

신뢰성-비용 매트릭스를 이용한 항공전자장비의 신뢰성 평가 및 개선 프로세스 연구

조인탁* · 이상천**† · 박중훈*** · 배성문**

* 한국항공우주산업

** 경상대학교 산업시스템공학부

*** 대구가톨릭대학교 경영학과

A Study on Reliability Evaluation and Improvement Process of Aerospace Electronic Equipments using Operational Reliability-Cost Matrix

In-Tak Jo* · Sang-Cheon Lee**† · Jong-Hun Park*** · Sung-Moon Bae**

* Korea Aerospace Industries, LTD.,

** Division of Industrial Systems Engineering, ERI, Gyeongsang National University,

*** Department of Business Administration, Catholic University of Daegu

ABSTRACT

Purpose: The conventional predicted MFTBF by military standard has a wide discrepancy to that of real-world operation, which leads to overstock and increase operation cost. This paper introduces a analyzing frame using operational reliability and cost data to overcome the discrepancy, and provides reliability improvement process employing the analyzing frame.

Methods: This paper suggests Reliability-Cost Matrix (R-C Matrix) and Operational Reliability & Cost Index (ORCI) as a tool for reliability evaluation.

Results: KOREIP(KAI's Operational Reliability Evaluation and Improvement Process) is developed employing Reliability-Cost Matrix and Operational Reliability & Cost Index.

Conclusion: KOREIP provides a process and its activities based on Reliability-Cost Matrix frame. The process and activities leads reliability improvement of aerospace electronic equipments by means of categorizing and follow-up action based on the concept of frame.

Key Words: Operational Reliability, Reliability Improvement Process, Reliability-Cost Matrix, Aerospace Electronic Equipments

● Received 16 October 2014, 1st revised 17 November 2014, accepted 28 November 2014

† Corresponding Author(sclee@gnu.ac.kr)

© 2014, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

우리나라의 항공 산업은 1990년대 고등훈련기를 독자적으로 개발하면서부터 본격적으로 발전하기 시작하였다. 2000년대에는 국내 항공기 생산업체가 전술훈련기와 헬기를 개발, 납품하여 이제는 공군과 육군에서 운용하는 항공기의 상당수를 국내에서 개발된 제품이 차지하고 있고 그 비율도 계속 증가하고 있는 실정이다. 우리나라의 이러한 항공 산업의 발전과정에서, 비행하는 물체라는 속성적 특성과 군수장비라는 운용적 특성으로 인해, 항공기의 신뢰성은 항상 주요한 관심사항이었다.

항공기를 국산화 하는 것이 주요 관심사였던 개발 초기에는, 납품하기 전에 항공기를 구성하는 부품이나 장비에 대한 신뢰성을 예측함으로써 고객이 원하는 수명을 만족하는지의 여부를 예측하거나, 해당 장비의 임무성공률(Mission success rate) 또는 가동률(Availability)의 관점에서 해당 지표를 계산하고 관리하려는 노력들이 주를 이루었으며(Jo et al., 2012), 이러한 신뢰성예측과 관련된 연구는 MIL-HDBK-217F(1991)와 MIL-HDBK-338B(1998)와 같은 밀리터리규격(Military standard)이 제공하는 값들을 기반으로 이루어져 왔다(Park et al., 1997). 그러나 항공기를 구성하는 대부분의 전자 장비 내 부품은 급속하게 품질 및 성능이 좋아지고 종류도 다양화되고 있는 반면, 위에 언급된 밀리터리규격은 그 속도를 반영하지 못하며 또한 1990년대 중반 이후로는 개정이 되지 않고 있어 그 정확도가 점점 떨어지고 있는 추세이다(Jeon, 2009).

항공기의 개발과 운영의 역사가 오래되어 실제 항공기 운용 자료를 확보하고 있는 항공 선진국들의 연구들 역시 밀리터리규격을 적용한 신뢰성예측의 한계를 지적하고 있으며(Kern, 1978), 이러한 신뢰도의 부정확한 예측은 최초 예비부품의 공급 및 조달에 문제를 발생시켜 운용준비태세를 저하시키고 높은 수명주기비용을 초래 할 수 있다고 주장하였다(Cougan & Kindig, 1979). 또한 이러한 한계를 보완하기 위한 다양한 방법들이 Ma(1988), Miller & Moore(1991), Jin & Su(2005), Jeon(2011) 등에 의해 제시되었으며, 최근에는 실제 운용 자료의 활용방안에 대해서도 제시되고 있다(Raghuram, 2008).

최근에는 국내 항공 산업에서도 신뢰성 예측의 한계를 극복하려는 다양한 연구가 진행되고 있다(Kim et al., 2009; Jo et al., 2012; Jo et al., 2013). 특히 Jo et al.(2012)은 국내 항공기 전자장비의 실제 운용 자료를 사용하여 운용수명을 추정하여 밀리터리규격을 사용한 예측수명 비교함으로써, 국내 역시 예측수명과 실제 운용수명사이엔 큰 차이가 있음을 실제로 증명하였으며, 추가연구(Jo et al., 2013)를 통해 국산 항공기에서 사용하는 항공전자장비의 운용 고장률 추세를 분석하고 그 결과를 통하여 국내 항공기 산업에서도 운용 자료를 사용한 신뢰성 분석이 필요한 시점이라는 점을 주장하였다.

현재 국내 항공 산업은 단순히 개발하고 생산하여 납품하는 단계에서 항공기의 운용가동률을 유지하고 재고를 최소화 및 적기 성능개선 등을 통한 운용유지비용의 최소화 등의 운영의 효율성을 제고하는 단계로 성장하였으나, 최근까지도 국내 항공장비에 대한 충분한 운용 자료의 확보가 어려워 선진사가 제공하는 제한적인 자료나 밀리터리규격에 의존하고 있으며, 이는 과도한 재고의 보유를 초래하거나 반대로 적시에 부품을 공급 받지 못하는 등 운용유지비용의 불필요한 증가를 야기 시키고 있는 실정이다. 그러나 국내 항공기산업에서도 운용되고 있는 항공기가 점점 증가하고 있어 국내 항공장비의 운용 자료의 확보가 점차 용이해 지고 있으며, 따라서 운용 자료를 활용한 분석을 통하여 항공기 운영의 효율성 제고를 꾀할 때가 되었다고 판단된다.

