

# 전투기 능동위상배열 안테나의 신뢰도 분석을 위한 송수신모듈 허용 고장 기준 설정 방안 연구

배진<sup>1,2</sup>, 김종수<sup>1\*</sup>, 박홍우<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>한남대학교 산업경영공학과, <sup>2</sup>국방과학연구소

## A Study for random T/R module failure rate of airborne AESA antenna for reliability analysis

Jin Bae<sup>1,2</sup>, Chong Su Kim<sup>1\*</sup>, Hongwoo Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial and Management Engineering, Hannam University  
<sup>2</sup>Agency for Defense Development

**요약** 최신 전투기 개발 추세를 살펴보면 4세대 전투기 이후, 스텔스, 높은 기동성, 최신 항전 장비를 보강하는 전투기 개발로 변화가 이루어지고 있다. 특히, 전투기의 눈이라고 불리는 레이더는 4세대 전투기의 기계식 레이더에서 최신의 능동위상배열(AESA: Active Electronically Scanned Array) 레이더로 발전하고 있다. 최신 전투기에 적용되는 AESA 레이더는 반도체 송수신모듈(T/R: Transmit/Receive Module, 이하 T/R 모듈)을 이용하고 있으며, 운용 측면에서 어느 정도까지 T/R 모듈 고장이 나더라도 레이더를 운용할 수 있어서, 기계식 안테나 대비 효율적이기 때문에 최근 개발하는 전투기는 AESA 레이더를 기본적으로 고려하고 있다. 전투기 AESA 레이더 개발 단계에서 신뢰도 분석을 수행하기 위해서는 다중화 중복 구조로 되어 있는 T/R 모듈의 허용 고장률 기준 설정이 필요하다. 이러한 T/R 모듈 허용 고장은 레이더 운용 요구도를 이용하여 설정하는 방법이 적절하다. 본 연구에서는 안테나 전체 T/R 모듈 기준으로 5%에서 10% 이내 각 고장률에 따른 레이더 운용 요구성능의 기본이 되는 표적 최대 탐지 능력 만족 여부를 판단하여 최대 고장률을 설정하는 방법을 제시하였다.

**Abstract** The latest jet fighters are mostly adopting active electronically scanned array (AESA) radars with transmit/receive modules (T/R modules) instead of mechanically scanned array (MSA) radars used for fourth-generation fighters. T/R modules have good functional characteristics that support maintaining radar operational capability until they reach a certain failure rate. Therefore, it is required to establish a random failure rate of the T/R module, which is designed for structural redundancy for reliability in the development phase of the radar. The failure rate should be determined to meet the required radar operational capability. This paper proposes a method to determine the proper random failure rate of the T/R module, in which the maximum failure rate from 5% to 10% to meet the maximum detection rate is the key factor of the required operational capability of radar.

**Keywords** : AESA Radar, Antenna, Failure Rate, T/R Module, Structural Redundancy

---

This work was supported by 2022 Hannam University Research Fund.

\*Corresponding Author : Chong Su Kim(Hannam Univ.)

email: ckim@hnu.kr

Received March 24, 2023

Revised April 12, 2023

Accepted May 12, 2023

Published May 31, 2023

## 1. 서론

최근 전투기 개발 추세를 살펴보면 F-14, F-15, F-16 같은 4세대 전투기 이후, 스텔스, 높은 기동성, 최신 항진 장비를 보강하는 전투기 개발로 변화가 이루어지고 있다. 특히 전투기의 눈이라고 불리는 레이더는 4세대 전투기의 기계식 레이더에서 최신의 능동위상배열(AESA: Active Electronically Scanned Array, 이하 AESA) 레이더로 발전하고 있다. AESA 레이더의 가장 큰 특징은 500~1500개 내외의 반도체 송수신 모듈(T/R: Transmit/Receive Module, 이하 T/R 모듈)을 이용하는 AESA 안테나라고 볼 수 있다[1]. AESA 안테나는 운용 측면에서 어느 정도까지 T/R 모듈 고장이 나더라도 레이더를 운용할 수 있어서, 기계식 안테나 대비 신뢰성 향상, 전투기 가동률 및 운용 유지비 모두 효율적이기 때문에 최근 개발하는 전투기는 AESA 레이더를 기본적으로 고려하고 있다.

