



Received: 2026/02/04  
Revised: 2026/02/20  
Accepted: 2026/02/27  
Published: 2026/03/31

**\*Corresponding Author:**

**Yangwoo Seo**

20, Daewangpangyo-ro 851 beon-gil, Sujeong-gu,  
Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

Tel: +82-31-326-9255

Fax: +82-31-326-9001

E-mail: yangwoo.seo2@lignex1.com

# Fail Rate Complexity Method를 활용한 정비도 할당 방안

## A Study on Maintainability Allocation Using the Fail Rate Complexity Method

서양우<sup>1\*</sup>, 이원<sup>1</sup>, 김용국<sup>1</sup>, 최세진<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LIG넥스원 미사일시스템 IPS연구소 수석연구원

<sup>2</sup>LIG넥스원 미사일시스템 IPS연구소 선임연구원

Yangwoo Seo<sup>1\*</sup>, Won Lee<sup>1</sup>, Youngkuk Kim<sup>1</sup>, Sejin Choi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chief research engineer, Missile Systems Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

<sup>2</sup>Research engineer, Missile Systems Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

### 1. 서론

정비도란 규정된 절차 및 자원을 활용하여 주어진 조건하에서 정비하여 그 성능을 원래의 상태로 복구할 수 있는 능력을 측정하는 척도이다[1]. 정비도 할당은 시스템 수준의 정비도 요구사항을 낮은 수준의 조립체에 할당하는 과정이다[2]. 즉, 시스템 요구사항은 각 하위 시스템에 할당되고, 각 하위 시스템의 요구사항은 하위 시스템 내의 구성 요소와 장비에 할당된다. 정비도 할당 업무 수행 시 시스템 아키텍처에 대한 분석 및 시스템, 하위 시스템 등의 특성을 이해해야 한다.

정비도 할당 업무는 램(RAM; reliability availability maintainability) 목표값 설정 업무의 세부 업무로서 정비도 목표값 할당 업무를 수행한다[3]. 정비도 할당은 시스템 수준의 정비도 요구사항을 하위 수준 조립체에 정비도 척도인 평균수리시간(MTTR; mean time to repair)을 배분한다. 이에 따라, 설계자는 주어진 정비도 목표값을 달성하기 위한 수리수준분석 및 정비업무분석의 정비성 설계(DFM; design for maintainability)가 진행되어진다[4].

진행 중인 국내연구개발 사업에서는 시스템 신뢰도 목표값 기반으로 하위 시스템으로 신뢰도 할당[5]을 수행하고 있지만, 시스템 정비도 목표값 기반으로 정비도 할당은 수행하지 못하는 실정이

### Abstract

본 논문은 fail rate complexity method를 활용한 정비도 할당 방안을 제시하였다. K system의 정비도(MTTR) 목표값 4시간 기준으로 하위 장치 8개에 대해 7단계를 거쳐서 정비도를 할당하였다. 또한, 시스템 정비도 목표값 조정 가능여부에 따른 하위 장치의 정비도 할당에 대한 대안분석을 수행하였다. 시스템 정비도 목표값 조정이 가능하면, 시스템 정비도 목표값을 감소/증가 시키면서 해당 품목의 정비도 값을 조정할 수 있다. 또한, 시스템 정비도 목표값 조정이 불가능하면, 해당 품목의 수량을 감소/증가시키면서 정비도 값을 조정할 수 있다. 본 논문의 결과를 활용하면 정비도 목표값 조정 가능여부에 따른 해당 품목의 최적의 정비도 할당을 수행할 수 있다.

This paper presents a method for allocating maintainability using the fail rate complexity. Based on the target value of the K System's maintainability (MTTR) for four hours, the maintainability was allocated to eight sub-equipments through seven steps. In addition, an alternative analysis was undertaken on the allocation of the sub-equipments' maintainability according to whether its target value could be adjusted. If it is possible to adjust this target value, the value of the relevant item can be adjusted while reducing/increasing the target value of the system maintainability. Moreover, if it is impossible to adjust the target value of the system's maintainability, this value can be adjusted by reducing/increasing the quantity of the item. By utilizing the results of this study, the optimal maintainability allocation of the relevant item can be implemented according to whether the maintainability target value can be adjusted.

