

# 운영유지 비용을 고려한 항공무기체계 레이더의 최적정비주기 설정 방안\*

탁정호 · 정 원†

대구대학교 산업경영공학과

## Optimal Maintenance Cycle Plan of Aerial Weapon System Radar Considering Maintenance Cost\*

Jung Ho Tak · Won Jung†

Department of Industrial and Management Engineering, Daegu University

**Purpose:** The purpose of this study is to propose a method to calculate the optimal preventive maintenance cycle of radar used in the aviation weapon system of ROKAF.

**Methods:** A hybrid model is used to estimate the optimal preventive maintenance cycle in a system that can perform condition based predictive maintenance (CBPM) through continuous diagnosis. The failure data of the radars operating in the military were used to calculate the reliability.

**Results:** According to the research results, the reliability threshold of the radar began to decrease after 5 flights, and decreased rapidly after 12 flights. Since the second check, costs have continued to decline.

**Conclusion:** A method is proposed to determine the cycle of optimal preventive maintenance of radar within operational budget through modeling results between reliability limit and cost for radar. The results can be used to determine the optimal preventive maintenance cycle and frequency of various avionics equipment

**Keywords:** Reliability threshold, Avionics System, Radar, Mechanical defect, Optimal Maintenance Cycle, CBPM

### 1. 서론

현대전에서 항공무기체계의 성공적 임무 수행을 위한 레이더의 역할과 성능의 중요성은 지속적으로 증가하고 있지만, 레이더 성능과 관련하여 목표 수준의 신뢰성을 유지하는 것은 매우 어려운 일이다. 레이

더의 신뢰성 유지를 위한 운영 유지비용은 지난20년간 지속적으로 증가하고 있으며, 향후 증가폭은 더욱 커질 것으로 예상된다[1]. 미공군은 레이더 등 항공전자장비(avionics)의 주요 전자부품인 IC 카드, 메모리, 커넥터 등의 결함유형과 신뢰성 향상을 위한 연구를 다년간 수행해 왔으며, 연구를 통해 마모, 부식 등의

\* 본 논문은 대구대학교 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임

† 교신저자 wjung2020@gmail.com

2018년 5월 17일 접수, 2018년 6월 14일 수정본 접수, 2018년 6월 15일 게재 확정.

기계적 메커니즘에 의해 발생하는 결함에 따라 전자 부품의 신뢰성이 크게 저하된다는 결과를 얻었다 [2-4].

본 연구의 목적은 한국공군의 항공무기체계에 사용되는 레이다(radar)의 최적예방정비 주기를 산출하는 방법을 제시하는데 있다. 레이다는 지속적이고 반복적인 진단을 통하여 상태기반예측정비(CBPM; condition based predictive maintenance)가 가능하며, 산출된 레이다의 최적예방정비주기와 정비비용 간의 모델링을 통해 제한된 예산 범위 내에서의 목표신뢰도 유지를 위한 최적예방정비 주기와 횟수를 결정하는 방법을 연구하고자 한다. 본 연구를 위해 미공군의 항공전자장비 결함발생 특성을 분석한 자료를 활용하였으며, 한국공군의 레이다의 결함과 미공군의 전자장비 결함발생 특성과 비교하여 해당 고장메커니즘에 맞는 예방정비 주기산출모델을 제시하려고 한다.

항공전자장비의 정비주기에 대한 연구를 살펴보면, Zhou *et al.*[5]은 기계적 결함이 주로 발생하는 장비의 신뢰성 향상을 위한 점검주기 설정과 최적의 운영비용을 결정하기 위한 연구를 수행하였다. Sheu *et al.*[6-8]은 예방정비(PM; preventive maintenance) 주기 설정 시에 최적의 신뢰성 목표를 설정하는 방법에 관한 연구를 수행하였으며, Nakagawa[9]는 시스템의 위험도 증가와 수명 감소를 동시에 고려하여 시스템의 위험도 함수를 결정하는 방법에 대한 연구를 수행한 결과 하이브리드 모델(hybrid model)이라는 위험도 함수 결정방안을 제시하였다. Martorell *et al.*[10]은 운영데이터를 활용하여, 위험도 함수를 와이블 분포 등으로 가정하여 시스템의 신뢰도를 예측하는 방안을 제시하였으며, Mobley[11]는 예방정비 관련 시스템의 상태를 고려하여 수행하는 상태기반예측정비에 관한 연구를 수행하였다. 김인석 외[12]는 대한민국 공군이 운영 중인 오일(oil)분석 장비의 최적정비주기 설정에 관한 연구를 수행하여 도입 시 일괄적으로 설정되는 장비의 점검주기를 운영결과 데이터를 바탕으로 최적 정비주기를 설정하는 방법을 제안하였다.