AESA 레이더 신뢰도 분석을 위해서는 T/R 모듈 허용 고장 기준 설정이 필요하다. T/R 모듈은 다중화 중복 설계로 되어 있어서, 고장난 T/R 모듈만큼 레이더 성능이 점진적으로 감소하는 성능 저하(graceful degradation)가 발생한다[2,3]. T/R 모듈 고장은 아래 Fig. 1과 같이 어느 정도까지 고장이 나더라도 레이더 운용에는 문제가 없기 때문에, 허용고장은 레이더의 최소 요구성능을 만족하는 조건에서 최대 허용고장 기준으로 설정하는 것이 바람직하다.

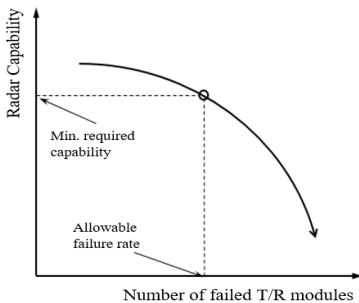


Fig. 1. T/R module failures vs. Radar Operational capability [3]

본 논문에서는 T/R 모듈 고장률에 따른 레이더 요구 성능 만족 여부를 확인하면서 T/R 모듈 최대 허용 고장 기준을 설정하는 분석 방안을 제시하고자 한다.

## 2. AESA 안테나 허용 고장 기준 분석

### 2.1 레이더 성능 파라미터

안테나의 주요 성능에는 송신출력, 수신이득, 빔 폭, 부엽 레벨, 수신이득 대 잡음 온도 비(G/T: Gain over Noise Temperature, 이하 G/T) 등이 있다. 이러한 안테나 성능 중에, 레이더 요구성능의 가장 기본이 되는 표적 탐지거리 분석을 위해서는 송신출력과 G/T가 중요한 파라미터이므로, 이러한 파라미터를 활용한 레이더 성능을 분석하여 T/R 모듈 고장 영향성을 분석하였다.

### 2.2 AESA 안테나 모델

T/R 모듈 최대 허용 고장 기준을 설정하기 위한 AESA 안테나 모델은 512개의 T/R 모듈 구조로 가정하고 아래 Fig. 2와 같이 배치하였다.

T/R 모듈 고장은 매트랩(matlab)을 이용하여 각 고장률에 따라 랜덤하게 고장을 설정하여 100회 시뮬레이션을 통한 AESA 레이더 성능분석을 하였다. 또한, 개개의 T/R 모듈은 다른 T/R 모듈과 별개의 독립적인 구조로 되어 있어서, 한 개의 T/R 모듈이 고장이 나더라도 주변의 T/R 모듈에는 영향이 없는 상태로 가정하였다. AESA 레이더의 기본 요구성능은 85% 누적 탐지율로 RCS(Radar Cross Section) 5m<sup>2</sup> 공중 표적에 대해 최대 탐지거리 45 NM 이상으로 설정하였다.

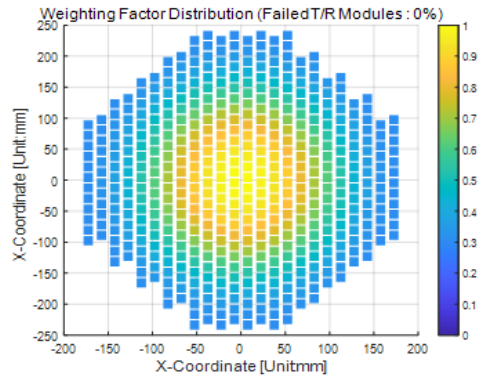


Fig. 2. T/R module arrangement

### 2.3 T/R 모듈 고장에 따른 송신출력 계산

안테나 송신출력은 유효등방복사전력(EIRP: Effective Isotropically Radiated Power, 이하 EIRP)로 정의할 수 있으며, EIRP의 계산식은 아래와 같다.

$$EIRP = G_{Tx} P_{peak} \quad (1)$$

여기서  $G_{Tx}$ 는 안테나의 송신 이득,  $P_{peak}$ 는 송신기의 최대 송신전력이다. 이를 AESA 안테나 구조로 나타내면 다음과 같다[4].