타 무기체계의 경우 사용가능성, 안전성, 성능을 분석하여 신뢰성을 평가한 사례도 있지만(Yun & Lee, 2012), 항공기는 고가의 제품이기 때문에 운영의 효율성은 항공기가 필요할 때 사용할 수 있는냐의 여부가 중요한 요인이 되며, 이는 항공기의 가동률로 평가된다. 따라서 운용 자료로부터 신뢰성을 평가하여 항공기의 운영 효율성을 확보하는 과정은 다음과 같은 접근이 가능하다. 첫째, 만약 해당 부품이 어느 정도의 안정된 신뢰성 수준을 확보한 상황

이러면, 운영 자료로부터 획득한 신뢰성 척도를 기반으로 항공기의 가동률을 확보하기 위한 예방보수정책 또는 예비 부품의 적정한 재고관리정책을 고려함으로써 운영 효율성을 확보할 수 있을 것이다. 특히 해당 부품의 가격이나 수리비와 같은 비용적 부담이 클 경우 재고관리의 운용이 비용절감에 큰 영향을 미치게 될 것이다. 둘째, 만약 해당 부품이 어느 정도의 안정된 신뢰성 수준을 확보하지 못한 상황이라면, 이는 항공기의 가동률에 큰 영향을 미치게 되므로 해당 부품의 신뢰성을 향상시키기 위한 노력과 높은 고장가능성을 대비하기 위한 예비 부품의 안정적 확보가 필요하게 된다. 이때, 해당 부품의 가격이나 수리비와 같은 비용적 측면을 고려하여 비용부담이 큰 부품을 우선적으로 신뢰성 개선작업을 실시하고, 비용부담이 적은 부품은 예비부품의 재고관리를 통해 가동률을 확보하면서 상대적으로 여유 있게 신뢰성 개선작업을 실시할 수 있다.

이러한 접근은 항공기에만 국한되는 것이 아니라 가용성을 중요하게 여기는 모든 시스템에 적용될 수 있으며, 결론적으로 가용성이 중요하게 고려되는 시스템에서는 운영 효율성을 제고하기 위해 해당 부품의 신뢰성과 비용을 동시에 고려하는 것이 바람직함을 의미한다. 또한 신뢰성과 비용을 동시에 고려함으로써 해당 부품의 개선 우선도(priority)와 예비부품의 재고관리방안이 결정될 수 있음을 확인하였으며, 이에 본 논문에서는 실제 운용 자료를 사용하여 국내 항공전자장비의 신뢰성을 평가하고 개선하기 위한 방법론을 소개하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 항공기 운영의 효율성을 평가하기 위해 실제 운용 자료를 사용하여 도출하는 지표인 운용 고장률과 운영 신뢰성비용의 개념을 소개하고, 3장에서는 2장에서 소개된 운용 고장률과 운영 신뢰성비용을 두 축으로 하는 신뢰성-비용 매트릭스(Operational Reliability-Cost Matrix; R-C Matrix)의 개념과 해당 개념을 신뢰성 개선을 위한 평가지표로 변환하기 위한 운용신뢰성비용지수(Operational Reliability Cost Index; ORCI)를 소개하고, 실제 운용 자료를 적용한 결과를 제시함으로써 해당 개념의 적용가능성을 보이려 하였다. 4장에서는 3장에서 제시된 R-C Matrix와 운용신뢰성비용지수를 기반으로 항공전자장비의 신뢰성을 개선하기 위한 프로세스를 정의하고, 해당 프로세스를 실제로 구현한 KOREIP(KAI's Operational Reliability Evaluation and Improvement Process)를 소개한다. 마지막으로 본 연구의 의의와 기여점을 결론에서 기술하였다.

2. 항공전자장비의 운용 신뢰성 자료 분석

본 장에서는 항공기의 가동률과 유지비용을 평가하기 위한 주요지표인 운용 고장률과 운영 신뢰성비용의 개념을 소개하고 해당 지표들이 실제 운용 자료로부터 계산되는 과정을 확인한다. 이를 통해 3장에서 소개될 R-C Matrix의 개념적 이해를 돕고자한다.

2.1 운용 MFTBF와 운용 고장률

항공기를 대상으로 하는 고장 및 신뢰성 분석에서 주로 사용되는 신뢰성 지표는 고장 간 평균시간(Mean Time Between Failure; MTBF)와 고장 간 평균비행시간(Mean Flight Time Between Failure; MFTBF)가 대표적이다. KS A 3004에서는 MTBF를 '수리가능시스템의 서로 이웃하는 고장 간 동작시간의 평균값'으로 정의하고 있으며 실제 운용 자료를 사용하는 경우 식 (1)과 같이 계산된다.

$$MTBF = \frac{\text{총 운용시간}}{\text{발생고장수}} \quad (1)$$

예를 들어 전자장비가 총 1000시간을 사용하였는데 그 사이에 5번이 고장이 났다면 $1000/5=200$ 이므로 이 장비

의 MTBF는 200이 된다.

그러나 항공전자장비의 경우, 항공기 수명주기 동안 계속 운용하는 구조물이 아니라 항공기에 장착되어 항공기가 동작 될 경우에만 작동되는 장비이기 때문에 항공기의 종류 및 운용환경에 따라 실제 운영 MTBF가 매우 다르게 나타난다. 따라서 항공기의 운용환경을 고려하여 신뢰성척도를 고려해야 하는데 이때 사용하는 신뢰성 척도가 MFTBF이며(Kim, 2009), 항공 산업에서는 MTBF보다는 비행시간을 고려한 MFTBF가 더 의미 있는 신뢰성척도로 사용된다. 따라서 시간(time)을 비행시간(Flight time)으로 환산하는 과정이 필요한데, 자세한 과정은 Jo et al.(2012)에서 확인할 수 있다. 운용 고장률은 MFTBF의 역수를 이용하여 계산하며, 항공전자장비 산업에서는 일반적으로 백만 시간당 발생할 수 있는 고장수를 의미한다.

