Military identification code(Model ID)	C	Altitude
3/A	Military/civilian identification code	S	Aircraft address (Data Link)

2.1.1 빔 운용모델

본 논문에서 피아식별 레이더 송/수신 주파수의 경우 NATO(North Atlantic Treaty Organization) 표준 STANAG(Standardization Agreement) 4193에 따른 값을 사용하며, Fig. 3과 같이 각각의 빔 패턴을 가지고 방사한다<sup>[13]</sup>. 빔 패턴은 APM 모델에 반영되어 전파 손실 값을 계산하게 된다.

2.1.2 안테나 구동모델

피아식별 레이더 구동모델의 경우 모드 단위로 구성되며, 기본적으로 SIF 모드(1, 2, 3/A, C)로 구성되고 추가적으로 S 모드를 선택하여 방사할 수 있다. 각각의 모드는 아래 Table 2와 같이 서로 다른 파형에 따른 방사 시간을 가지며 방사된다<sup>[12]</sup>. 안테나 구동모델은 각 파형의 시간 정보를 이용하여 수식 (1), (2)와 같이 각도로 환산하여 구동한다. 또한 각 모드마다 피아식별 레이더의 송/수신 통신 지연시간( $time_{delay}$ )을 반영하였다.

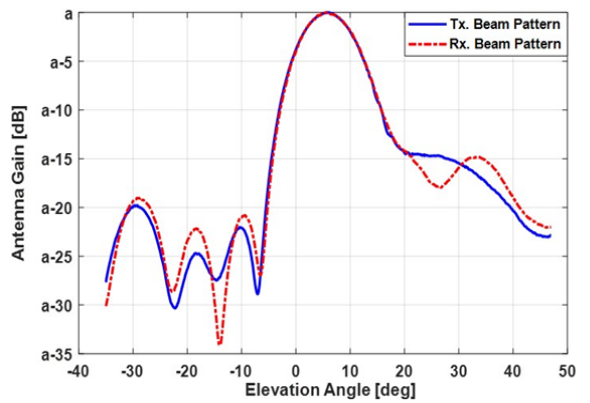


Fig. 3. Beam pattern of IFF

Table 2. Radiative time of IFF mode

Mode	Radiative time [μs]
1	2.9 ~ 3.1
2	4.8 ~ 5.2
3/A	7.8 ~ 8.2
C	20.8 ~ 21.2
S	4.0

$$\Delta time = time_{mode} + time_{delay} \tag{1}$$

$$\Delta deg = 360^\circ \times \Delta time \times \frac{RPM}{60} \tag{2}$$

S 모드의 경우 ALL CALL 및 ROLL CALL로 구성되어 있고 타 모드 사이에 교대로 질문하게 된다. ALL CALL은 지상국에서 모든 표적기에 일괄 질문 하

는 것이고, ROLL CALL은 ALL CALL로부터 데이터 링크를 원하는 표적기를 포착하여 개별로 질문하는 것이다. 현재 국내 항공기 응답기는 S 모드에 대한 응답 설정이 구성되어 있지 않은 현황이다.

2.1.3 응답판단 모델

레이다 성능을 나타내는 지표는 일반적으로 수식 (3)과 같이 레이다 방정식을 통해 산출한다. 질문기의 응답판단 모델의 경우 응답기로부터 수신한 신호를 수식 (3)을 통해 수신 신호 세기( $P_R$ )로 계산한다<sup>4)</sup>. 레이다 설계 변수는 운용 값을 반영하였고, 수신 이득은 표적기의 위치에 따른 손실을 고려하여 반영하였다. 또한, 손실잡음은 시스템 열잡음에 의한 크기만 고려하여 고정 값으로 적용하였다. 대기 손실의 경우 APM 모델을 통해 지형 및 대기를 반영하여 거리별로 산출하였다. 계산한 표적의 수신 신호 세기와 수식 (4)에서 계산한 거리별 임계값 GTC(Gain Time Control)와 MTL (Minimum Trigger Level)을 비교하여 응답 성공 여부를 판단한다.

$$P_R = \left( \frac{P_t G_t G_r}{L_M L_{pat} L_p L_{sys} L_{Tc} L_{Rc}} \right) \times \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} \quad (3)$$

