

## 항공기 임무신뢰도 예측 방안 연구

\*이준우 · \*주현준 · \*\*이민구

\*국방과학연구소, \*\*충남대학교

## A Study on the Aircraft Mission Reliability Prediction

\*Lee Joonwoo, \*Ju Hyunjoon, \*\*Lee Minkoo

\*Agency for Defense Development,

\*\* Department of Information and Statistics, Chungnam National University

### Abstract

This paper deals with OO aircraft mission reliability prediction. To demonstrate user-required mission reliability, it is calculated with use general formulae which are used in reliability engineering.

The mission reliability of OO aircraft is calculated in considering conversion factor(CF) on the each subsystems' MTBF. The prediction results are explained only the state at present time. Because these data are not real data in operational environments. Therefore, in the case of OO aircraft, it has to be needed collecting the real and renewal data which are operational and empirical. After that, continuing the data upgrading, it is easily closed to the more exact reliability value.

Key Words : Mission Reliability Prediction(임무신뢰도 예측), Conversion Factor(변환율)  
Exact Reliability Value(정확한 신뢰도 값)

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

어떤 장비나 부품의 신뢰도(reliability)란 “주어진 운용조건(operating condition)하에서 의도하는 사용기간 중에 의도한 목적에 만족스럽게 작동할 확률”을 말한다[Calabro (1962)]. 이 정의를 자세히 검토해 보면 “운용조건”, “사용기간”, “만족스럽게 작동”, “확률”의 네 가지 요소들이 포함되어 있는 것을 알 수 있다.[1]

신뢰도의 개념은 인간의 활동뿐만 아니라 인간이 만들어 낸 사물들이 그 주어진 기능을 얼마나 잘 수행하는가를 나타내는 척도로서 사용하는 것이다. 어떤 군용장비는 연간 보전비가 원래 장비 구입가격의 10배씩이나 된다는 것을 보아도 신뢰도를 높여야 할 필요성을 알 수 있다[Amstadter(1971)]. 어떤 부품이 고장나면 흔히 그 부품을 포함하는 assembly나 체계까지도 고장나는 수가 있다.[1] 특히 유인항공기는 특정부품이나 시스템이 고장을 일으킬 때 항공기 뿐만 아니라 사람의 목숨까지도 담보로 하기 때문에 안전문제와 더불어 신뢰도 향상이 필수적이다.

최근의 과학기술이 급속하게 발전해서 체계뿐만 아니라 여타 장비의 기능과 역할이 다양해지고 그 성능이 향상되고 있다. 그러나 한편으로는 모든 체계가 구조적으로 복잡해지고 대형화됨에 따라 고장의 가능성이 증대되었으며 체계 개발자는 체계가 주어진 임무를 고장없이 성공적으로 완수할 수 있는지에 대한 관심이 더욱 높아졌다. 임무 신뢰도(mission reliability)는 이러한 임무수행 가능여부를 정량화하여 표현하는 하나의 척도로서 사용되고 있기에 체계 개발시 임무 신뢰도를 고려하는 것이 필수적이다.[2] 본 논문은 양산단계에 있는 항공기(OO)에 대한 임무신뢰도 예측 결과를 제시한다.

실제로 OO항공기가 운용될 때 어느 정도의 신뢰도를 갖게 될지는 양산단계에서 정확히 예측할 수는 없다. 하지만 양산단계에 있는 OO항공기 설계 자료로부터 운용 형태를 가정하여 신뢰도를 예측해 봄으로써, 초기에 제시되었던 임무신뢰도 요구사항이 현재의 설계를 통하여 충족될 수 있는지 판단이 가능할 것이다. 이것이 본 논문의 목적이다. 추후에는 이 항공기에 대해 설정된 신뢰도값을 가지고 운용단계의 일정 시기에 예측값과 실제 결과를 비교하여 그 차이를 알아내고 새로운 모델을 제시하여야 할 것이다. 아울러 이러한 결과분석을 바탕으로 타 항공기에서도 예측가능할 수 있도록 일반모델을 설정하는 것이 중요할 것이다.