본 연구의 결과는 한국공군에서 레이다와 같이 예방정비 주기와 횟수가 설정되지 않은 장비들에 대하여 최적의 예방정비 주기와 횟수를 설정하는데 활용할 수 있을 것이다. 또한, 군이 운영하고 있는 무기체계의 비용을 고려한 최적의 정비정책 수립을 위한 중요 연구사례로 활용이 가능하다.

## 2. 항공무기체계 레이다 결함유형 분석

### 2.1 미공군의 항공전자장비 결함유형

미공군은 항공무기체계 운영과정에서 기체 기관, 항공전자 등 다양한 계통과 유형의 결함을 경험하고, 신뢰성을 높이기 위한 정비활동들을 연구해왔다. 그 결과, 2000년 이후 기체, 기관 등 무기체계 구성품의 85%를 차지하는 엔진 등 기계적 부품의 결함은 감소하였으나, 15% 정도의 전자장비의 결함은 증가하게 되었고, 이에 따라 항공전자장비의 신뢰도 유지를 위해 많은 비용을 지출하게 되었다. <Fig. 1>은 미공군의 계통별 창정비(depot level) 비용의 비율을 보여준다[1-2].

창정비는 항공기의 주요 계통의 건전성 확보를 위해 일정 주기를 가지고 수행되는 정비로서 창정비 비용은 엔진계통 50%, 항공전자장비(avionics) 계통 35% 및 기골(aircraft structure)계통에서 11%로 크게 나타나며 무장, 지상장비 등에서도 일부 발생하는 것을 확인할 수 있다. 미공군 창정비의 특징은 항공기 부품의 15% 정도를 차지하는 항공전자장비의 창정비 비용이 전체 비용의 35% 이상 차지한다는 것이며, 이는 한국 공군에서도 유사하게 나타나고 있다.

미공군은 현재까지도 항공전자장비의 운영유지 비용 감소를 위해 다양한 연구를 수행중이며 그중 항공전자장비의 결함 유형과 원인에 대한 연구 수행 결과 결함은 주로 마모, 부식, 절단 등 기계적 메커니즘에 의한 것이라는 것을 확인하게 되었으며, 결함발생은 주로 커넥터 등 기계적 접합부위에서 발생하는 것이 확인되었다 [1-4]. 기계적 메커니즘에 의한 결함은 주기적인 예방정비가 필요하며, 결함이 발생한 이후 수리 시에는 많은 비용이 발생하므로, 장비의 주기적인 진단 등 지속적 관리가 이루어져야 만이 신뢰성 확보가 가능하다.

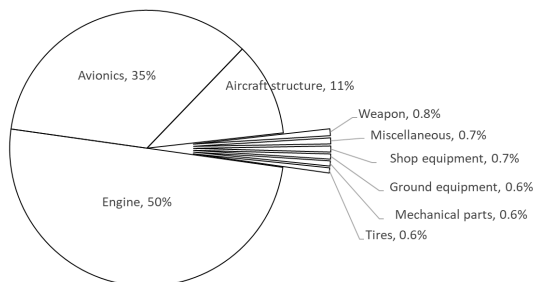


Fig. 1 Cost by part in depot level aircraft maintenance

### 2.2 한국공군의 레이더 결함유형

한국공군의 레이더 결함유형을 확인하기 위해 유사한 방식과 성능의 레이더가 장착되어있는 항공무기체계 F1~F3의 결함자료를 활용하였다. 무기체계 F1과 F2는 한국공군이 해외로부터 도입하여 운영 중인 무기체계이며, 무기체계 F3은 국내개발을 통해 운용중인 무기체계이다. 결함자료는 도입 및 개발시점에서부터 2016년까지의 자료이며, 군수정보체계로부터 수집된 자료이다.

<Fig. 2>은 무기체계 F1~F3의 연도별 100소티(sortie; 항공기 엔진 작동 시부터 비행 후 엔진 정지까지의 기간) 당 레이더 결함 발생건수를 보여준다.