- $P_t$  : 송신전력 (kW)       $L_{pat}$  : 패턴 손실 (W/W)
- $G_t$  : 송신이득 (W/W)       $L_{Tc}$  : 케이블 손실 (W/W)
- $G_r$  : 수신이득 (W/W)       $L_M$  : M factor (W/W)
- $\lambda$  : 파장 (m)       $L_{Rc}$  : 케이블 손실 (W/W)
- $L_{sys}$  : 시스템손실 (W/W)
- $L_p$  : 대기 손실 (W/W)
- $R$  : 피아식별 레이다와 표적 간 거리 (m)

$$MTL = Const \quad (4)$$

$$GTC = -36.56 - 20 \log_{10} R$$

$$Threshold = \max(MTL, GTC) \quad (5)$$

여기에서 MTL은 상수이며, GTC의 경우 거리에 따라 감소하는 형태이다. 피아식별 레이다가 운용되는 환경에서의 펄스 코딩, 표적기 수신 판단 로직에서의 이득 처리를 기 반영하여 고정 MTL 값을 결정하였다. GTC는 기본적으로 거리에 반비례하여 산출되는 값이

고, 최종적으로 임계치는 수식 (5)와 같이 거리에 따라 MTL, GTC 중 큰 값으로 결정된다.

수식 (3)에서 산출한 수신 신호 세기가 임계치보다 큰 경우 응답 성공으로 판단하였다. 레이다 1회전 시 표적의 응답은 약 20회 이상이 수신되고, 응답 메모리가 탐지판단 모델에 전달되어 표적의 최종 탐지판단 여부를 결정한다.

2.1.4 탐지판단 모델

피아식별 레이다의 탐지판단은 응답 메모리 중에서 응답 성공 횟수가 4회 이상인 경우로 Fig. 4와 같은 알고리즘을 통해 판단할 수 있다. 개발한 피아식별 장비의 알고리즘에 응답 성공 기준이 4회로 설정되어 있기 때문에 모의 시에도 동일한 조건으로 수행하였다.

레이다 회전에 따라 표적기로부터 수신한 응답 메모리의 Leading Edge 및 Tailing Edge를 판단하여 Edge 구간 내의 메모리 중 수신 성공한 응답 메모리 개수가 4개 이상인지 판단하여 탐지여부를 결정한다. 이때 수신 성공한 응답 메모리의 기준은 앞서 설명한 응답판단 모델에서 임계치 이상의 수신신호 세기가 있는 경우이다. 8개의 메모리는 수신되는 응답 모드를 실시간으로 저장하는데, 이 때 메모리 박스 좌측부터 8개 묶음을 스캔하여 8개 중 2개의 응답 신호가 존재할 경우 Leading Edge라고 정의하며 탐지판단을 시작한다. 그 후 좌측에서 우측으로 연속적으로 훑으며 검사하다가 8개의 메모리 중 1개의 응답 신호만 존재할 경우 Tailing Edge라 정의하며, 탐지 판단 구간을 확정 짓는다. Fig. 4에서는 총 5번의 응답 성공 횟수가 존재하므로 탐지가 되었다고 판단할 수 있다.

이러한 과정을 통해 레이다 1회전에 대한 탐지판단이 결정되며 최종적으로 탐지 성공률(%)은 총 레이다 회전수에 따른 탐지판단 성공 횟수로 정의할 수 있다.

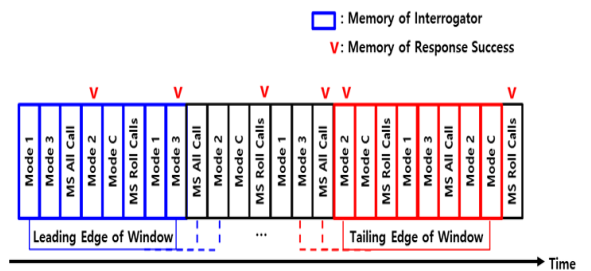


Fig. 4. The concept of IFF detection decision

2.2 표적 모델

표적 운동을 묘사하는 모델은 모의 수준에 따라 크게 3자유도 및 6자유도 운동 모델로 나뉜다. 본 논문에서는 표적 자세는 고려하지 않고 위치에 따른 피아식별 레이더 성능의 변화를 예측하고 분석하는 것이 목적이기 때문에 병진운동만을 고려하여 3자유도 질점운동 모델로 표적 모델을 구성하였다.