2.2 운영 신뢰성비용

무기체계의 운영유지비용은 일반적으로 인건비, 소모품비, 창정비비, 직접지원비, 간접지원비로 구성되며(Gilmore & Valaika, 1992), 이 중 신뢰성 비용은 부품의 고장발생조치와 관련한 정비 관련 비용으로 정의한다. 따라서 기존의 운영유지비용의 항목 중, 인건비, 소모품비, 창정비비가 신뢰성 비용에 속한다고 볼 수 있다. 이러한 운영 신뢰성비용은 비용을 관리 및 산정하는 부서를 통해 획득이 가능하며, 항공전자장비 산업에서는 일반적으로 운영 신뢰성비용으로 평균 수리비용의 개념을 사용하며, 이는 운영기간 동안 발생한 총 수리비용에서 고유고장수를 나누어준 값으로 고장이 1회 발생할 때 그 장비를 수리하기 위해 소요되는 인건비, 소모품비, 창정비비를 의미한다.

3. 항공기 전자장비의 운용 신뢰성 평가

본 장에서는 2장에서 설명한 운용 고장률과 운영 신뢰성비용을 두 축으로 하는 R-C Matrix의 개념과 해당 개념을 신뢰성 개선을 위한 평가지표로 변환하기 위한 운용신뢰성비용지수를 소개하고, 실제 운용 자료를 적용한 결과를 제시함으로써 해당 개념의 적용가능성을 보였다.

3.1 신뢰성-비용 매트릭스(Reliability-Cost Matrix; R-C Matrix)

R-C Matrix는 시스템의 물리적 속성을 표현하는 운용 고장률과 시스템의 운영적 속성을 표현하는 운영 신뢰성비용을 두 축으로 하고 있다. 일반적으로 운용 고장률은 운용시간이 길어질수록 값이 점점 커질 것이고 고장이 많이 발생할수록 운영 신뢰성비용도 많이 발생할 것으로 예상된다. 따라서 이 두 가지 요인(Factor)의 특성과 특정 기준선을 활용하면 Figure 1과 같이 설계개선 고려 구역, 가동률 중점 관리 구역, 재고중점 관리 구역, 일반 관리 구역으로 4개의 구간으로 나눌 수 있으며 각 구간은 다음과 같은 특징을 가진다. 이때, 기준선은 초기에는 전체 대상 품목의 평균값을 사용하거나 각 장비들의 특성을 고려하여 경험적 수치를 사용하며, 항공전자장비를 대상으로 하는 본 논문에서 각 기준 값이 의미하는 바는 다음과 같다.

- 운용 고장률 기준: 항공기를 운영하는 고객의 입장에서 가동률에 영향을 미친다고 생각하는 장비의 고장률 수준
(즉, 이 수준보다 고장률이 높을 경우 고장이 많이 발생한다고 인식을 하게 되는 수준)
- 운영 신뢰성비용 기준: 항공기 내 전체 장비의 평균 수리비용

Operational reliability cost

High	Inventory Control Area	Design Improvement Area
Low	General Control Area	Availability Control Area
	Low	High

Operational failure-rate

Figure 1. Reliability–Cost Matrix

(1) 설계개선 고려 구역(Design Improvement Area)

운용 고장률과 운영 신뢰성비용 둘 다 기준 값보다 높은 구역이다. 이 구역에 속하게 되는 품목은 대체로 고가의 장비가 고장이 많은 경우이거나 혹은 고가의 장비가 아니더라도 수리가 상당히 많이 발생하는 품목으로서 운영비용과 가동률에 매우 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 여기에 속한 품목은 우선관리 대상으로 분류하고, 설계개선과 같은 신뢰성 개선 및 운영비용 절감을 위한 적극적인 관리를 고려해야 할 품목으로 여겨진다.

(2) 가동률중점 관리 구역(Availability Control Area)

운용 고장률은 높지만 운영 신뢰성비용이 낮은 구역이다. 이 구역에 속하게 되는 품목은 어느 정도 고장이 많이 발생하지만 대부분 저가의 부품이라 수리비용과 같은 운영 신뢰성비용도 낮다. 여기에 속하는 부품은 고장이 많이 발생하여 가동률에 영향을 많이 미치게 되지만 구매획득비용이 크지 않다면 충분한 재고를 확보하여 가동률에 영향이 없도록 해주는 것이 더욱 효과적이라고 할 수 있다.

(3) 재고중점 관리 구역(Inventory Control Area)

운용 고장률은 낮지만 운영 신뢰성비용이 기준보다 높은 구역이다. 이 구역에 속하는 품목의 특징은 대부분 고가의 품목이면서 고장이 많지 않은 품목이다. 이러한 품목은 재고를 여유 있게 확보하면 자칫 잉여재고로 남아있을 가능성이 많기 때문에 정확한 소요예측 분석을 통해 최소의 재고를 확보하고 수리기간을 최적화하는 활동이 필요하다.

(4) 일반 관리 구역(General Control Area)

운용 고장률과 운영 신뢰성비용이 기준보다 낮은 구역이다. 일반적으로 안정화되어 있고 기준에 개발되어 있는 상용부품의 대부분이 여기에 속하며 특별한 관리가 필요하지 않다. 하지만 운영기간이 길어지면 여기에 속한 품목이 다른 구역으로 이동할 가능성이 높아지므로 주기적으로 모니터링 하는 정도의 관리가 필요하다.

Table 1은 현재 국내에서 개발되어 운용하고 있는 군훈련기의 운용 자료 중, 통계적으로 유의하다고 판단될 정도의 고장수를 가진 항공전자장비 6개 품목을 대상으로 MFTBF와 운용 고장률 그리고 운용 신뢰성비용(평균수리비용)을 산출한 결과이다.

Table 1. Failure Rate and Repair Cost of the Items

Item	MFTBF (시간)	Operational Failure rate ($\times 10^{-6}$)	Average repair cost
A	2,237	447	\$2,454.5
B	4,717	212	\$3,454.5
C	839	1,192	\$12,727.3
D	1,498	668	\$1,818.2
E	523	1,912	\$17,272.7
F	562	1,779	\$33,636.4

Figure 2는 Table 1의 결과를 사용하여 운용 고장률과 평균수리비용을 두 축으로 하는 X-Y Chart를 그리고 각 품목을 그 위에 매핑(Mapping)한 것이다.