무기체계 F1과 F2는 10년 이상 운영기간이 경과함에 따라 정상상태(steady-state)의 결함발생 추이를 보이나, 무기체계 F3은 운영기간이 짧아 과도상태(transient-state)의 결함 발생 추이를 보인다. 군수정보체계의 결함원인과 조치내용을 분석한 결과 한국공군

이 운영 중인 레이더도 미공군의 항공전자장비의 전자부품 결함과 유사한 수준으로 기계적 요인에 의한 결함이 발생하는 것을 확인하였다. <Fig. 3>은 무기체계 F1~F3의 결함내용 및 조치내용을 보여준다.

한국공군은 레이더에 대하여 비행 전·후 외관에 대한 육안점검과 전자파 송·수신에 대하여 기능점검을 수행하는 것으로 레이더 정비개념을 설정하고 있다. 이는 항공전자장비의 빈번한 점검은 장비의 신뢰성을 저하시킨다는 통념에 기인한 방식으로 실제로 기존의 연구를 통해 일정부분 확인이 되었다[13]. 무기체계 F1~F3의 결함 데이터 분석을 통해 한국공군이 운영 중인 레이더는 미 공군이 운영 중인 항공 전자장비 전자부품의 결함과 매우 유사한 것이 확인되었으며, 예방정비를 통해 레이더의 상태를 확인하고, 예방정비를 통해 식별된 결함에 대하여 적절한 조치를 반복적으로 수행한다면, 레이더의 신뢰성 향상이 가능할 것으로 판단된다[4].

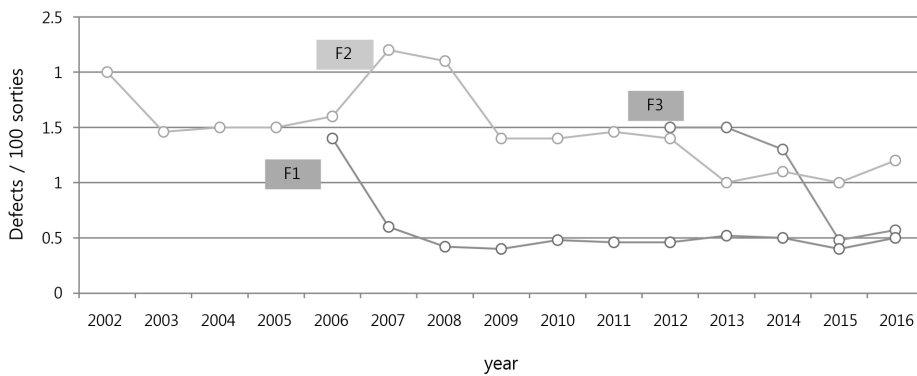


Fig. 2 The number of defects per 100 sorties of weapon system F1~F3



Fig. 3 Defect and repair method of RADAR system

### 3. 최적 예방정비주기 설정 및 비용변화 모델링

상태기반예측정비는 센서, 인디케이터 등을 통해 수집된 데이터를 통해 시스템의 정비주기와 방법을 결정하는 것으로, 구현을 위해서는 많은 비용이 필요하기 때문에 엔진, 발전기 등 높은 신뢰성을 요구하는 구동 부품에 주로 적용되었다 현재는 센서 기술의 발전과 시스템의 신뢰도 유지의 중요성 증대에 따라 적용분야가 확대되고 있으며, 미공군은 항공무기체계에 적용하기 위하여 활발한 연구를 수행하고 있다

지속적인 진단을 통해 상태기반예측정비 구현이 가능한 시스템에서 기계적 메커니즘에 의한 결함이 주로 발생하는 경우 하이브리드 모델(hybrid model)을 통해 최적 예방정비 주기를 설정할 수 있다[5, 6]. 하이브리드 모델은 위험도 변화와 수명감소를 동시에 고려하며, <Fig. 4>는 하이브리드 모델을 통한 위험도 함수  $h_{i+1}(t)$ 의 산출과정을 보여준다[5].

하이브리드 모델은 위험도 증가 모델(hazard rate model)과 수명 감소 모델(age reduction model)의 특성을 반영하며, 시스템 고유의 위험도 함수  $h(t)$ 에 최적화된 위험도 함수  $h_{i+1}(t)$ 에 대한 모델링이 가능하다. 또한, 지속적이고 반복적인 진단을 통해 상태기반예측정비가 구현되는 경우의 진단 주기별 동일한 위험도 함수의 산출이 가능하다.