2.2.1 표적기 운동 모델

Fig. 5에서 피아식별 레이더 기준 ENU 좌표계에서  $V$ ,  $a$ 는 기수방향 속도 및 가속도이고, ENU 좌표계에서의 속도 성분을 수식 (5)의 좌표변환을 통해 산출할 수 있다. 수식 (6)의 미분방정식으로부터 다음 시간간격( $\Delta t$ ) 이후에서의 위치를 산출할 수 있다. 운동 모델의 전체 흐름은 Fig. 6에 도시한 바와 같다.

$$C_B^N = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^T \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} = C_B^N V_B = \begin{bmatrix} V\cos\theta\cos\psi \\ V\cos\theta\sin\psi \\ V\sin\theta \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\dot{V} = a_x \quad \dot{\theta} = \frac{a_z}{V} \quad \dot{\psi} = \frac{a_y}{V\cos\theta}$$

$[X, Y, Z]$  : 표적 위치 (m)       $V$  : 비행속도 (m/s)  
 $\theta$  : 비행 경로각 (deg)       $\psi$  : 방위각 (deg)  
 $[a_x, a_y, a_z]$  : 가속도 명령 (m/s<sup>2</sup>)

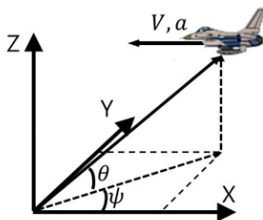


Fig. 5. Target geometry in ENU coordinate system

2.2.2 기동 시나리오 모델

표적기 기동 시나리오 모델은 초기 표적의 위치 및 비행 속도를 입력 받아 표적기 운동 모델이 모의될 수 있도록 통제한다. 본 논문에서 모의하는 표적기 기동 시나리오는 실제 시험을 바탕으로 등속 직진운동을 기본으로 설정하였다.

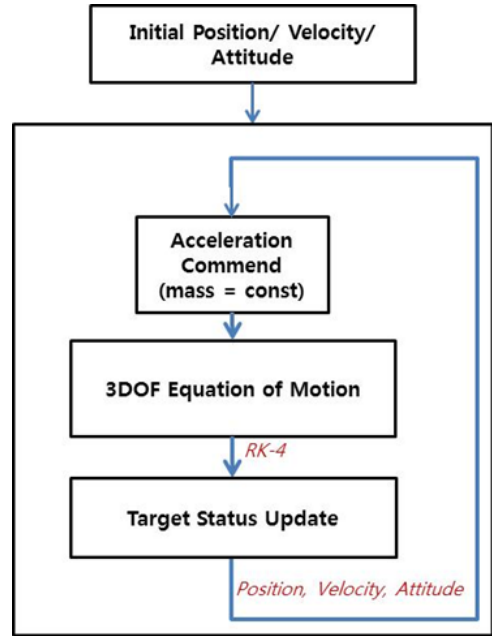


Fig. 6. The flow chart of M&S target dynamics

2.2.3 운용환경 모델

본 논문에서는 운용환경에서의 대기 및 지형에 따른 전파 특성을 계산하기 위해서 APM 모델을 적용한 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 프로그램을 활용하였다. 이를 통해 레이더 위치의 대기 및 지형 정보와 레이더 제원에 따른 방위별 고각에 대한 손실 계산 결과를 획득하였다<sup>[5]</sup>. 먼저 APM 모델은 운용환경에서의 대기 온도 및 압력을 바탕으로 수식 (7)로 전파 굴절도( $N$ )를 계산한다. 이러한 전파 굴절도는 APM 모델에서 안테나 빔 패턴과 지형 데이터와 연관되어 수식 (8)과 같이 Propagation factor( $F$ )를 계산하는데 사용된다<sup>[6]</sup>. 지형 데이터는 30 m 단위로 설정된 DTED(Digital Terrain Elevation Data) 레벨 2를 적용하여 대기과 레이더 사이트 주변 지형을 모두 고려한 전파 손실을 산출하였다.