### Keywords

평균수리시간(Mean Time to Repair), 정비성 설계(Design for Maintainability), 고장률 복잡성 방법(Fail Rate Complexity Method), 고장 간 평균시간(Mean Time Between Failures)

**Table 1.** Maintainability program for systems & equipment

Task Section	Task	Task Descriptions
100 Program Surveillance & Control	101	Maintainability Program Plan
	102	Monitor/Control Subcontractors and Suppliers
	103	Program Review
	104	Data Collection, Analysis and Corrective Action System
200 Design & Analysis	201	Maintainability Modeling
	202	Maintainability Allocations
	203	Maintainability Predictions
	204	Failure Modes and Effects Analysis - Maintainability Information
	205	Maintainability Analysis
	206	Maintainability Design Criteria
	207	Preparation of inputs to the Detailed Maintenance Plan and Logistics Support Analysis
300 Evaluation & Test	301	Maintainability/Testability Demonstration

다. 이에 따라, 시스템 정비도 목표값 기반으로 정비도 할당 방법을 활용한 실질적으로 적용 가능한 정비도 할당 방안이 수립될 필요가 있다.

본 논문은 고장률 복잡성 방법을 활용한 정비도 할당 방안을 제시한다. 또한, 정비도 할당 시 시스템 정비도 목표값 조정 여부에 따른 대안분석을 수행한다.

## 2. 정비도

### 2.1 정비도 프로그램

정비도 프로그램은 100~300업무로 Table 1과 같이 정의하고 있다[6]. 200업무는 설계 및 분석 업무로 그 하위 업무인 202업무는 정비도 할당 업무이다. 이를 수행하는 목적은 정량적 시스템 정비도 요구 사항이 결정되면, 하위 시스템에 정비도가 할당되도록 보장하는 것이다.

정비도 프로그램의 목적은 전투 준비 태세 상태를 개선, 정비 인력 소요 및 총수명주기 비용 절감을 달성할 수 있다.

### 2.2 정비도 할당 방법

#### 2.2.1 Fail Rate Complexity Method

이 방법은 가장 엄격한 정비도 요구 사항(즉, 가장

낮은 정비도 값)이 가장 낮은 신뢰성을 가진 하위 시스템에 할당되고, 반대로 가장 낮은 정비도 요구 사항이 가장 높은 신뢰성을 가진 하위 시스템에 할당되는 방법이다. 이는 가장 복잡한 품목이 가장 높은 고장률이라는 가정 하에 고장률 기반으로 할당한다.

#### 2.1.2 Variation of the Failure Rate Complexity Method

이 방법은 각 품목에 대한 초기 MTTR을 가정하고  $M_{product}$ 를 산출한다. 결과가 요구  $M_{product}$ 와 같거나 낮으면 할당이 완료된다. 그렇지 않으면 각 품목의 MTTR의 새로운 값이 선택되고 산출된  $M_{product}$ 가 요구  $M_{product}$ 와 같거나 낮을 때까지 프로세스가 반복된다. 품목의 MTTR에 대한 초기 값은 이미 사용 중이거나 엔지니어링 추정치를 기반으로 선택한다.

#### 2.1.3 Statistically Based Allocation Method

이 방법의 기본 주요 가정은 품목 내에서 품목의 정비성은 품목 복잡성에 반비례한다는 것이다. 이 방법은 정비 시간, 특히 일반적으로 공급업체의 통제 하에 있는 고장 정비 부분이 로그 정규 분포로 적절히 설명될 수 있다는 가정에 기반한다.