$$EIRP = G_e (N - F) \times P_{TRM}(N - F) \quad (2)$$

$G_e$ 는 T/R 모듈과 연결된 단위 복사소자의 이득이며,  $N$ 은 T/R 모듈의 총 개수(512개),  $F$ 는 고장이 발생한 T/R 모듈의 수,  $P_{TRM}$ 은 한 개 T/R 모듈의 최대 송신전력이다. EIRP 계산을 위해  $G_e$ 는 4dBi,  $P_{TRM}$ 은 10W로 산정하였으며, Eq. (2)의 전제조건은 송신 시 T/R 모듈 별 진폭 가중치는 적용하지 않으며, 각 T/R 모듈의 출력이 일정하다는 것이다. 위 조건과 Eq. (2)를 활용하여 고장률에 따른 안테나의 송신출력은 아래 Table 1과 같이 계산할 수 있다.

Table 1. EIRP per Random Failure Rate of T/R Module

Item	Unit	Random Failure Rate						
		0%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
F	EA	0	25	30	35	40	46	51
$G_{Tx}$	dBi	31.09	30.88	30.83	30.79	30.74	30.69	30.65
$P_{peak}$	dBm	67.10	67.09	66.88	66.83	66.79	66.74	66.69
EIRP	dBm	98.19	97.75	97.66	97.57	97.48	97.39	97.29

### 2.4 T/R 모듈 고장에 따른 G/T 계산

G/T는 AESA 안테나의 수신성능 지표로, 탐지거리 계산에 중요한 값으로 작용한다. G/T를 계산하기 위해서

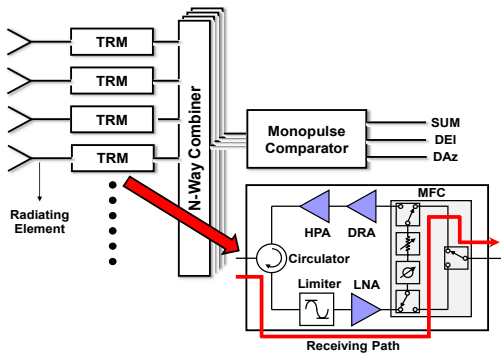


Fig. 3. Typical RF Circuit Structure of AESA antenna [5]

는 우선 AESA 안테나 RF(Radio Frequency, 이하 RF) 회로 구조를 등가회로화 할 필요가 있으며, 그 구조는 Fig. 3과 같다[5].

복사소자(radiating element)는 소형 안테나로 신호를 공기 중으로 방사하고, 돌아온 신호를 받아 T/R 모듈로 전달한다. T/R 모듈은 레이더 신호를 위상 천이 및 증폭하여 복사 소자로 전달하고, 표적을 맞고 돌아온 신호를 저잡음 증폭 및 위상 천이하여 N-way 결합기에 전달한다. 단일 복사 소자로 들어온 신호는 T/R 모듈 내부의 써큘레이터(circulator)를 통해 수신경로로 전달되고, 리미터(limiter)의 통과 범위 내의 진폭을 가진 신호는 저잡음증폭기(Low Noise Amplifier, 이하 LNA)를 통해 증폭되며, 다기능 칩(Multifunction Chip, 이하 MFC)을 통해 위상 및 크기가 조정된다. N-way 결합기는 모노펄스 처리를 위하여 총 4개로 구성되고, T/R 모듈로부터 전달된 신호를 결합한다. 모노펄스 비교기(monopulse comparator)는 보통 하이브리드 커플러 4개로 구성되며, 4개의 N-way 결합기로부터 전달된 신호를 이용해 합 채널( $\Sigma$ ) 및 고각/방위각 차 채널( $\Delta Az$ ,  $\Delta El$ )을 제공하여 표적을 맞고 돌아온 신호를 모노펄스 처리할 수 있도록 한다.