$$N = 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (7)$$

$T$  : 온도 (K)       $P$  : 압력 (hPa)       $e$  : 수증기압 (hPa)

$$F = \left| \frac{E}{E_0} \right| \quad (8)$$

$E$  : 안테나 패턴이 포함된 수신점에서의 필드 크기  
 $E_0$  : 등방성 안테나 수신점에서의 필드 크기

APM 모델에서 전파손실( $L_p$ )은 수식 (9)로 계산하고, 이는 수식 (3)의 대기 손실 값으로 입력된다. 이때 전파손실은 자유공간에서의 빔 패턴이 고려된 방사 손실( $L_{fs}$ )에 대기상태와 앞서 산출한 지형에 따른 손실을 반영한 F로 이루어진다.

$$L_{fs} = 32.44 + 20\log(R) + 20\log(c/\lambda) \quad (9)$$

$$L_p = L_{fs} - 20\log(F)$$

$\lambda$  : 파장 (m)      R : 표적 거리 (m)

이 때, 전파 굴절도에 따라 대기 감쇄도가 바뀌기 때문에 이상대기에서는 빔이 깨지므로 전파 손실이 커지게 되고, 이에 따라 피아식별 레이더의 탐지 성능에 영향을 미친다. 본 논문에서는 표적이 기동함에 따라 레이더가 포착한 위치에서의 전파손실 값을 실시간 반영하여 적용하였다.

### 2.2.4 M&S 모델 연동

앞서 기술한 질문기, 표적, 운용환경 모델은 Fig. 7 과 같이 시계열적으로 동작한다. 표적기 기동 시나리오 및 레이더 설계변수 입력 값에 따라 먼저, 구동모델이 피아식별 레이더 모드 운용에 따른 방사 시간을 계산하여 레이더를 구동한다. 여기서 산출된 시간 간격은 표적기 운동 모델에 전달되어 실시간 기동을 계산한다. 레이더가 방위 방향으로 회전하면서 빔 폭 내에 표적이 들어오면, 수신 안테나 빔 파형으로부터 레이더 방정식을 통해 수신 신호 세기를 계산한다. 전파손실은 빔 패턴 및 표적기의 위치를 APM 모델에 반영하여 산출하였다. 이 때, 실제 운용되는 표적기의 수신 판단 로직은 알 수 없기 때문에 본 논문에서는 응답기에 질문기 신호가 100 % 도달한다고 가정하였다.

다음으로 질문기 모델에서 응답기로부터 수신한 신호 세기로부터 임계치 이상의 신호를 걸러 응답 성공 여부를 판단하였다. 레이더 회전이 1회 종료되면 앞서 계산한 응답신호 중에서 leading edge 및 tailing edge를 구분하고 4회 이상의 응답신호가 산출된 경우를 탐지 성공으로 판단하여 PPI 화면에 가시화 및 저장하고,

레이더 회전 수 대비 탐지 성공 횟수로 피아식별 레이더의 탐지 성공률을 산출하였다.

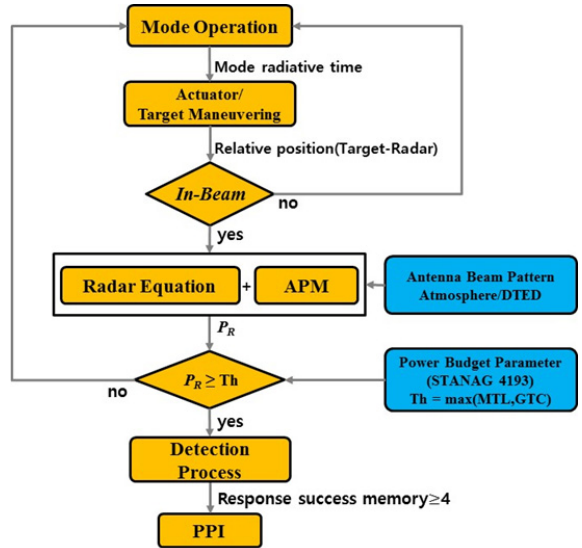


Fig. 7. The flow diagram of M&S linkage model

## 3. M&S 결과 및 성능 검증

### 3.1 시나리오

본 논문에서는 피아식별 레이더의 모드 운용에 따른 성능 예측 및 분석을 진행하고, M&S 도구 검증을 위하여 실제 레이더 사이트에서의 실측 데이터를 이용하여 모의 결과와 비교 검증하였다.