Average repair cost(\$)

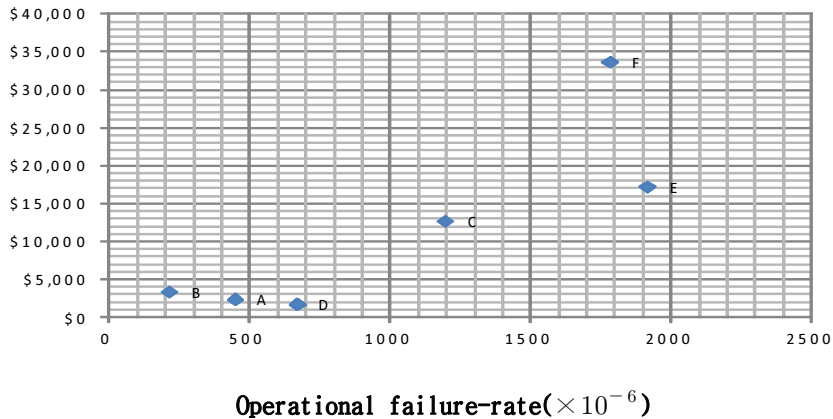


Figure 2. Failure Rate(X)-Repair Cost(Y) Chart

Figure 2에서 볼 수 있듯이 6개 품목이 X-Y Chart상에 넓게 퍼져 있음을 확인 할 수 있으며, Figure 3에서는 각각의 품목들을 R-C Matrix의 각 영역에 위치시켜 보았다. 이때 운용 고장률과 운영 신뢰성비용의 기준선은 앞에서 제시한 기준에 맞춰 계산한 결과, 운용 고장률의 기준점은 500×10^{-6} , 운영 신뢰성비용의 기준점은 \$11,894로 설정되었다.

대상 품목이 R-C Matrix에 위치한 결과를 보면 A, B품목이 일반 관리 구역에 포함되어 있고, D품목이 가동률중점 관리 구역에, 그리고 C, E, F품목이 설계개선 고려 구역에 포함되어 있음을 알 수 있다. 즉, C, E, F품목은 다른 장비들에 비하여 고장도 자주 발생하고, 운영 신뢰성비용도 높은 편이므로 운영비용과 가동률에 매우 큰 영향을 미치는 품목임을 알 수 있다. 따라서 신뢰성 개선이나 운용비용 절감의 대상으로 분류하여 상세한 고장탐구 및 분석을 통해 설계개선 조치를 취하는 등의 우선 관리를 할 필요가 있음을 의미한다. 같은 개념으로 D품목은 고장은 자주 발생하지만 운영 신뢰성비용이 상대적으로 저렴하므로 약간의 여유재고를 확보하는 방법으로 운영비용의 큰 증가 없이 가동률 확보가 가능한 품목임을 의미한다. 마지막으로 A, B품목의 경우 운용 고장률과 운영 신뢰성비용 모두가 기준보다 낮은 안정화된 품목으로 판단되므로 특별한 관리 보다는 운영기간이 길어지면서 발생할 수 있는 운용 고장률의 증가와 그로인한 다른 구역으로의 이동을 파악하기 위한 주기적인 모니터링 정도가 필요하다고 할 수 있다.

Operational reliability cost

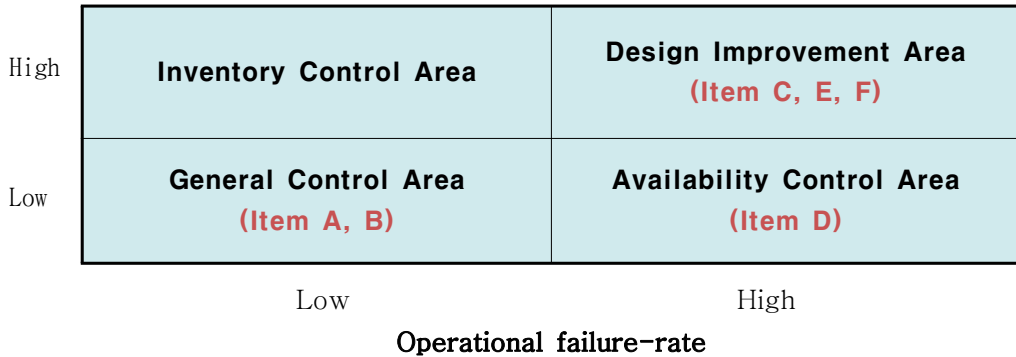


Figure 3. Positioning Analysis of the Items using Reliability–Cost Matrix

3.2 운용신뢰성비용지수(Operational Reliability Cost Index, ORCI)

R-C Matrix를 사용한 포지셔닝분석(Positioning analysis)은 현재 시점에서 해당 부품이나 장비가 가동률 또는 운영비용에 미치는 영향을 파악하고 이에 따른 조치를 취할 수 있도록 해 준다. 그러나 일반적으로 운용 고장률은 운용시간이 길어질수록 값이 점점 커지는 경향이 있고, 다수의 고장은 운영 신뢰성비용의 증가를 초래하게 된다. 또한 운영 신뢰성비용에서 고려하는 인건비, 재료비, 경비 등도 역시 시간이 흐름에 따라 변화할 수 있다. 이는 특정 장비에 대한 R-C Matrix의 포지셔닝분석 결과는 고정적인 것이 아니라 해당 장비의 운영 시간이 증가함에 따라 변화할 가능성이 존재함을 의미한다. 그러나 R-C Matrix는 대상 장비의 운용 고장률과 운영 신뢰성비용, 두 개의 차원에 대한 상대적인 포지셔닝을 제공하기 때문에 운용 시간의 변화에 따른 포지셔닝을 추적하기에는 어려움이 있다. 따라서 운영 시간의 변화에 따른 동태적분석(Dynamic analysis)을 하기위한 지표가 요구되고, 본 논문에서는 운용신뢰성비용지수(Operational Reliability Cost Index; ORCI)라는 개념을 식 (2)와 같이 정의하였다.

$$\text{운용신뢰성비용지수(ORCI)} = \text{운영 신뢰성비용} \times \text{고장횟수/비행시간} \tag{2}$$

식 (2)에서 평균 운영 신뢰성비용은 1회 고장발생시 운영 신뢰성비용을 의미하고, 비행시간에 대한 고장횟수의 비율은 단위 비행시간 당 고장횟수를 의미한다. 따라서 운용신뢰성비용지수는 단위 비행시간 당 운영 신뢰성비용을 의미한다. 즉, 운용신뢰성비용지수는 하나의 장비가 단위 비행시간 동안의 정상작동을 위해 요구되는 비용을 의미하며, 이 비용이 높을수록 해당 장비를 우선 관리할 필요가 있음을 의미한다. 또한, 운용 고장률이나 운영 신뢰성비용 중 어떠한 요인 하나라도 커지면 운용신뢰성비용지수도 증가하고 해당 장비가 R-C Matrix에서 1사분면(설계개선 고려구역)에 존재할 가능성이 커진다. 따라서 운용신뢰성비용지수를 활용하면 각 장비의 현재 상태를 파악할 수 있음은 물론, 운용신뢰성비용지수의 시간에 따른 변화 추이를 살펴봄으로써 해당 장비의 비용 효율성의 변화추세를 예측 할 수 있는 동태적분석이 가능하다.