#### 2.1.4 Equal Distribution Method

이 방법은 품목의 고장률이 일정할 때 적용한다. 균등 분배 방법은 단순히 각 하위 품목의 정비도를  $M_{product}$  수준으로 할당한다. 이 방법의 기본 가정은 수리 시간이 고장률과 무관하다는 것이다. 즉, MTTR은 복잡성의 영향을 받지 않는다는 신뢰성 할당에 사용되는 균등 분포 방법과 동일하다.

## 3. A System 기반 하위 장치로 정비도 할당

### 3.1 시스템의 정비도 목표값 설정

정비도 목표값 설정은 시스템에 대한 정비도 척도의 정량적인 값이다. K system의 정비도 목표값(MTTR)은 4시간이다. 단, 방위산업 보안 업무 규정상 K system으로 기술한다.

**Table 2.** Selection of items to maintainability allocation for K system

No.	Item	Failure Rate (failures/10 <sup>6</sup> hrs)	MTBF (hrs)
1	A Equipment	558	1,792
2	B Equipment	197	5,076
3	C Equipment	352	2,841
4	D Equipment	162	6,173
5	E Equipment	264	3,788
6	F Equipment	93	10,753
7	G Equipment	11	90,909
8	H Equipment	49	20,408

### 3.2 정비도 할당 대상 선정

정비도 할당 대상은 K system으로 선정하였다. K system은 하위 장치 8개로 구성되며, 고장률( $\lambda$ ) 및 고장 간 평균시간(MTBF; mean time between failure)은 Table 2와 같다.

### 3.3 정비도 할당 모델 선정

정비도 할당 방법 중 고장률 가중치를 적용하는 fail rate complexity method를 선정하였다.

### 3.4 하위 장치로 정비도 할당

Table 3는 K system의 정비도(MTTR) 목표값 4시

**Table 3.** Allocation using failure rate complexity method

No.	Item	Step 1. Determine No. of Items per Product (N <sub>i</sub> )	Step 2. Identify Failure Rate $\lambda_i \times 10^{-3}$ f/H	Step 3. Calculate Contribution to Total Failure Rate $C_{fi} = N_i \lambda_i \times 10^{-3}$ f/H	Step 4. Express each MTTR (M <sub>i</sub> ) as $(\lambda_i/\lambda_H) \times M_H$	Step 5. Calculate Contribution to System MTTR $C_{Mi} = M_i C_{fi}$
1	A Equipment	1	0.558	0.558	1.26Mc	32Mc
2	B Equipment	1	0.197	0.197	3.57Mc	32Mc
3	C Equipment	2	0.352	0.704	1.00Mc	32Mc
4	D Equipment	1	0.162	0.162	4.35Mc	32Mc
5	E Equipment	2	0.264	0.528	1.33Mc	32Mc
6	F Equipment	1	0.093	0.093	7.57Mc	32Mc
7	G Equipment	2	0.011	0.022	32.00Mc	32Mc
8	H Equipment	1	0.049	0.049	14.37Mc	32Mc
				$\sum C_{fi} = 2.313$	$\sum C_{Mi} = 256Mc$	
Step 6. Solve for M <sub>c</sub> $MTTR_{product} = \sum C_{Mi} / \sum C_{fi} \rightarrow 4 = 256 M_a / 2.313 \rightarrow M_c = 0.036141$ hours						
Step 7. Solve for M <sub>a</sub> , M <sub>b</sub> , M <sub>d</sub> , M <sub>e</sub> , M <sub>f</sub> , M <sub>g</sub> and M <sub>h</sub> $M_a = 1.26 M_c, M_b = 3.57 M_c, M_d = 4.35 M_c, M_e = 1.33 M_c, M_f = 7.57 M_c, M_g = 32 M_c, M_h = 14.37 M_c$						

간 기준으로 하위 장치 8개로 정비도 할당한 결과이다. 분석절차는 다음과 같이 7단계로 수행하였다.

(1) 1단계: 할당이 이루어지는 시스템 내 각 품목의 개수인 N<sub>i</sub>를 결정한다.

(2) 2단계: 각 품목의 고장률을 확인한다.  $\lambda_i$ 의 단위는 10<sup>-3</sup> f/H이다.