Fig. 8은 표적기 기동 시험 시나리오의 개략도를 도시한 것이다. 시나리오 A는 한반도 기준 북동 방향으로 퇴각 및 진입, 시나리오 B는 남서 방향으로 퇴각 및 진입하는 궤적을 나타낸다. 두 시나리오 모두 퇴각 기동 시 S 모드에 대한 응답기를 off로 설정하고 시험하였다. 이러한 시험 기동 시나리오를 바탕으로 Table 3과 같이 초기 운동 파라미터를 설정하였다.

피아식별 레이더 모드 운용 및 빔 패턴 등의 변수는 실제 설계치를 반영하였다. 전파환경 모델의 경우 레이더 설치 사이트를 반영한 DTED 정보를 이용하고, 시험 당일 기상 관측 데이터를 활용하여 APM 모델로부터 산출하였다. S 모드의 경우 사용유무 기능을 추가하여 구동 각도의 변화를 반영하고, 이에 따른 피아식별 레이더 탐지성능을 분석하였다.

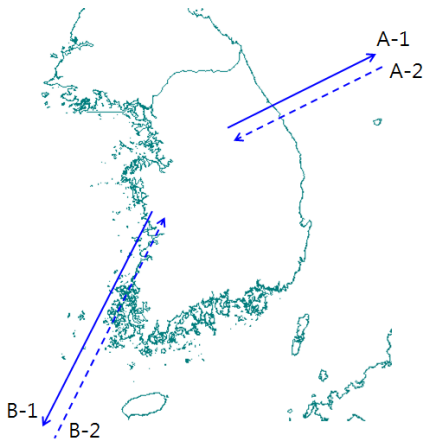


Fig. 8. M&S flight scenario

Table 3. Summary of M&S model scenario

Item	Scenario A		Scenario B	
	1	2	1	2
Altitude [ft]	30,000	30,000	20,000	20,000
Velocity [m/s]	260	260	260	260
Heading direction	northeast	southwest	southwest	northeast
Atmosphere	Trap	Trap	Normal	Normal
Mode S	off	on	off	on

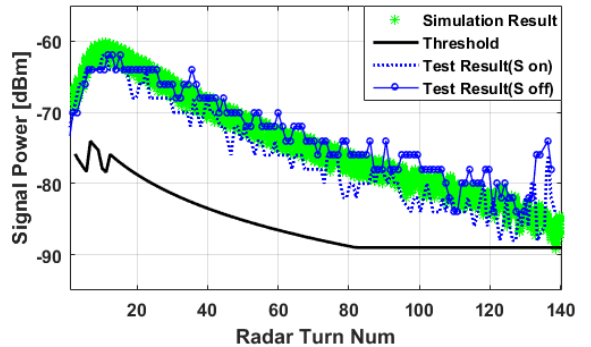
3.2 M&S 분석 결과

Fig. 9, 10은 앞서 설정한 시나리오 A, B에 대한 피아식별 레이더의 성능을 분석한 결과이다. 모의에서 S 모드 유무에 따라 레이더 구동의 차이가 발생해 레이더와 표적기 간 거리에 대한 전파손실은 미미하게 다르나 기동은 동일하다. 지형 및 대기에 의한 전파손실로 원거리에서 수신신호 세기가 줄어들어 탐지성능이 저하되지만 피아식별 탐지성공은 모두 만족함을 볼 수 있다.