하이브리드 모델을 적용하여, 주기  $T$ 로 예방정비를 수행하는 경우 주기별 위험도 함수  $h_{i+1}(t)$ 는 식 (1)과 같다.

$$h_{i+1}(t) = B_i h_i(t + A_i T_i) \quad \text{for } t \in (0, T_{i+1}) \quad (1)$$

여기서,  $h$ : 위험도 함수

$i$ : 예방정비 횟수

$T_i$ :  $i$ 번째 예방정비 주기

$0 < A_i < 1, B_i > 1$

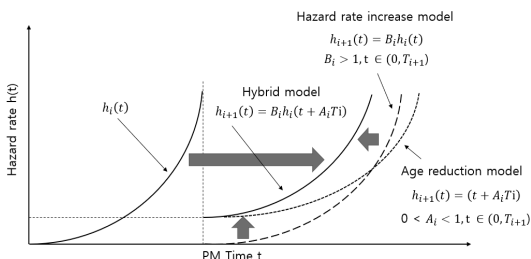


Fig. 4 Hybrid model for system hazard rate

이 때  $A$ 는 시스템의 단위 시간당 수명 감소 관련 계수이며,  $B$ 는 시스템의 단위 시간당 위험도 증가 관련 계수이다.

시스템의 위험도와 수명은 시스템의 운영 기간 경과에 따라 변화하지만, 시스템의 예방정비 수행을 통해 위험도는 감소하고 수명은 증가될 수 있다. 하이브리드 모델은 위험도와 수명변화 두 가지 조건을 모두 고려하여 정확한 위험도 함수 추정이 가능하다.

하이브리드 모델 적용 시 주기  $T$ 의 예방정비를 수행하는 경우의 신뢰도한계(reliability threshold)  $R$ 은 식 (2)와 같다.

$$R = \exp\left[-\int_0^{T_1} h_1(t) dt\right] = \exp\left[-\int_0^{T_2} h_2(t) dt\right] \quad (2)$$

$$= \dots = \exp\left[-\int_0^{T_N} h_N(t) dt\right]$$

여기서,  $R$ : 신뢰도 한계

$h_N$ :  $N$ 번째 예방정비 주기의 위험도 함수

$T_N$ :  $N$ 번째 예방정비 주기

하이브리드 모델을 통해 산출된 예방정비 주기별 위험도 함수를 누적하면 신뢰도한계를 산출할 수 있으며, 시스템이 주기  $T$ 로 예방정비를 수행하는 경우 예방정비 후 다음 예방정비까지의 위험도는 동일하게 된다. 시스템의 상태 진단 주기  $\Delta t$ 가  $T_i$ 보다 매우 작아지면, 진단을 통해 시스템의 위험도를 확인하고 상태를 예측하는 상태기반예측정비 구현이 가능하다. 하이브리드 모델을 통해 산출된 위험도 함수 식 (1)에  $\Delta t$ 를 적용하면  $h_{i+1}(t)$ 는 식 (3)과 같다.

$$h_{i+1}(k) = B_i h_i\left(k + \frac{A_i T_i}{\Delta t}\right) \quad (3)$$

$$\text{for } k = 0, 1, 2, \dots, \frac{T_{i+1}}{\Delta t}$$

여기서,  $h$ : 위험도 함수

$i$ : 예방정비 횟수

$T_i$ :  $i$ 번째 예방정비 주기

$0 < A_i < 1, B_i > 1$

$\Delta t$ : 시스템의 상태진단 주기

$\Delta t$ 를 식 (2)에 적용하면, 산출된 신뢰도한계  $R$ 은 식 (4)와 같이 된다.

$$R = -\exp\left[\sum_{k=1}^{T_1} h_1(k)\Delta t\right] = -\exp\left[\sum_{k=1}^{T_2} h_2(k)\Delta t\right] \quad (4)$$

$$= \dots = -\exp\left[\sum_{k=1}^{T_N} h_N(k)\Delta t\right]$$

여기서,  $R$ : 신뢰도 한계

$h_N$ :  $N$ 번째 예방정비 주기의 위험도 함수

$T_N$ :  $N$ 번째 예방정비 주기

$\Delta t$ : 시스템의 상태진단 주기

산출된 신뢰도한계  $R$ 을 유지하기 위하여 주기  $T$ 에 따라 예방정비를 수행하는 경우에 시스템의 수명주기에 걸쳐 예방정비 주기 당 예상되는 비용  $C$ 는 식 (5)와 같다[14-15].