Table 2는 3.1절에서 R-C Matrix 포지셔닝분석을 실시했던 항공전자장비 6개 품목의 운용신뢰성비용지수를 계산한 결과이다. Table 2의 결과에서 확인 할 수 있듯이, R-C Matrix 포지셔닝분석에서 우선관리 대상으로 분류되는 설계개선 고려구역에 포함된 C, E, F품목의 운용신뢰성비용지수가 다른 품목들에 비해 월등히 큼을 알 수 있으며, 이는 운용신뢰성지수가 운영 시간의 변화에 따른 비용 효율성의 변화를 파악하는 동태적분석의 지표로서의 기능을 가지고 있음을 확인하게 해 준다.

Table 2. Operational Reliability Cost Index(ORCI)

Item	Operational reliability cost	# of failure	Flight time (시간)	ORCI
A	\$2,454.5	42	46975	2.19
B	\$3,454.5	81	47758	5.86
C	\$12,727.3	114	47822	30.34
D	\$1,818.2	63	47190	2.43
E	\$17,272.7	89	46049	33.38
F	\$33,636.4	84	47225	59.83

Figure 4-9는 6개의 품목에 대해 2006년부터 2012년까지 연도별 운용신뢰성비용지수의 변화추이를 분석한 것으로, 일반 관리 구역에 포함된 A, B품목의 경우 운용신뢰성비용지수가 10을 넘지 않음을 알 수 있다. 하지만 같이 일반 관리 구역에 포함된 품목이라 하더라도 A품목의 경우 지속적으로 운용신뢰성비용지수가 감소하는 반면, B품목의 경우 2009년 이후 지속적으로 증가하고 있으며 이는 향후 관리에 조금 더 관심을 기울여야하는 R-C Matrix의 다른 구역으로 이동할 가능성이 있음을 의미한다. 따라서 A품목에 비해 조금 더 관심을 가지고 관찰할 필요가 있다. 가동률 중점 관리구역에 포함된 D품목의 경우 2010년 이후 운용신뢰성비용지수가 꾸준히 증가하고 있지만 아직 그 값이 그리 크지 않으므로, 관리의 관점을 재고부족으로 인해 가동률에 영향을 미치지 않도록 하는 방향으로 설정하여 관리 및 모니터링 할 필요가 있다.

다음으로 개선대상 구역에 포함된 C, E, F품목의 운용신뢰성비용지수를 살펴보면, C품목은 2007년부터 조금씩 증가하다가 2010년 이후 미세한 감소를 보이고 있고, E품목의 경우 2007년에 급격하게 증가가 있었지만 그 이후 감소하다가 2010년 이후 큰 변동이 없으며, F품목은 운용초기에 운용신뢰성비용지수가 상당히 높았지만 그 이후 감소하였고 2010년 다시 증가하였지만 그 이후 지속적인 감소세를 보이고 있다. 즉, C, E, F품목은 초기 운용기간을 지나고 어느 정도의 안정화 추세를 보이고 있기는 하나 기본적으로 운용신뢰성비용지수가 높은 품목으로 판단할 수 있으며, 따라서 설계개선 등을 통한 지속적 신뢰성 개선 및 운영비용의 절감을 시도해야 할 것으로 판단된다. 실제, F품목의 경우 현장에서 설계개선이 필요하다고 판단되어 설계개선 활동을 추진하고 있음이 파악되기도 하였다.

이상의 분석과 해석을 통해 알 수 있듯이 R-C Matrix 포지셔닝분석과 운용신뢰성비용지수를 활용한 추세분석은 각 부품의 현재 상태와 향후 부품의 상태를 예측해 볼 수 있는 매우 유용한 지표임을 알 수 있었다. 또한 이러한 결과를 활용하면 향후 성능개량품목을 미리 파악하여 준비하거나, 선행관리를 통해 성능개량 로드맵을 구축하여 필요한 예산을 사전에 확보하는 것이 가능할 것이라 판단된다.