(3) 3단계: 식 (1)은  $\lambda_i$ 에 N<sub>i</sub>를 곱하여 품목은 총 고장률에 대한 기여도인 C<sub>fi</sub>를 산출한다.

$$C_{fi} = N_i \lambda_i \tag{1}$$

where

C<sub>fi</sub>: Contribution to total failure rate

N<sub>i</sub>: The number of each item

$\lambda_i$ : The failure rate for each item

(4) 4단계: 식 (2)는 각 품목의 MTTR인 M<sub>i</sub>를 ( $\lambda_H/\lambda_i$ )와 M<sub>H</sub>의 곱으로 산출한다. 여기서 H는 고장률이 가장 높은 품목이다.

$$M_i = \frac{\lambda_H}{\lambda_i} M_H \tag{2}$$

where

M<sub>i</sub>: Each item's MTTR

$\lambda_H$ : The highest failure rate among items

$\lambda_i$ : The failure rate for each item

$M_H$ : MTTR of the item having the highest failure rate

(5) 5단계: 식 (3)은 4단계의 결과값에 각 해당 품목의 고장률을 곱하여  $C_{Mi}$ 를 산출한다.

$$C_{Mi} = M_i C_{fi} \tag{3}$$

where

$C_{Mi}$ : Contribution to system MTTR

$M_i$ : Each item's MTTR

$C_{fi}$ : Contribution to total failure rate

(6) 6단계: 식 (4)를 활용하여 고장률이 가장 높은 항목의 MTTR을 산출한다.

$$MTTR_{Product} = \frac{\sum_i^n C_{Mi}}{\sum_i^n C_{fi}} \tag{4}$$

where

$C_{Mi} = M_i C_{fi}$

$C_{Mi}$ : Contribution to system MTTR

$M_i$ : Each item's MTTR

$C_{fi}$ : Contribution to total failure rate

K system의 정비도(MTTR) 목표값 4시간을 기준으로 C equipment의 정비도 할당값,  $M_c$ 는 0.036141시간으로 할당되었다.

$$MTTR_{Product} = \frac{\sum_i^n C_{Mi}}{\sum_i^n C_{fi}} \tag{5}$$

$$4 = \frac{256 M_c}{2.313}$$

$$M_c = 0.0361 \text{ hours}$$

(7) 7단계: 다른 품목의 MTTR을 산출하기 위해 6 단계에서 산출된 MTTR에  $\lambda_H/\lambda_i$ 를 곱한다. C equip-

ment의 정비도 할당값 기준으로 A, B, D, E, F, G 및 H equipment의 정비도(MTTR)는 아래와 같이 할당되었다.

$$M_a = 1.26 M_c = 1.26 \times 0.0361 = 0.0456 \text{ hours} \tag{6}$$

$$M_b = 3.57 M_c = 3.57 \times 0.0361 = 0.1292 \text{ hours} \tag{7}$$

$$M_d = 4.35 M_c = 4.35 \times 0.0361 = 0.1571 \text{ hours} \tag{8}$$

$$M_e = 1.33 M_c = 1.33 \times 0.0361 = 0.0482 \text{ hours} \tag{9}$$

$$M_f = 7.57 M_c = 7.57 \times 0.0361 = 0.2736 \text{ hours} \tag{10}$$

$$M_g = 32.00 M_c = 32.00 \times 0.0361 = 1.1565 \text{ hours} \tag{11}$$

$$M_h = 14.37 M_c = 14.37 \times 0.0361 = 0.5192 \text{ hours} \tag{12}$$

Fig. 1은 A~H 장치에 대한 fail rate complexity method를 적용하여 정비도 할당한 결과를 top-down 방식의 tree 형태로 작성하였다.