$$C = \frac{N(C_1(-\ln R) + C_2(1 + \ln R))T_0 + C_3}{\sum_{i=1}^N (T_i) + N_i} \quad (5)$$

여기서,  $C$ : 예방정비주기당 예상비용

$N$ : 총 예방정비 수

$N_i$ :  $i$ 번째 예방정비

$T_i$ : 예방정비 시간 간격

$R$ : 시스템의 신뢰도 한계

$C_1$ : 비계획 정비에 따라 예상되는 비용

$C_2$ : 계획 정비에 따라 예상되는 비용

$T_0$ : 예방정비 지속 기간

$C_3$ : 추가적인 정비비용

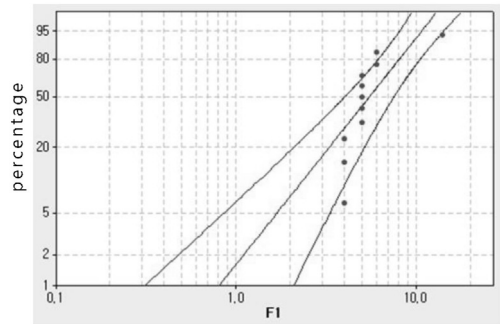
예방정비 주기 당 예상비용  $C$ 산출 시 계획 정비 비용  $C_1$ , 비계획 정비에 따라 예상되는 비용  $C_2$  및 장비 유지비용, 지원 작업 등 추가적인 정비비용  $C_3$ 가 모두 고려되었다. 또한, 시스템의 총 예방정비 주기 동안에 주기별로 변화하는 신뢰도한계와 예방정비 효과의 지속기간  $T_0$ 도 모두 고려된 결과이다.

#### 4. 한국공군 레이더 최적 예방정비주기 설정

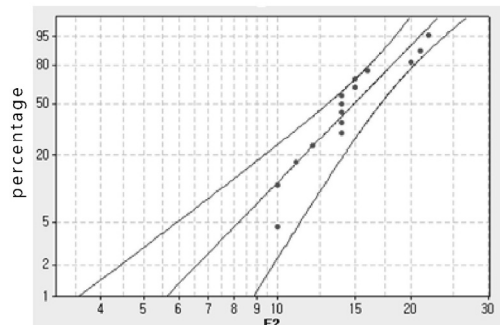
한국공군은 항공무기체계 운영 시에 일일 단위로 비행 전 · 후 또는 비행간 중간점검(동일 항공기로 일일 1소티 이상 비행 지원 시에 수행)을 통해 일정수준 짧은

주기로 지속적인 진단이 수행되고 있으므로 상태기반에 추정비를 적용하여 최적의 예방주기 설정이 가능하다

한국공군이 운영 중인 레이더의 최적주기 설정을 위해서 무기체계F1~F3의 결합발생 추이 확인결과 비행소티 당 항공기의 결합발생 수가 와이블분포를 따르는 것을 확인하였다.<Fig. 5>는 한국공군이 해외로부터 도입하여 운영 중인 무기체계F1과 F2의 레이더에 대한 고장 발생 추이에 대한 와이블분포 적합도를 보여준다