본 논문은 가능한 OO항공기의 최신화된 데이터를 반영하여 임무신뢰도를 산출하며, OO항공기가 양산이 완료되어 현장에 배치되었을 때 운용될 상황에 가깝도록 임무개요와 임무시간을 설정하여 임무신뢰도를 예측하고자 한다.

### 1.2 연구의 내용 및 방법

체계의 목표와 요구사항을 정의하는데 사용되는 방법인 임무 신뢰도와 연관된 사항은 임무

개요(mission profile)와 운용형태(operational mode)이다. 임무개요란 정해진 조건에서 주어진 시간만큼 체계가 수행해야 할 임무를 말한다. 그리고 운용형태란 고장률이 일정하게 지속되는 체계의 독특한 활동을 말한다. 임무형태 중 각 운용형태는 한 가지 이상의 품목과 연관된다. 품목(item)이란 고장률이 정해질 수 있는 체계의 가장 큰 구성품을 말한다.

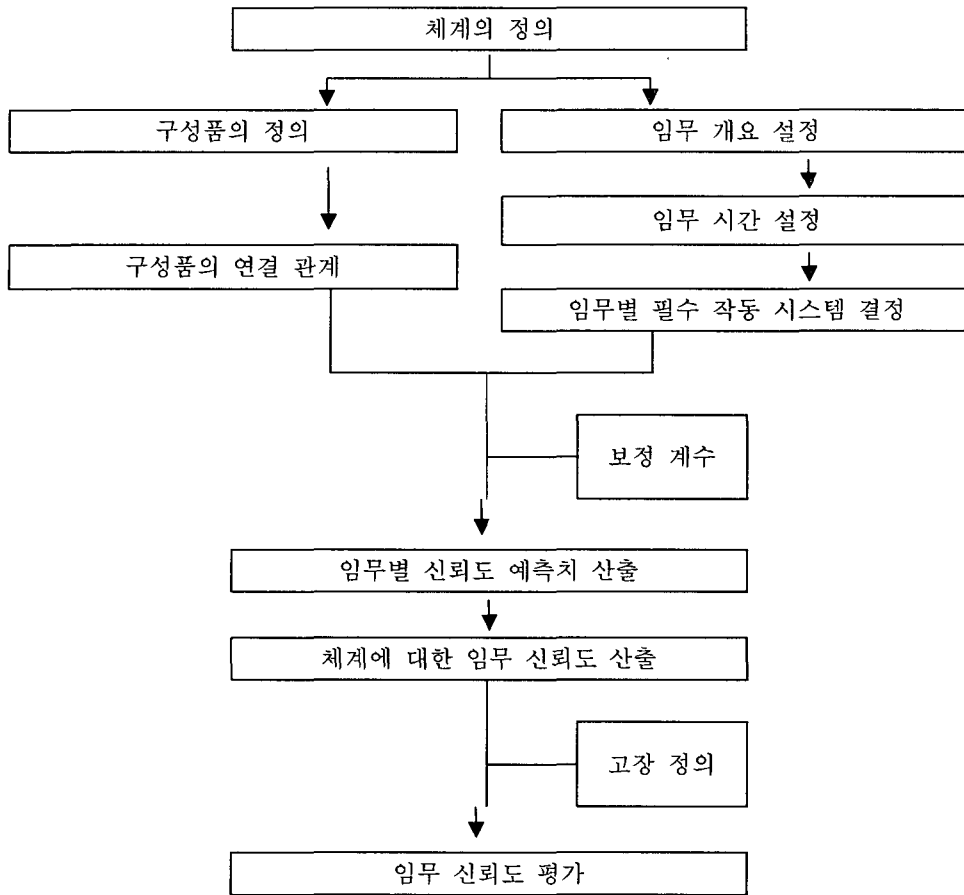
임무 신뢰도 분석을 수행하는 절차 및 방법은 분석대상이 되는 체계에 따라서 그 접근 방법이 달라지는데 본 논문에서는 다음과 같은 단계 및 절차에 의하여 OO항공기의 임무 신뢰도에 대한 예측을 수행하고자 한다.