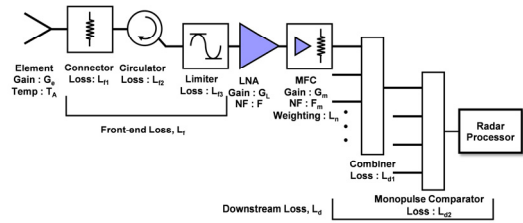


Fig. 4. Equivalent RF circuit model for AESA Rx path for G/T analysis [5]

위 Fig. 4는 G/T 계산을 위해 작성된 AESA 안테나의 수신경로 등가모델이다. 그림에서 볼 수 있듯 LNA, MFC를 제외한 모든 RF 회로는 lossy network로 볼 수 있다. 커넥터, 서큘레이터 및 리미터의 손실은  $L_{d1} \sim L_{d3}$ 로 정의하고, N-way 결합기와 모노펄스 비교기의 손실을  $L_{d1} \sim L_{d2}$ 로 정의하였다.

[6]에서 제안된 계산방식을 활용하기 위해 위 Fig. 4를 간략화한 AESA 안테나의 수신경로 등가 모델은 아래 Fig. 5와 같다. LNA 앞단 소자들은 모두 수동소자로 모델링 할 수 있으며, MFC 뒷단 결합기는 삽입손실을 모두 곱하고 나면 하나의 무손실 결합기로 모델링 할 수 있다.

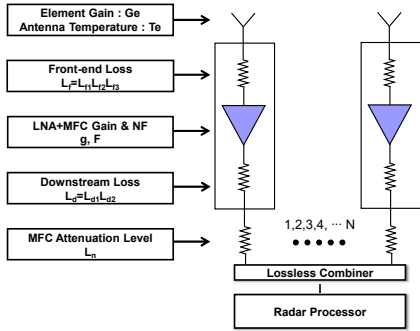


Fig. 5. Simplified RF Circuit Model of AESA antenna Rx Path [5]

LNA+MFC 이득  $g$  및 잡음지수(Noise Figure, 이하 NF)  $F$ 는 cascade system 이득 및 잡음지수 계산 방법에 따라 아래와 같이 정의할 수 있다[5]. 여기서  $G_L$ 은 LNA 이득,  $G_m$ 은 MFC 이득,  $F_L$ 은 LNA의 NF,  $F_m$ 은 MFC의 NF이다.

$$g = G_L G_m \quad (3)$$

$$F = F_L + \frac{(F_m - 1)}{G_L} \quad (4)$$

위 Fig. 5에서 MFC의 이득과 NF, MFC attenuation level은 각각  $L_d$ 를 중심으로 떨어져 있는데, MFC는 칩의 특성상 내부에서 신호를 소폭 증폭하므로 LNA와 직

렬로 연결된 증폭기로 간주하여 이득 및 NF를 합하여 계산하고, MFC attenuation level은 AESA 안테나의 부엽 레벨을 조정하기 위하여 감쇄 값을 입력하는 것이므로 수동소자 성분이 된다. 수동소자의 특성상 직렬 연결 시에는 앞뒤 순서에 따른 잡음지수의 변화는 없으므로 [5]에서 제안한 모델과 일치시켜 수식을 이용한다. 위 모델링과 참고문헌 [4-6]에 따라  $G/T$ 를 계산하기 위한 수식은 최종적으로 아래와 같이 도출할 수 있으며, Eq. (5) 계산을 위한 파라미터들은 아래 Table 2와 같이 설정하였다.

$$\frac{G}{T} = \frac{NG_e\eta}{T_e + T_0(L_f F - 1 - \frac{L_f}{g} + \frac{NL_f L_d}{g \sum_{k=1}^N \frac{1}{L_k}})} \quad (5)$$

$$\eta = \frac{\left( \sum_{k=1}^N \sqrt{\frac{1}{L_k}} \right)^2}{N \sum_{k=1}^N \frac{1}{L_k}} \quad (6)$$

여기서  $N$ 은 T/R 모듈의 총 개수,  $F$ 는 고장 T/R 모듈의 개수,  $T_e$ 는 안테나 온도(270K),  $T_0$ 는 T/R 모듈 온도(300K),  $F$ 는 저잡음 증폭기 NF,  $g$ 는 저잡음 증폭기 이득,  $\eta$ 는 AESA 안테나의 Aperture Efficiency이며,  $\frac{1}{L_k}$ 는 T/R 모듈 가중치(Weighting factor)의 제곱이 된다.