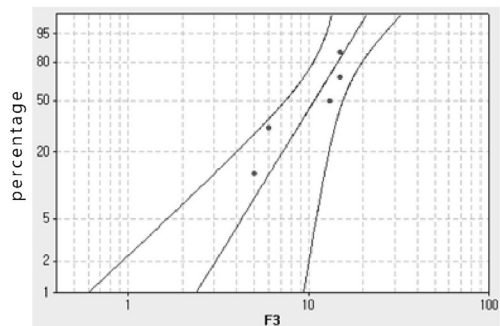


Defects / 100 sorties



Defects / 100 sorties

Fig. 5 Failure distribution of weapon system F1 and F2



Defects / 100 sorties

Fig. 6 Failure distribution of weapon system F3

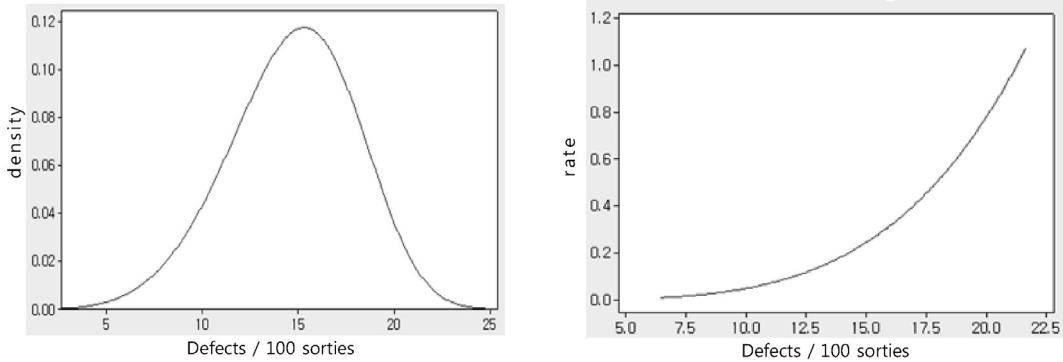


Fig. 7 Probability density function and hazard rate function of radar

<Fig. 6>은 한국공군이 국내개발을 통해 운영 중인 무기체계 F3의 레이더에 대한 고장발생 추이에 대한 와이블분포 적합도를 보여준다

Minitab을 통해 적합도 검정을 수행하면 AD값은 1미만으로 무기체계 F1~F3의 결함 발생은 와이블분포를 따르는 것을 확인 할 수 있으며, <Fig. 7>은 레이더의 확률분포도와 위험도 함수의 상관관계를 보여준다.

레이더의 결함 확률분포를 활용하여 위험도 함수  $h_{i+1}(t)$ 를 산출하면 식(6)과 같다,

$$h_{i+1}(t) = \left(\frac{m}{\eta}\right)\left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} = 0.3125 \times t^4 \quad (6)$$

여기서,  $m$ : 형상모수  
 $\eta$ : 척도모수

레이더의 위험도 함수  $h_{i+1}(t)$ 를 식(4)에 적용하여 레이더의 신뢰도한계  $R$ 를 산출하면 식(7)과 같다.

$$R = e^{-(0.3125t)^5} \quad (7)$$

항공기의 비행, 점검 등 운영기간의 경과에 따라 레이더의 신뢰도한계  $R$ 은 변화하며, 목표 신뢰도를 유지하기 위해서는 적절한 예방정비 설정이 필요하다.

현재 한국공군에서 운영 중인 항공무기체계 레이더에 대한 예방정비 주기는 설정되어 있지 않으나, 설정되어 있는 항공기 목표 신뢰도를 고려하여 적절한 예방정비 주기를 설정할 수 있다. <Fig. 8>은 항공기 소티가 계속되는 경우의 레이더의 신뢰도한계  $R$ 의 변화를 보여준다.

<Fig. 8>을 보면, 레이더의 신뢰도한계  $R$ 은 5소티 비행 후 감소가 시작되며, 12소티 비행 후 급격하게 신뢰도가 감소되는 것을 확인할 수 있다. 5소티 이전에는 소티 당 평균 1% 내로 신뢰도가 감소하였으나, 6소티~11소티 구간에서는 소티 당 약 2%의 신뢰도가 감소함을 알 수 있다. 12소티 이후에는 소티 당 약 10%의 신뢰도가 감소하였다. 즉, 5소티 이후 목표 신

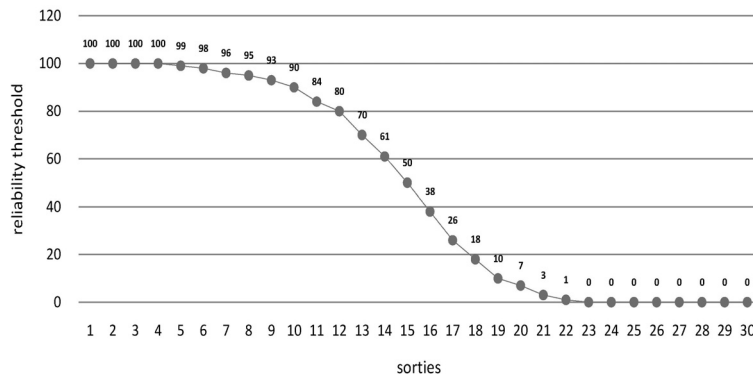


Fig. 8 Reliability threshold vs. sorties

되도 유지를 위한 예방정비 주기 설정이 필요하며, 현재 한국공군의 정비여건(예산, 장비, 인력 등)을 고려한다면, 최소한 12소티 이내에서 예방정비가 이루어져야 한다.