먼저 체계를 정의하는데, 이는 분석대상이 되는 체계와 그 구성품을 정의하는 것이다. 이 단계에서는 체계의 목적 및 모든 구성품의 물리적 특성에 대하여 기술하며 또한 분석대상이 되는 체계의 운용형태에 대한 사항도 포함하도록 한다. 체계 정의에 따른 다음 단계는 신뢰도 블록도를 작성, 그리고 체계의 임무 개요설정, 필수작동시스템 정의, 각 임무시간 정의 후 작성된 신뢰도 블록도를 고려하여 임무 신뢰도를 산출하는 것이다.

신뢰도 평가는 개발 시험 및 야전 운용 중 획득된 자료에 대한 고장 판단 기준에 따라 큰 영향을 받게 된다. 어떤 고장 판단 기준으로 자료가 획득되었는가에 따라 신뢰도 값이 달라질 수 있기 때문이다. 따라서 예측된 임무 신뢰도를 평가하기 전에 반드시 고장 정의 및 판단기준이 명확하게 정의되어 있어야 한다. 실제로 어떤 경우 그 상황을 고장으로 보아야 할지 아닌지를 구별하는 것이 모호한 경우가 많다.

신뢰도 블록도는 체계 구성요소간의 상호 관련성과 각 운용사건에 대하여 체계가 작동하는지의 여부를 나타내기 위한 선도로서 고장계통도를 이용하여 작성한다. 정의된 신뢰도 블록도는 수학적 모델설정을 필요로 하는데 이러한 수학적 모델은 신뢰도 블록도에서 하나의 블록으로 표시된 체계 구성요소의 신뢰도와 체계 전체 신뢰도의 관계를 수학적으로 표시한 것이다. 수학적으로 정의된 모델 계산을 위해서는 고장률을 정의해야 하는데 부품 고장간 평균간격(MTBF: Mean Time Between Failure)과 고장간 평균 사이클수(MCBF: Mean Cycles Between Failure)를 이용하여 계산하며, 이렇게 도출된 신뢰도 값으로 신뢰도 평가를 수행하게 된다.[3]

위에서 설명한 임무 신뢰도 예측 절차를 도식화하면 <그림 1>과 같이 나타낼 수 있다.



<그림 1> 임무 신뢰도 예측 절차

OO항공기는 규정된 기후 조건하에서 운용시 xx% 이상의 임무신뢰도가 군 요구사항에 제시되어 있다. 여기서는 임무신뢰도의 목표값을 주어진 시간 동안 정해진 환경 조건하에서 규정된 성능을 발휘할 수 있는 장비가 복수의 시스템을 구축해서라도 주어진 임무를 완수할 수 있는 확률로 표현된다. 항공기에 제시되어 있는 운용상의 임무신뢰도는 다음과 같다.

$$\text{임무신뢰도} = \frac{\text{총비행소티수} - \text{비행중임무포기횟수}}{\text{총비행소티수} + \text{지상임무포기횟수}} \quad (1)$$

비행소티수(sortie)란 출격횟수 또는 비행횟수라고도 하며, 항공기가 1회의 비행 전반, 즉 시동을 걸고 이륙하여 임무를 수행한 후 기지에 귀환하는 것을 말한다. 따라서, 총 비행횟수란 해당항공기 또는 해당 부대가 특정한 목적을 달성하기 위해 특정한 기간동안 수행하는 총 비행횟수를 의미한다.

여기서의 지상임무 포기와 비행 중 임무 포기의 구분은, 항공기가 이륙하기 위해 랜딩기어(착륙장치 바퀴)가 굴러가기 시작한 시점을 기준으로, 굴러가기 시작한 후부터 발생하는

임무 포기를 비행 중 임무 포기로 간주한다. OO항공기의 임무 신뢰도가 어느 값 이상을 만족하는가는 운용 시험을 기반으로 수년간의 운용을 통해서만이 확인될 수 있을 것이다. 설계단계에서는 임무 신뢰도 값을 만족시킬 수 있도록 설계를 해야 하며 이를 위해서는 임무 신뢰도 예측 기법을 적용하여 예측을 통한 목표 값 달성 여부를 판단해 보아야 하는 것이다.[3][4]