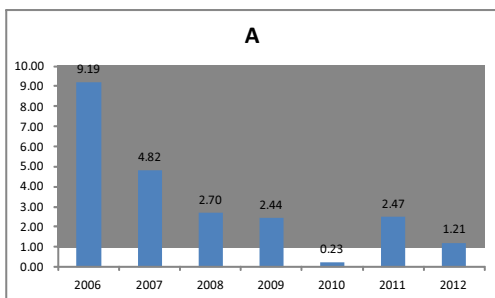


Figure 4. ORCI Trend by Years of A

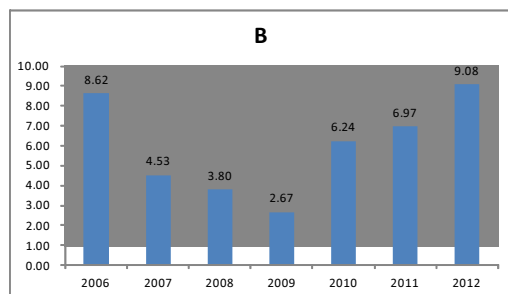


Figure 5. ORCI Trend by Years of B

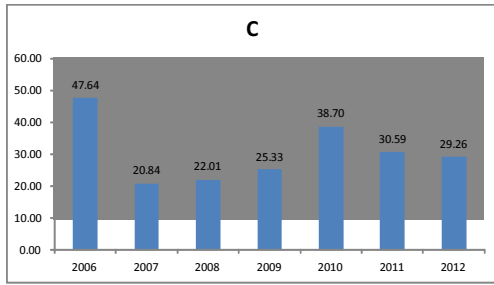


Figure 6. ORCI Trend by Years of C

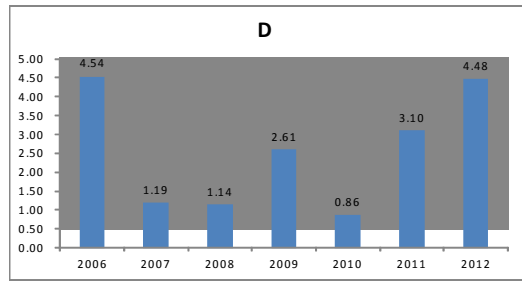


Figure 7. ORCI Trend by Years of D

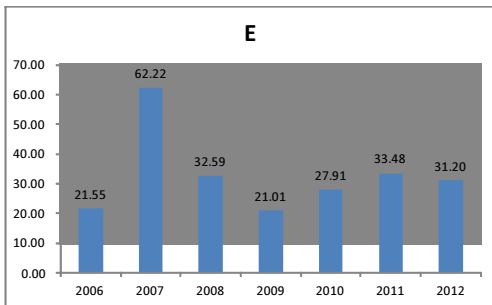


Figure 8. ORCI Trend by Years of E

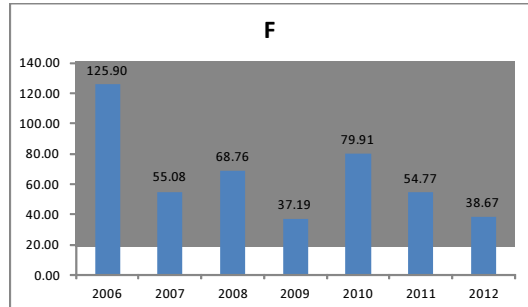


Figure 9. ORCI Trend by Years of F

4. 항공기 전자장비의 신뢰성 개선 프로세스 수립

본 장에서는 R-C Matrix와 운용신뢰성비용지수를 활용하여 항공전자장비의 신뢰성을 평가하고 개선하는 프로세스를 실제로 구축한 한국항공우주산업주식회사의 KOREIP(KAI's Operational Reliability Evaluation & Improvement Process)를 소개한다. 한국항공우주산업주식회사(Korea Aerospace Industries, LTD.; KAI)는 1999년 설립된 한국의 항공기 시스템 중핵업체로서 주요 사업은 항공기 부품 및 완제품 제조와 판매이며 현재 국내외 T-50을 비롯한 훈련기를 생산, 판매하고 있으며 지속적으로 사업규모를 확대해가고 있는 국내 최대항공업체이다.

4.1 KOREIP(KAI's Operational Reliability Evaluation & Improvement Process)

항공기 장비가 운용 중 고장이 발생하게 되면 발생내용 및 조치 등을 기록하고 그 운용 자료를 보정작업을 거친 후 운용분석을 수행한다. 이렇게 실시한 분석결과를 토대로 운용신뢰성비용지수를 산출하고 R-C Matrix 포지셔닝 분석과 운용신뢰성비용지수 추세분석을 통해 문제점을 도출하여 그 문제점을 해결하기 위한 여러 가지 현상 및 환경 분석을 실시한다. 예를 들면, 단종 여부, 설계변경가능성 여부를 검토하거나 수리부속 재고 적절성 등을 분석하고 수리 후 회수 기간을 확인한다. 이러한 작업을 거쳐 개선안을 도출하게 되면 설계변경 혹은 성능개조 및 개량을 계획하여 추진하거나 필요시 전자장비의 재고를 추가 확보하기도 한다.

이러한 신뢰성 평가 및 개선 활동을 Figure 10와 같이 자료 획득, 신뢰성분석, ORCI평가, 조치방향 수립, 조치활동으로 나누어 수행할 수 있도록 프로세스를 수립하고 이를 KOREIP(KAI's Operational Reliability Evaluation & Improvement Process)으로 정의하였다.

① 자료 획득

항공기의 운용 자료는 기지별 가동률 현황, 결함 및 결품 현황, 고장정보 및 정비이력 현황, 보급지원 현황, 고객 불만족 현황 등이 있으며 이러한 운영 자료는 고장 등의 이벤트가 발생할 경우 그 현상 및 조치사항을 직접 기지에서 입력하여 관리한다. 그리고 획득, 보정이 완료된 자료는 데이터베이스화하여 관리 및 유지할 수 있도록 한다.

② 신뢰성 분석

획득된 자료로부터 신뢰성 및 운영비용과 관련된 지표들을 도출한다. 주로 실시하는 분석은 가동률 분석, 고장분석, 신뢰성추세 분석, 소요예측, 비용분석 등이 있다.

③ 운용신뢰성비용지수(ORCI) 평가

운용신뢰성 분석을 통해 도출된 운용 고장률과 운영 신뢰성비용을 연계하여 운용신뢰성비용지수를 산출하고, R-C Matrix 포지셔닝분석을 통해 개선대상품목, 재고관리품목, 가동률 관리품목, 일반 관리품목 리스트를 작성한다.

④ 조치방향 수립

이 단계에서는 항공기 운용수명을 고려하여 장기적 관점에서 운영유지비용을 고려하여야 하고 문제가 재발되지 않도록 단종시기와 기능적인 부분도 검토가 요구된다. 또한 개선대상품목의 경우 하위 부품의 단종 여부를 살펴보고 재고관리품목의 경우 현재 재고현황을 확인해 보아야 한다. 그리고 가동률 관리품목의 경우, 여력이 된다면 가능한 재고를 여유 있게 유지하는 것이 가동률 향상에 효과적일 수 있으므로 그 적절성을 확인해 본다.

⑤ 조치 활동

조치방향수립이 끝나면 문제가 재발하지 않도록 개선활동을 실시하거나 후속조치를 실시하여야 한다. 후속조치로서는 설계개선, 성능개조 및 개량 등의 기술적 조치방법과 소요 예측을 통한 부품 추가 확보 혹은 재고의 관리, 사용자 매뉴얼, 제반 장비의 수리 등 요소기술 보완 등의 조치를 취해주어야 한다. 이렇게 개선 및 조치 내용을 결정하게 되면 고객과 협의를 통해 소요비용, 가동률 등을 고려하여 개선 및 후속조치 활동을 추진하면 된다.