### 5. 최적 예방정비주기에 따른 비용 변화 모델링

레이다의 신뢰도한계  $R$ 의 변화와 식 (5)의 예방정비 주기당 예상되는 비용  $C$ 를 통해 레이다의 예방정비 주기와 비용변화의 관계를 모델링 하였다 모델링 시에 무기체계 F1~F3의 결함자료를 적용하였으며, 가정된 파라미터 값은 <Table 1>과 같다.

여기서, 사용된 값들 중  $R$ 은 한국공군의 항공기 운영 목표 신뢰도를 반영하였으며  $R$ 을 제외한 다른 값들은 항공기 엔진의 예방정비 설정 기준을 참고하였다 현재 레이다는 예방정비 기준이 설정되어 있지 않다 상태기반예측정비 적용을 통해 설정된 레이다의 예방정비주기와 정비비용 간의 관계를 모델링 하면 <Fig. 9>와 같다.

모델링 결과 10회 예방정비 이전에는 주기별로 비용이 크게 감소하는 것을 확인하였으며, 10회 예방정비 이후에는 유사한 수준으로 유지되는 것을 확인하였다. 또한, 동일한 간격으로 예방정비를 수행하는 경우 신뢰도한계  $R$ 을 유지를 위해 초기에는 비용이 많

이 소요되지만, 지속적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 레이다의 신뢰도 유지 목표가 90%이면, 신뢰도가 그 이하로 저하되기 이전인 10소티 비행 이내로 예방정비 주기를 설정해야 하며, 예방정비 최적 횟수는 비용변화 모델링 결과에 따라 만약, 예방정비 예산이 150이라면 주기 내에서 2회(1회 94.25, 2회 45.61)의 예방정비가 가능하며, 예산이 100이라면 주기 내에서 1회의 예방정비가 가능하다.

현재 레이다는 예방정비 주기와 횟수가 정립되어 있지 않으며, 결함 발생 시에만 부품을 교체하는 정비를 수행하고 있으며, 모델링을 통해 목표 신뢰도 유지를 위한 예방정비 주기와 횟수의 설정이 가능하다

### 6. 결론

본 연구는 한국공군이 운영중인 무기체계 F1~F3의 레이다 결함을 분석하여 커넥터 부위에서 진동, 부식 등 기계적 메커니즘에 의해 주로 발생하는 것을 확인하였으며, 운영기간 동안 결함 발생은 와이블분포를 따른다는 것을 확인하였다. 레이다 결함 분석 결과를 바탕으로 기계적 메커니즘에 의한 결함이 주로 발생하는 시스템의 신뢰도 한계 예측에 주로 활용되는 하이브리드 모델을 적용하여 레이다의 신뢰도 한계를 예측한 결과 무기체계 F1~F3의 레이다의 신뢰도는 비행 5소티 이후부터 감소가 시작되며, 12소티 이후부터는 급격하게 감소되는 것을 확인하였다.