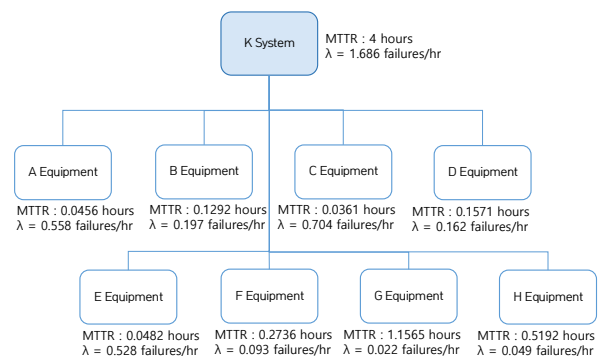


Fig. 1. Results of maintainability allocation

### 4. 대안 분석

본 논문은 시스템의 정비도 목표값 기반으로 fail rate complexity method를 적용하여 각각의 하부 장치에 정비도를 할당하였다. 이 때, 시스템 정비도 목표값 조정 가능여부에 따른 정비도 할당값 추이를 확인하였다.

#### 4.1 시스템 정비도 목표값 조정이 가능한 경우

Table 4는 시스템 정비도 목표값 4시간이 변경가능할 때, 시스템 정비도 목표값 4시간에서 2, 3, 5, 6시간일 때의 정비도 할당값 추이를 분석하였다.

시스템 정비도 목표값을 4시간 대비 1시간 증가시키면 25% 증가된 정비도가 할당되었다. 반대로 시스템 정비도 목표값을 4시간 대비 1시간 감소시키면 25% 감소됨을 확인하였다. 따라서, 시스템 정비도 목표값 조정이 가능한 경우에는 시스템 정비도 목표값을 감소/증가시키면서 해당 품목들의 요구하는 정비

도 값을 선정할 수 있다.

#### 4.2 시스템 정비도 목표값 조정이 불가능한 경우

Table 5는 시스템 정비도 목표값 4시간이 변경 불가능할 때 정비도 할당 품목의 수량을 조정하여 정비도 할당값 추이를 분석하였다. 고장률 크기 순서가 1(A equipment), 4(B equipment), 6(F equipment) 및 8(G equipment)번째 품목의 수량을 1개 증가시키면서 정비도 할당값 추이를 분석하였다.

A equipment의 수량을 1개 추가하면, 해당 품목의 MTTR은 0.62배 줄어든 0.0283이 산출되었고, 나머지 품목들은 MTTR이 1.24배 증가되었다. G equipment의 수량을 1개 추가하면, 해당 품목의 MTTR은 1.01배 증가된 1.1622가 산출되었고, 나머지 품목들은 MTTR이 1.51배 증가되었다.

결과적으로 해당 품목의 정비도 할당값을 감소/증가시키는 것과 상관없이 나머지 품목에 대해서는 정비도 할당값이 동일한 비율로 증가시키는 결과도

Table 4. Results of system’s MTTR can be adjusted

Item	Maintainability allocation(hr)				
	MTTR <sub>product</sub> = 2 hrs	MTTR <sub>product</sub> = 3 hrs	MTTR <sub>product</sub> = 4 hrs	MTTR <sub>product</sub> = 5 hrs	MTTR <sub>product</sub> = 6 hrs
A Equipment	0.0228	0.0342	0.0456	0.0570	0.0684
B Equipment	0.0646	0.0969	0.1292	0.1614	0.1937
C Equipment	0.0181	0.0271	0.0361	0.0452	0.0542
D Equipment	0.0785	0.1178	0.1571	0.1963	0.2356
E Equipment	0.0241	0.0361	0.0482	0.0602	0.0723
F Equipment	0.1368	0.2052	0.2736	0.3420	0.4104
G Equipment	0.5783	0.8674	1.1565	1.4456	1.7348
H Equipment	0.2596	0.3894	0.5192	0.6491	0.7789