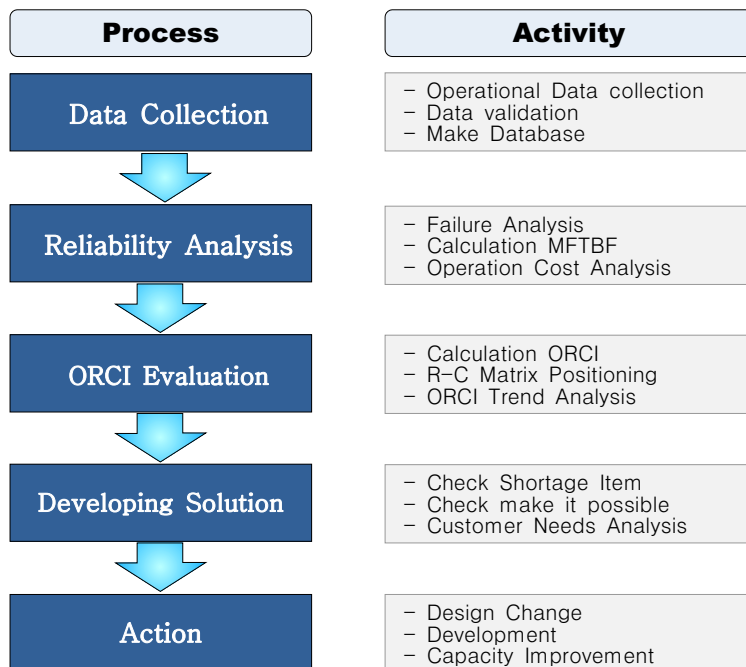


Figure 10. KAI's Operational Reliability Evaluation & Improvement Process(KOREIP)

4.2 신뢰성 평가 및 개선 프로세스(KOREIP)의 활용

4.2.1 Design Improvement Feedback System(DIFS)

고객관계관리(Customer Relationship Management; CRM) 측면에서 개선품목을 도출하고 설계를 개선하기 위한 피드백 시스템을 구성하면 아래와 같다(Figure 11).

(1) 개선품목 선정

- R-C Matrix 포지셔닝분석을 통해 설계개선 고려구역(Figure 11의 B그룹)에 속한 품목을 확인한다.

(2) 고장원인 분석 및 결함탐구

- 설계개선 고려구역에 속한 품목에 대해 결함 추세를 파악하고 반복발생 현황을 분석한다.
- 반복결함의 원인을 분석하고 결함해소 방안을 수립한다.

(3) 설계 및 공정개선

① 설계개선

- 설계변경 협의회를 구성하고 가동률, 운영비용 등의 설계영향성을 검토한다.
- 기술회보를 발행한다.

② 공정개선

- 제작 치구/공정/장비를 개선하고 제작 공정을 개선한다.

(4) 개선효과 확인

- 개선 후 신뢰성 및 가동률을 분석한다.
- 운영유지비용의 절감효과를 파악한다.
- 예방조치방안 및 권고안을 작성한다.

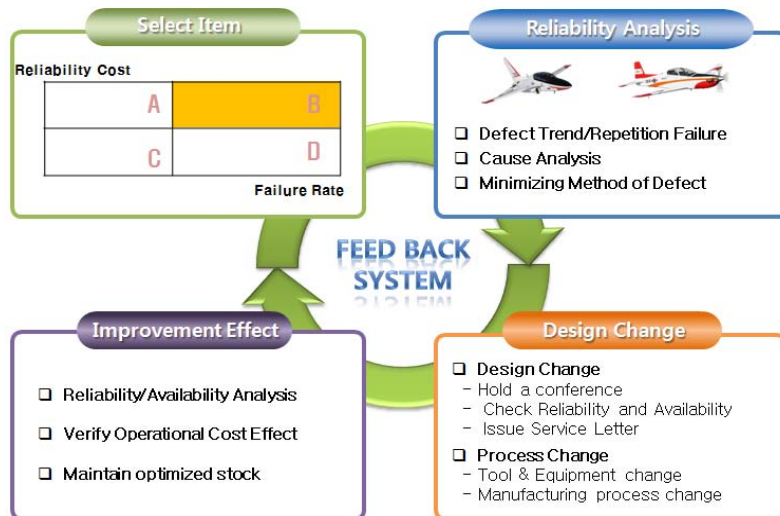


Figure 11. Design Improvement Feedback System(DIFS)

4.2.2 Performance Upgrade Feedback System(PUFS)

고객관계관리 및 항공기의 효율적 운용을 위해 성능개량이 필요한 품목을 도출하여 성능개량 로드맵을 수립하고 활동하기 위한 환류체계로서 아래와 같이 구성 된다(Figure 12).

- (1) 성능개량 품목 선정
 - E 그룹에 속한 품목을 확인한다(E그룹은 R-C Matrix 포지셔닝분석 결과 설계개선 고려구역에 속한 품목 중 운용신뢰성비용지수가 상위 20%에 속한 품목을 의미한다).
 - E 그룹 내에 속하지 않더라도 단종이 예상되는 품목을 확인한다.
- (2) 대상품목 상세분석
 - 대상품목의 신뢰성 성장분석을 실시하여 하향추세인지를 확인한다.
 - 하향추세일 경우 1차적으로 성능개량 대상 품목으로 분류한다.
 - 고장을 유발시키는 원인과 기능을 확인하고 이러한 고장으로 인해 발생하는 수리비용과 정비비용을 확인한다.
 - 이 장비를 공용으로 사용하고 있는 타 운용 항공기가 있는지 확인한다.
- (3) 성능개량 계획수립
 - 성능개량 협의회를 구성하고 성능개량 마스터플랜을 수립한다.
 - 성능개량 시기 및 예상효과를 확인하고 소요비용과 가동률의 영향성을 확인한다.
 - 성능개량 로드맵에 반영 및 증장기 예산에 반영한다.
- (4) 성능개량 효과 확인
 - 개선 후 신뢰성 및 가동률을 확인하고 운영유지비용 절감효과를 파악한다.
 - 추가적 파급효과를 파악한다(운영 및 정비 편의성, 정비 장비 가동 영향성 등).