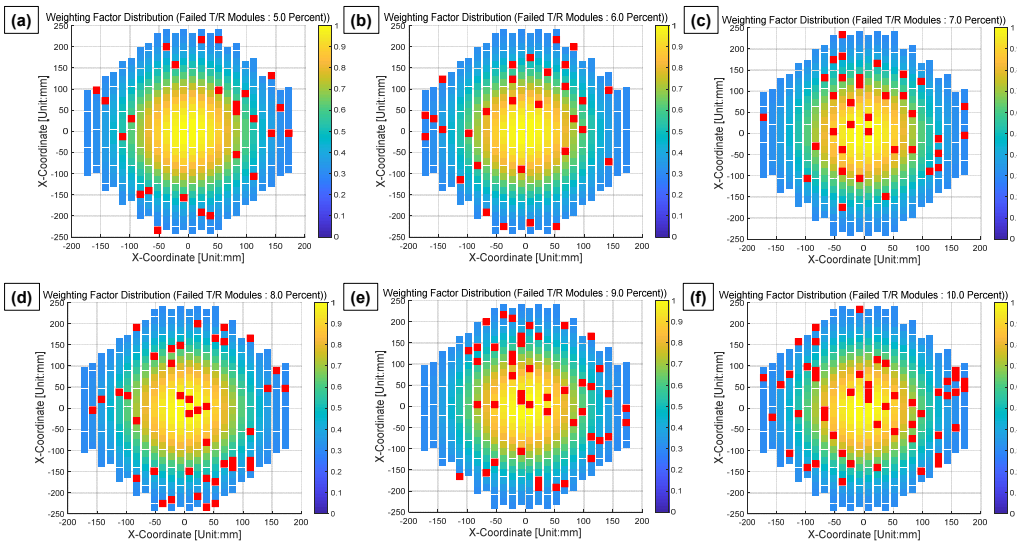


Fig. 6. A case of weighting factor per random failure rates (a): 5%, (b): 6%, (c): 7%, (d): 8%, (e): 9%, (f): 10%

Table 2. Parameters for G/T calculation

Item	Unit	Random Failure Rate						
		0%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
F	EA	0	25	30	35	40	46	51
MFC Control(L <sub>k</sub> )	-	Depends on weighting factor and failure location (Refer to Fig. 6)						
L <sub>f</sub>	L <sub>f1</sub>	0.5						
	L <sub>f2</sub>	0.5						
	L <sub>f3</sub>	0.5						
g,F	G <sub>L</sub> , F <sub>L</sub>	Gain : 30, NF : 1.5						
	G <sub>m</sub> , F <sub>m</sub>	Gain : 3, NF : 4						
L <sub>d</sub>	L <sub>d1</sub>	8						
	L <sub>d2</sub>	2						

위 Fig. 6은 매트랩을 활용한 시뮬레이션을 통해 T/R 모듈 고장률에 따른 가중치 분포를 그린 경우이며, 고장 난 T/R 모듈의 가중치는 0으로 처리하였다. 또한, 변경된 진폭 가중치에 따라 Eq. (5)를 계산한 결과는 아래 Table 3과 같다. 가중치 분포에 따라 Eq. (5)의 결과 값이 변화하므로 위 Table 1에서 정의하였던 케이스 별로 총 100회씩 시뮬레이션하여 값의 편차를 확인하였다.

Table 3. G/T calculation results with respect to Random Failure Rates(unit: dB/K)

G/T	Random Failure Rate						
	0%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Max	1.86	1.66	1.61	1.57	1.52	1.48	1.43
Min	1.86	1.63	1.59	1.54	1.49	1.44	1.40
Mean	1.86	1.64	1.60	1.55	1.51	1.46	1.41

### 2.5 레이더 최대 탐지거리

T/R 모듈의 고장률과 레이더 탐지거리 간 연관성을 확인하기 위해서는 레이더의 탐지거리를 AESA 안테나의 T/R 모듈 고장률과 연관시킬 수 있어야 한다. 이를 위해 표적이 전방에서 고속 접근하는 상황을 가정하여 시나리오를 구성하고, 이에 맞는 파형과 탐지/추적 알고리즘을 사용하는 것을 전제로 T/R 모듈 고장률에 따른 탐지거리를 분석하였다.