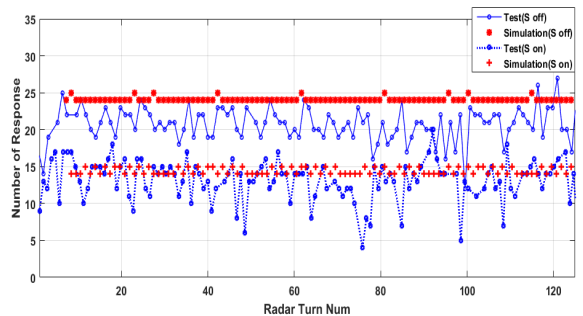
각 그림의 (a)는 레이더 회전수에 따른 탐지성능을 도시한 것이다. 실측의 경우 표적이 탐지된 경우에만 값이 저장되며 이는 레이더가 수신한 신호 세기로 정의된다. M&S 결과는 운용환경 및 실시간 표적기 위치를 반영하고 이론상 레이더 방정식으로부터 산출된 수신 신호 세기를 의미한다. 여기에서 임계값은 앞서 설명한 MTL, GTC를 거리에 따라 최댓값을 산출하여

적용하였다. 레이더 회전수 80회 이상일 때 표적기의 거리에 따라 MTL이 GTC보다 큰 값을 가지기 때문에 임계치가 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 시나리오에 따른 실측과 모의를 비교하면, 운용환경에 따른 전파 손실이 실제와 모의환경에서 차이가 있을 수 있기 때문에 오차가 발생하나 전반적인 수신 신호 세기 경향은 유사한 것을 확인할 수 있다.

각 그림의 (b)는 시나리오 1과 2, 즉 피아식별 레이더 S 모드의 유무에 따른 응답수 결과를 나타낸 것이다. 이를 시나리오 A, B에 대해 모의/실측 평균 응답수로 구분하여 정리하면 Table 4와 같다. 실측에서 표적의 기동성이 응답기 성능에 영향을 미쳐 떨림이 존재하는 반면 모의에서는 표적기가 질문 신호를 모두 수신했다고 가정했기 때문에 거의 일정하게 유지되는 현상이 나타나지만, 평균 응답수가 유사함을 확인함으로써 모델을 검증하였다.

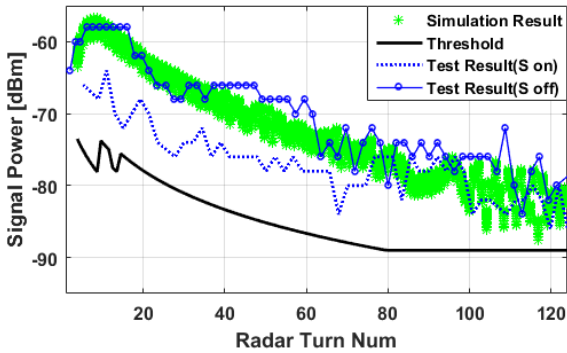


(a) Detection performance of test and simulation (Scenario A)

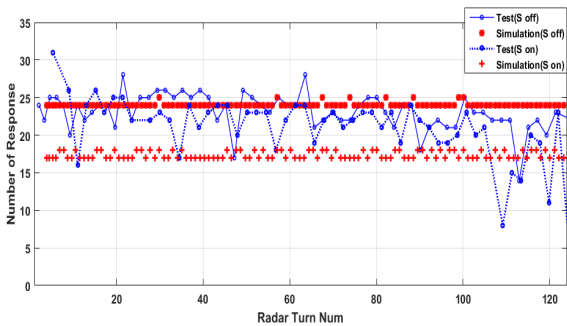


(b) Response change of test and simulation (Scenario A)

Fig. 9. Result of detection performance(scenario A)



(a) Detection performance of test and simulation (Scenario B)



(b) Response change of test and simulation (Scenario B)

Fig. 10. Result of detection performance(scenario B)

Table 4. Summary of M&S model scenario

Mean Response Number	Scenario A		Scenario B	
	1	2	1	2
Test	14.23	21.52	19.91	23.02
Simulation	14.81	24.31	17.23	24.52

현재 우리나라에 있는 대부분의 표적기의 경우 S모드에 대한 응답기가 작동하지 않기 때문에 응답수 및 탐지성능에 차이가 발생할 수밖에 없다. 시나리오 A, B 모두 S 모드 추가 운용에 따라 질문 횟수가 감소하고 그에 따라 응답 기회가 약 30% 줄어드는 효과를 확인하였다. 피아식별 레이더 모드 운용에 따른 모의를 통해 S 모드의 유무가 중요함을 확인하였다.