한국공군은 레이다가 운영되는 동안에 비행 전·후 점검과 중간점검을 통해서 일정 수준의 반복적인 진단을 수행하고 있어 상태기반예측정비 구현이 가

Table 1 Used parameter value

$T_i$	$R$	$C_1$	$C_2$	$T_0$	$C_3$
6	0.9	100	80	0.5	100

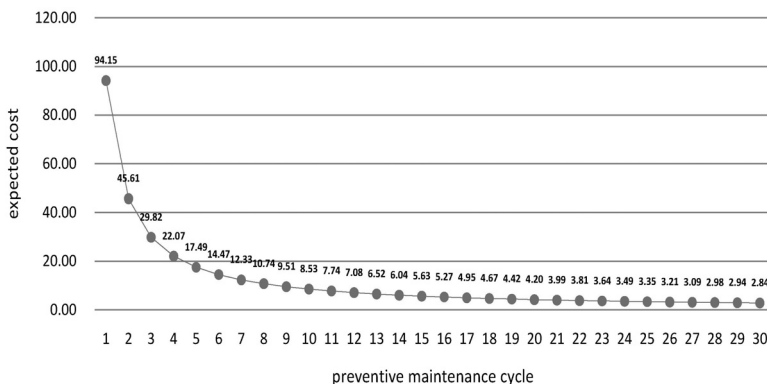


Fig. 9 Expected cost vs. preventive maintenance cycle

능한 조건을 갖추고 있다. 하이브리드 모델을 활용하여 산출된 레이더의 최적 예방주기와 레이더 정비비용 간의 모델링 결과 10회 이내의 예방정비 횟수 유지 시에는 주기별로 비용이 크게 감소하는 것을 확인하였으며, 10회 이상의 예방정비 횟수 유지 시에는 비용이 크게 감소하지 않는다는 것을 확인하였다. 또한, 본 연구는 현재 예방정비 주기와 횟수가 정립되어 있지 않으며, 결함 발생 시에만 부품을 교체하는 정비를 수행하고 있는 레이더에 대하여 신뢰도한계 산출 결과와 신뢰도한계와 비용 간의 모델링 결과를 통하여 운영 예산 내에서의 레이더의 최적 예방정비 주기와 횟수를 결정하는 방법을 제시하고 있다.

향후 무기체계 발전에 따라 항공무기체계에서 항공전자장비가 차지하는 비중은 지속적으로 증가할 것이며, 항공전자장비의 신뢰도 유지를 위한 예방정비의 중요성은 지속 증대될 것이다. 본 연구의 결과는 다양한 항공전자장비의 최적예방정비 주기와 횟수 결정 시 활용 가능하며, 무기체계의 센서 적용방법 연구, 진단 모델 개발 등 상태기반예측정비 구현 방법 개발에 따라 상태기반예측정비를 무기체계에 적용하는데 효과적으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## References

- [1] National Research Council, Division on Engineering and Physical Sciences (2001). "Aging Avionics in Military Aircraft".
- [2] Recht, M. and Ramappan, V. (1992). "Are Components still the major problem: A review of electronic system and device field failure returns". IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, Vol. 15, No. 6. pp. 182-216.
- [3] Moir, A. G. and Seabridge, M. J. (2006). "Military Avionics Systems". Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, John Wiley & Sons Ltd. England, pp. 99-181.
- [4] Lee, W. J. and Lim, D. J., and Shin, I. S. (2017). "Study on the interface data between avionics and AESA RADAR for multi-role fighter". Journal of applied Aeronautical and Space Sciences, pp. 1124-1125.
- [5] Zhou, X., Xi, L., and Lee, J. (2007). "Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation". Reliability Engineering and System Safety, Vol. 92, pp. 530-534.
- [6] Nakagawa, T. (1984). "Optimal policy of continuous and discrete replacement with minimal repair at failure". Nav Res Logist Q, pp. 543-550.
- [7] Canfield, R. V. (1986). "Cost optimization of periodic preventive maintenance". IEEE Trans Reliab, pp. 78-81.
- [8] Sheu, S. H., Griffith, W. S., and Nakagawa, T. (1995). "Extended optimal replacement model with random minimal repair costs". Eur J Oper Res, pp. 425-438.
- [9] Nakagawa, T. (1988). "Sequential imperfect preventive maintenance policies". IEEE Tran Reliab, pp. 295-298.
- [10] Martorell, S., Sanchez, A., and Serradell, V. (1999). "Age dependent reliability model considering effect of maintenance and working condition". Reliab Eng Syst Saf, pp. 19-31.
- [11] Mobley, R. K. (1989). "An introduction to predictive maintenance". New York Butterworth Heinemann.
- [12] Kim, I. S. and Jung, W. (2015). "Comparison of RAM target value and operation data in air weapon system". Journal of applied reliability, Vol. 15, No. 4. pp. 282-288.
- [13] Kirkland, L. L. Pombo, T., Nelson, K. J., and Berghout, F. (2003). "Avionics Health Management; Searching for the Prognostic Grail". IEEEAC Paper No. 1205.
- [14] Jayabalan, V. and Chaudhuri, D. (1992). "Cost optimization of maintenance scheduling for system with assured reliability". IEEE Trans Reliab, pp. 21-25.
- [15] Chan, J. K. (1993). "Modeling repairable systems with failure rates that depends on age and maintenance". IEEE Trans Reliab, pp. 566-571.