전방 고속 접근 표적에 대한 탐지거리를 최대화하기 위하여, 항공기용 레이더는 alert-confirm dwell을 이용하여 표적에 대한 탐지를 수행한다. alert dwell에서 swerling 1 표적 탐지에 사용되는 단일 탐지 확률은 아래 식을 이용하여 계산할 수 있다[7,8].

$$P_{d,alert}(\bar{x}, Thr_a) = \exp\left(-\frac{Thr_a}{1+\bar{x}}\right) \quad (7)$$

Eq. (7)에서  $Thr_a$ 는 alert dwell의 SNR 임계 값이며,  $\bar{x}$ 는 표적의 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)로 Eq. (8)을 사용하여 계산할 수 있다.

$$\bar{x} \approx EIRP \times \frac{G}{T} \times \frac{T_{pulse} N_{pulse} \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 k_B R^4 L} \quad (8)$$

Eq. (8)에서 EIRP는 Table 1, G/T는 Table 3 값을 이용하고,  $T_{pulse}$ 는 펄스 폭,  $N_{pulse}$ 는 펄스 개수,  $\sigma$ 는 표적의 레이더 반사 면적(radar cross section, RCS),  $k_B$ 는 볼츠만 상수,  $R$ 은 레이더와 표적 사이의 거리를 나타낸다. 손실  $L$ 은 신호처리기 손실, beam shape 손실 등 각종 손실을 더하여 나타낸 항이다. AESA 안테나의 T/R 모듈고장에 따른 탐지거리 영향을 분석하기 위한 파라미터의 값은 아래 Table 4와 같이 입력하였다. T/R 모듈 고장이 발생하면 EIRP 및 G/T가 변화하여 탐지 거리에 영향을 준다.

Table 4. Parameter for calculating SNR

Item	Unit	Random Failure Rate						
		0%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
EIRP	dBm	98.19	97.75	97.66	97.57	97.48	97.39	97.29
G/T	dB/K	1.86	1.64	1.60	1.55	1.51	1.46	1.41
$T_{pulse}$	$\mu s$	1.5						
PRI	$\mu s$	10						
$N_{pulse}$	-	2000						
$\sigma$	m <sup>2</sup>	5						
$k_B$	J/K	$1.38 \times 10^{-23}$						
R	m	Slant Range between Radar and Target						
L	dB	15						
Vr	m/s	544m/s (Relative velocity between Radar-Target)						

alert dwell의 임계값  $Thr_a$ 는 레이더가 coherent processing을 사용할 경우 Eq. (9)와 같이 계산할 수 있다.

$$Thr_a = -\ln(P_{fa,alert}) \quad (9)$$

alert dwell에서 표적이 탐지되면 표적의 각도 및 속

도 정보 획득이 가능하지만, 표적의 거리 정보 획득을 위해서는 추가 빔 할당이 필요하다. 따라서 레이다는 탐지된 표적의 실제 표적 여부 확인 및 표적 거리 정보 획득을 위하여 alert dwell에서 표적이 탐지되는 즉시 confirm dwell을 할당하였다. confirm dwell은 HPRF(high pulse repetition frequency) 파형을 사용하는 3개의 burst로 구성되며 사용된 3개의 burst에서 모두 표적이 탐지되는 경우 표적 탐지를 선언한다. alert dwell과 confirm dwell로 구성되는 탐색 단계의 오경보 확률  $P_{fa}$ 를 일정하게 유지하기 위하여 confirm dwell을 구성하는 각 burst의 오경보 확률  $P_{fa,confirm}$ 은 alert dwell의 오경보 확률  $P_{fa,alert}$  및 confirm dwell을 구성하는 burst 수  $N_c$ 를 고려한 Eq. (10)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$P_{fa,confirm} = \left( \frac{P_{fa}}{P_{fa,alert}} \right)^{\frac{1}{N_c}} \quad (10)$$

confirm dwell의 각 burst에서 표적 RCS는 변하지 않으며, 3개 burst의 표적 RCS는 slow Rayleigh fluctuation 특성을 갖는 swerling 1 표적인 경우 단일 탐지 확률  $P_{d,confirm}$ 은 Eq. (11)을 사용하여 계산할 수 있다[9].