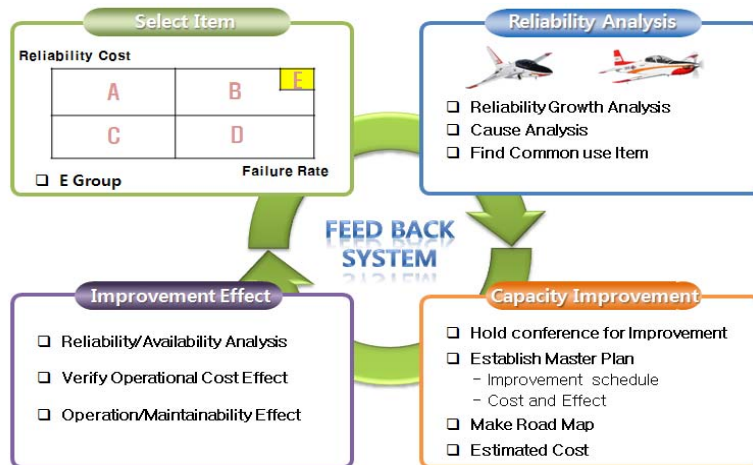


Figure 12. Performance Upgrade Feedback System(PUFS)

5. 결 론

항공기 구조물의 경우에는 교체가 용이하지 않거나 불가능하기 때문에 30년 동안 사용할 수 있도록 설계가 되는 반면, 내부에 들어가는 항공전자장비 등과 같이 장·탈착이 용이한 시스템의 경우에는 전체 개발비용과 성능, 운용환경을 고려하여 일정 사용시간이 되면 교체가 될 수 있도록 설계가 된다. 그런데 초기 설계 시 예측된 기대수명과 실제 운용 시의 기대수명이 상당히 다르게 나타나는 경우가 많으므로 운용신뢰성 분석 활동을 통해 지속적으로 기대수명(항공전자장비의 경우 MFTBF)을 확인하고 그 추세를 모니터링하여 항공기 목표 가동률에 영향을 주지 않도록 하여야 하며 필요시 신속한 설계개선을 하거나 성능개조 및 개량 활동을 하여야 한다.

본 연구에서는 이러한 운용분석 활동을 보다 체계적으로 수행하고 운용 신뢰성을 평가하기 위해 기존의 운용 고장률에 운영 신뢰성비용을 고려한 R-C Matrix와 운용신뢰성비용지수의 개념을 제시하였다. 신뢰성 평가에서 시스템의 신뢰성에 대한 비용측면에서의 현실적 가치를 정량적으로 제시하는 것이 용이하지 않다는 점을 고려할 때, 본 연구에서 제시한 운용신뢰성비용지수는 대상 시스템의 신뢰성 가치를 가지적으로 볼 수 있다는 점에서 그 활용성이 높다고 할 수 있다. 따라서 운영비용에 기반한 신뢰성 평가 및 관리에 대한 시대적 요구가 많아지고 있는 상황에서, 본 연구에서 제시한 R-C Matrix와 운용신뢰성비용지수가 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 이에, R-C Matrix와 운용신뢰성비용지수를 활용한 신뢰성 활동 프로세스를 수립함으로써 신뢰성 평가 및 개선 활동을 체계적으로 접근하고 있는 사례로 KOREIP를 소개하였다. KOREIP를 참고하여 설계개선과 성능개량 활동에 대한 분석절차를 수립함으로써 보다 효율적이고 조직적인 운용신뢰성분석 활동이 가능하리라 판단된다.

REFERENCES

- Cougan, W. P., and Kindig, W. G. 1979. "A Real Life MTBF Growth Program for a Deployed Radar." Proceedings at The Annual Reliability and Maintainability Symposium, 121-127.
- Gilmore, L., and Valaika, J. 1992. "Operating and Support Cost-Estimating Guide." Office of The Secretary of Defence Washington DC Director Program Analysis and Evaluation.
- Jeon, T. B. 2009. "An Overview on the Emergence of the Reliability Prediction Methodology 217 PLUSTM." Journal of Industrial Technology 29(A):28-36.
- Jeon, T. B. 2011. "Sensitivity Analysis of the 217PLUSTM Component Models for Reliability Prediction of Electronic Systems." Journal of the Korean Society for Quality Management 39(4):507-515.
- Jin, T., and Su, P. 2005. "Minimize system reliability variability based on six-sigma criteria considering component operational uncertainties." Proceedings at The Annual Reliability and Maintainability Symposium, 214-219.
- Jo, In-Tak, Lee, Sang-Cheon, and Kim, Yun-Hee. 2012. "A Study on Reliability Prediction Comparison of Aero Space Electronic Equipments." IE Interface 25(4):472-479.
- Jo, In-Tak, Lee, Sang-Cheon, and Park, Jong Hun. 2013. "A Study on Reliability Growth through Failure Analysis by Operational Data of Avionic Equipments." Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering 36(4):100-108.
- Kern, G. A. 1978. "Operational Influences on Avionics Reliability." Proceedings at The Annual Reliability and Maintainability Symposium, 231-242.
- Kim, Y. I., Byun, K. S., and Kim, H. T. 2009. "Case Study on Improvement of Reliability Prediction Accuracy in Development Phase for Aircraft." Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics 17(4):25-31.
- Ma, K. C. 1988. "Experts' opinions on the reliability gap and some practical guidelines on reliability growth." Air force institute of tech wright-patterson AFB OH school of systems and logistics.
- MIL-HDBK-217F Notice 2. 1991. Reliability Prediction of Electronic Equipment: USA Department of Defense.
- MIL-HDBK-338B. 1998. Military Handbook Electronic Design: US Department of Defense.
- Park, Jong-Man, Jung, Soo-il and Kim, Jae-Joo. 2011. "A Study on Application of Reliability Prediction & Demonstration Methods for Computer Monitor." Journal of the Korean Society for Quality Management 25(3):96-107.
- Miller, P. E. and Moore, R. I. 1991. "Field reliability versus predicted reliability: An analysis of root causes for the difference." Proceedings at the Annual Reliability and Maintainability Symposium, 405-410.
- Raghuram, R.. 2008. Challenges in Reliability Prediction of Aircraft Subsystems. HCL Technologies, 6-9.
- Yoon, Keun-Sig, and Lee, Jong-Chan. 2012. "A Case Study on the Reliability Assessment of Stockpile Ammunition." Journal of the Korean Society for Quality Management 40(3):259-269.