피아식별 레이더 성능 판단을 위해 본 논문에서는

레이더 회전수에 따른 수신기의 응답성공 횟수를 바탕으로 탐지 성공률을 계산하였다. 시험결과는 S 모드 유무에 따라 시나리오 A의 경우 94.7%, 96.1%이고 시나리오 B의 경우 94.9%, 95.7%로 큰 차이가 없다. 모의 결과 또한 시나리오 A와 B 모두 100%의 탐지 성공률을 가지는 것을 볼 수 있다. 비록 모의 시 표적기가 레이더 질문신호를 모두 수신했다고 가정했기 때문에 오차는 존재할 수 있지만 그 효과는 미미하다.

이러한 결과를 통해 피아식별 레이더가 적인지 야군인지 판별하는 것을 예측하기 위해 M&S 도구가 필요함을 알 수 있다. 나아가 M&S를 활용하여 레이더 체계 설계 시 피아식별 레이더 빔 운용에 따른 성능 변화를 확인하고 사전에 예측할 수 있다.

#### 4. 결론

고속화 및 소형화 되는 표적기를 빠르고 정확한 피아식별을 통해 탐지하기 위해서 탐색 레이더의 개발뿐만 아니라 피아식별 레이더 또한 중요해지고 있는 실정이다. 비행시험 또는 수많은 표적기에 대한 레이더 성능을 분석하기에는 시간, 비용이 많이 필요하기 때문에 M&S 모델을 통해 사전 예측하고 피아식별 레이더의 탐지 성능을 분석하는 것이 필요하다.

이에 따라 본 논문에서는 개발한 피아식별 레이더 기능을 모사하기 위해 레이더(질문기) 및 표적기(응답기), 운용환경 모델을 개발 및 통합하였다. 개발한 모델은 피아식별 레이더의 모드 운용에 따라 시간적인 요소를 고려하여 표적의 기동 및 전파환경을 고려하였다. 개발한 M&S 도구를 검증하기 위해 비행 시험을 통해 확보한 실측 데이터와 비교하였고, 모의결과와 시험결과를 비교 및 분석하여 레이더 회전수에 따른 탐지성능의 유사성을 확인하였다. 특히 모드 S의 유무에 따라 같은 시나리오 조건에서 모드 1, 2, 3/A, C에 대한 응답 비율이 달라지기 때문에 이에 따른 탐지성능의 영향성도 파악할 수 있었다. 실제 우리나라 표적기의 경우 외국에서 수입한 사례가 많기 때문에, 모드 S에 대한 응답기 장비가 설치되어 있지 않아 시험 시나리오 중 S 모드를 켜고 피아식별 레이더 탐지성능을 확인하였을 때 기존 대비 응답수가 레이더 1회전에 대해 3회 정도 감소함을 확인하였다.

나아가 다양한 피아식별 모드에 대한 추가 및 설계 변경 사항을 빠른 시간 내에 저비용으로 개발한 M&S



모델을 통해 탐지성능 예측에 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 추후 실제 표적기 응답기가 피아식별 레이더로부터 질문신호를 받을 때 발생하는 통신 저하를 추가 구성한다면 실제 발생 가능한 성능 변화를 상세 분석할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 추가로 표적기 자세에 따른 응답기의 특성변화가 있을 경우 모델에 추가 반영할 예정이다.

### References

- [1] P. Heller, "Hardware Interface Control Document for APX-119 IFF Transponder," Raytheon Company, pp. 2-73, April, 2016.
- [2] S. W. No, S. Y. Lee, M. S. Kim, and Y. H. Lee, "The Study of the IFF Mode-5 to Apply to Helicopter System," SASE 2018 Spring Conference, TD3-2.
- [3] NATO-STANAG 4193 PT III: Technical Characteristics of the IFF Mk XIIA System Part III: Installed System Characteristics, 2016.
- [4] Thomas K. Eismín, "Aircraft Electricity and Electronics, 6th Edition," Mc Graw Hill, 2013.
- [5] W. L. Patterson, "Advanced Refractive Effects Prediction System," Version 1.0 User's Manual, IEEE Radar.
- [6] Amalia E. Barrios, "Consideration in the Development of the Advanced Propagation Model for u.s Navy Application," IEEE 2003.