$$P_{d,confirm}(\bar{x}, Thr_c) = \int_0^\infty (P_{sw0}(x, Thr_c))^{N_c} P_{sw1}(x|\bar{x}) dx \quad (11)$$

$$P_{sw0}(x, Thr_c) = 0.5 \operatorname{erfc}(\sqrt{Thr_c} - \sqrt{x+0.5}) \quad (12)$$

$$P_{sw1}(x|\bar{x}) = \left( \frac{1}{x} \right) \exp\left( \frac{-x}{\bar{x}} \right) \quad (13)$$

$$\operatorname{erfc} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt \quad (14)$$

Eq. (11)의  $P_{sw0}$  및  $P_{sw1}$ 은 Eq. (12)~(14)를 사용하여 계산되며,  $x$ 는 표적 신호 크기,  $\bar{x}$ 는 표적의 평균 신호 대 잡음비를 나타낸다.  $Thr_c$ 는 confirm dwell의 임계 값으로 아래 식으로 구할 수 있다.

$$Thr_c = -\ln(P_{fa,confirm}) \quad (15)$$

alert dwell과 confirm dwell로 구성되는 탐색 단계의 최종 단일 탐지 확률  $P_d$ 는 alert dwell과 confirm dwell 표적 RCS의 correlation 여부를 고려하여 아래 식과 같이 두 경우로 계산할 수 있다[9].

$$P_d(\bar{x}, Thr_a, Thr_c) = \int_0^\infty P_{sw0}(x, Thr_a) (P_{sw0}(x, Thr_c))^{N_c} P_{sw1}(x|\bar{x}) dx \quad (16)$$

$$P_d(\bar{x}, Thr_a, Thr_c) = P_{d,alert}(\bar{x}, Thr_a) \int_0^\infty (P_{sw0}(x, Thr_c))^{N_c} P_{sw1}(x|\bar{x}) dx \quad (17)$$

alert dwell과 confirm dwell의 표적 RCS가 correlation 된 경우는 Eq. (16)을 최종 단일 탐지 확률 계산에 사용하며 alert dwell과 confirm dwell의 표적 RCS가 correlation 되지 않은 경우는 Eq. (17)을 사용하여 최종 단일 탐지 확률을 계산한다. 레이다 탐색 성능을 대표하는 누적 탐지 확률  $P_c$ 는 Eq. (16) 또는 (17)을 사용하여 계산되는 단일 탐지 확률과 아래 식을 사용하여 계산할 수 있다[10].

$$P_c = 1 - \prod_{n=0}^N [1 - P_d(\bar{x}(R + \Delta R))] \quad (18)$$

Eq. (18)에서  $R$ 은 레이다와 표적 사이의 거리,  $\Delta R$ 은 지정된 탐색 영역을 스캔하는 데 걸리는 프레임 시간(frame time) 동안 표적의 평균 이동 거리, 그리고  $N$ 은 거리  $R$ 만큼 표적이 이동하는 동안 레이다가 표적을 보는 횟수를 나타낸다.

맷랩 및 Eq. (7)~(18)을 이용하여 T/R 모듈 고장률에 따른 누적 탐지 확률을 계산하면 아래 Fig. 7과 같이 확인할 수 있다.

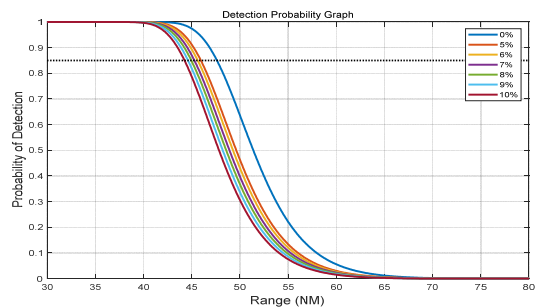


Fig. 7. Cumulative Detection Probability Graph



그래프의 X축은 표적과 레이더 간 거리이며, Y축은 Eq. (18)로 계산된 누적 탐지 확률이다. 레이더 요구도에 따라 누적 탐지 확률이 85%일 때 고장 유형별 탐지거리를 최종 도출하면 아래 Table 5와 같다.