Table 5. Results of system’s MTTR can’t be adjusted

Item	Maintainability allocation(hr), MTTR <sub>product</sub> = 4 hrs							
	Increase the quantity of one of A Equipment		Increase the quantity of one of B Equipment		Increase the quantity of one of F Equipment		Increase the quantity of one of G Equipment	
	MTTR	ΔMTTR	MTTR	ΔMTTR	MTTR	ΔMTTR	MTTR	ΔMTTR
A Equipment	0.0283	<b>0.62</b>	0.0495	1.09	0.0474	1.04	0.0687	1.51
B Equipment	0.1603	1.24	0.0701	<b>0.54</b>	0.1343	1.04	0.1947	1.51
C Equipment	0.0449	1.24	0.0392	1.09	0.0376	1.04	0.0545	1.51
D Equipment	0.1949	1.24	0.1704	1.09	0.1634	1.04	0.2367	1.51
E Equipment	0.0598	1.24	0.0523	1.09	0.0501	1.04	0.0726	1.51
F Equipment	0.3396	1.24	0.2969	1.09	0.1423	<b>0.52</b>	0.4124	1.51
G Equipment	1.4354	1.24	1.2550	1.09	1.2030	1.04	1.1622	<b>1.01</b>
H Equipment	0.6445	1.24	0.5635	1.09	0.5401	1.04	0.7827	1.51

출되었다. 이는 해당 품목 수량이 추가되어 기존 고장률이 상승함에 따른 해당 품목의 정비도 할당값을 감소/증가시키며, 나머지 품목들의 정비도 값은 동일한 비율로 상승시키는 결과를 확인하였다. 따라서, 시스템 정비도 목표값 조정이 불가능한 경우에는 해당 품목의 수량을 감소/증가시키면서 요구하는 정비도 값을 선정할 수 있다.

## 5. 결론

후속 군수지원의 비용 효율성을 극대화하기 위해서는 신뢰성 설계 뿐만 아니라 정비성 설계도 포함된 계획이 통합 및 개발되어야 한다. 이는 신뢰도 목표값 할당뿐만 아니라 정비도 목표값 할당까지 수행되어야 실질적인 신뢰성/정비성 설계 활동이 수행될 수 있다.

본 논문은 fail rate complexity method를 활용한 정비도 할당 방안을 제시하였다. K system의 정비도 (MTTR) 목표값 4시간 기준으로 하위 장치 8개에 대해 7단계를 거쳐서 정비도를 할당하였다. 또한, 시스템 정비도 목표값 조정 가능여부에 따른 하위 장치의 정비도 할당에 대한 대안분석을 수행하였다. 시스템 정비도 목표값 조정이 가능하면, 시스템 정비도 목표값을 감소/증가시키면서 해당 품목의 정비도 값을 조

정할 수 있다. 또한, 시스템 정비도 목표값 조정이 불가능하면, 해당 품목의 수량을 감소/증가시키면서 정비도 값을 조정할 수 있다.

본 논문의 결과를 활용하면 정비도 할당 방법론을 적용한 정비도 할당을 수행할 수 있으며, 정비도 목표값 조정 가능여부에 따른 해당 품목의 최적의 정비도 할당을 수행할 수 있다. 또한, 정비도 목표값 할당에 대한 정비도 할당의 대안 제시가 가능하다.

## 참고문헌

- [1] MIL STD 721C, Definitions of Terms for Reliability and Maintainability, Department of Defense, 1981, p. 5.
- [2] MIL HDBK 470A, Designing and Developing Maintainable Products and Systems, Department of Defense, 1997, Chapter 4: Elements of a Maintainability Program, p. 47.
- [3] RAM Guide Book, Weapons System Reliability, Availability, Maintainability Work Manual, Defense Acquisition Program Administration, 2018, p. 27.
- [4] Benjamin S. Blanchard, Logistics Engineering and Management (6th ed.), Pearson Prentice Hall, 2004, p. 285.
- [5] MIL HDBK 338B, Electrical Reliability Design Handbook, Section 6: Reliability Specification, Allocation, Modeling and Prediction, Department of Defense, 1998, pp. 7-19.
- [6] MIL STD 470B, Maintainability Program for Systems and Equipment, Department of Defense, 1989, Chapter 4: Elements of a Maintainability Program, pp. 11-42.