Table 5. Cumulative 85% Probability of Detection Range

Random Failure Rate	0%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Detection Range(NM)	47.6	45.9	45.5	45.2	44.9	44.5	44.2

레이더 요구성능이 누적 탐지율 85%에서 최대 탐지거리가 45 NM일 경우라면, 위 Table 5 결과에 따라 랜덤한 T/R 모듈 고장률은 최대 7%까지 허용 가능하다고 판단할 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 AESA 안테나의 신뢰도 예측 및 전투기 운용을 위한 안테나 고장 판단 기준에 필요한 T/R 모듈 허용 고장 기준 설정 방안을 제시하였다. AESA 안테나의 T/R 모듈 허용 고장 기준은, 랜덤한 T/R 모듈 고장률에 따른 레이더 성능 시뮬레이션 결과를 확보하고 레이더 운용 요구도를 만족하는 조건에서 최대 허용 고장률을 설정하는 방법이다. T/R 모듈 512개를 사용한 AESA 레이더 경우, T/R 모듈 허용 고장률은 최대 탐지거리 45NM의 운용 요구도를 만족하는 최대값인 7%로 기준 설정이 가능하다. T/R 모듈 허용 고장률 기준이 설정되면, 이를 바탕으로 AESA 안테나 고장 판단 기준이 수립되며 신뢰도 분석을 진행할 수 있다.

### Acknowledgement

This work was supported by 2022 Hannam University Research Fund.

### References

[1] M.K. Chong, D.Y. Kim, S.K. Kim, S.M. Chon, H.G. Na, "Development of Planar Active Electronically Scanned Array(AESA) Radar Prototype for Airborne Fighter", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic

Engineering and Science. Vol. 21, No. 12, pp. 1380-1393, Dec. 2010.

[2] S.S. Lee, I.H. Cho, J.H. Lee, Y.K. Park, "The Study of Reliability Analysis Method Considering The Fault Characteristics of Active Phased Array Antenna", Journal of applied reliability, Vol. 18, No. 4, pp. 291-300, Dec. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2018.12.18.4.291>

[3] M.J. Kwon, I.S. Lee, "The Study of Reliability Analysis method considering the design characteristics and allowable failure rate of Active Electronically Scanned Array", Proceedings of the Korean Reliability Society Conference, pp. 113-121, May 2019.

[4] Arik D. Brown, Active Electronically Scanned Arrays: Fundamentals and Applications, 1st Ed, pp.174, 2022.

[5] H.W. Park, "Gain Over Temperature (G/T) Calculation and Measurement for Airborne AESA Antennas", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. Vol. 32, No. 2, pp. 154-162, Feb. 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2021.32.2.154>

[6] J. J. Lee, "G/T and noise figure of active array antennas", IEEE Transactions on Antennas and propagation, Vol.42, pp.241-244, 1993.

[7] SKOLNIK, M. L. Radar Handbook 3rd ed. McGraw-Hill. New York, chapter 2, 2008.

[8] George W. Stimson, Introduction to airborne radar, 2nd ed, Scitech Publishing Inc., pp.504~508, 1998.

[9] Roger A. Dana and Dennis Moraitis, "Probability of Detecting a Swerling I target on two correlated observations," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 17, no. 5, pp. 727-730, Oct. 1981.

[10] MAHAFAZA, Bassem R.; ELSHERBENI, Atef Z., Simulations for Radar Systems Design, Chapman&Hall/CRC, chapter 2.8, 2004.

배 진(Jin Baek)

[정회원]



- 1995년 2월 : 한국항공대학교 항공재료공학과 (공학사)
- 2018년 8월 ~ 현재 : 한남대학교 산업경영공학과 (석박사과정)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임기술원

<관심분야>

AESA 레이더, 신뢰도, 비행시험

김 종 수(Chong Su Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 공과대학 금속공학과 (공학사)
- 1990년 8월 : Polytechnic Univ., NewYork, 산업공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : North Carolina 주립대학 산업공학과 (공학박사)
- 1994년 3월 ~ 1998년 2월 : 삼성 에스디에스 책임연구원
- 1998년 3월 ~ 현재 : 한남대학교 산업경영공학과 교수

<관심분야>

컴퓨터 응용, 서비스품질설계

---

박 흥 우(Hongwoo Park)

[정회원]



- 2014년 2월 : 경북대학교 전기공학과 (전기공학 학사)
- 2016년 2월 : 경북대학교 전기공학과 (전기공학 석사)
- 2016년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야>

AESA 안테나, T/R 모듈 설계/제작, 항공기 레이다