### 1.3 임무신뢰도 예측을 위한 가정

OO항공기의 임무신뢰도 산출을 하면서, 본 논문에서 적용하는 가정은 다음과 같다. OO항공기의 1회 비행당 임무시간은 각 임무에 주어진 시간으로 한다. 신뢰도 산출에 있어서 적용되는 하나의 요소(factor)로써 임무 시간(Time)이 있는데, 이는 임무 시나리오와 설계 개념을 참고로 결정한다. 모든 구성품의 고장률은 시간에 관계없이 일정하다고 가정하며, 이러한 근거는 시스템의 수명이 지수 분포를 따른다는 가정을 적용하기 때문이다. 이러한 결과는 지수 분포가 일정시간이 지난 후에 일정한 고장률을 갖는 분포이기 때문이다. 물론 마모성 장비의 경우에는 시간이 지남에 따라 고장률이 증가되는 경우도 있지만, 본 논문에서는 일단 모든 시스템의 고장률을 일정하다고 보기로 한다. 평균 고장 시간(MTBF), 고장률, 평균 고장 사이클(MCBF) 자료는 OO항공기 설계 자료를 반영하였으며, 설계가 진행되면서 해외 도입품인 경우, 고장률 자료를 판매자(Vendor)로부터 직접 얻은 경우에는 해당 자료를 반영하였고 자료를 아직 구하지 못한 경우와 순수 국내 개발품인 경우에는 우선 유사 기종 항공기(PC-9, Shorts Tucano)와 미국 신뢰성 분석 센터(RAC: Reliability Analysis Center)의 “신뢰성 도구: 상용 실습판(Reliability Toolkit: Commercial Practice Edition)” 책자에 기준을 두고 신뢰도를 산출하였다. 어떤 부품의 MTBF는 그 부품이 평균 몇 시간(Time) 작동만에 고장이 발생한다는 개념이며, MCBF는 그 부품이 평균 몇 사이클(Cycle) 작동만에 고장이 발생한다는 개념이다. MCBF 자료를 활용하려면 해당 부품이 주어진 임무를 수행하기 위해서 몇 사이클이 소요되는가를 정확히 알아야만 신뢰도를 산출할 수 있다. 그러므로, 본 논문에서는 임무 신뢰도 산출시 MTBF와 MCBF가 동시에 주어진 경우에 있어서 임무별로 장비 운용 시간을 활용하기 위하여 MTBF값으로 적용하여 신뢰도를 산출한다. MCBF값만 주어진 시스템인 경우 해당 시스템이 주어진 세부 임무를 수행시 초기값으로 1 사이클이 작동되는 것을 기준으로 한다. 실제 야전에서 수집된 거의 모든 자료가 시간에 대한 자료만이 수집되고 있는 것도 이러한 가정을 하는 큰 이유 중에 하나이다. 각 교과 과목별 세부 임무를 이륙, 비행, 이·착륙/착륙 크게 세 가지로 분류하였다. 모든 임무는 단독으로 수행하는 것으로 한다.

## 2. OO 항공기 임무 신뢰도 예측

### 2.1 임무 신뢰도 개요

임무 신뢰도 예측 모델을 설정하기 전에 임무 신뢰도에 대한 명확한 정의가 우선되어야 할 것이다. 임무신뢰도란 제품이나 체계가 규정된 운용 요구조건(operational requirements)을 가지고 운용기간 내에 주어진 임무를 성공적으로 완수할 확률을 말한다.

일반적으로 체계 신뢰도(system reliability)라 함은 모든 부품의 고장률을 고려하여 체계가 주어진 조건하에서 의도된 시간 동안에 작동할 확률을 나타낸다.

<표 1>은 체계 신뢰도와 임무 신뢰도를 비교한 것으로, 체계 신뢰도는 모든 구성품들에 대하여 고려하고 임무 신뢰도는 주어진 임무와 관련된 구성품만을 고려함으로써 좀더 실제에 가까운 신뢰도를 산출할 수 있도록 해준다. 그리고 임무 신뢰도 산출에서는 체계 운용시간을 구성품의 가동시간으로 계산하는 것보다는 구성품이 실제 운용된 시간만을 계산한다.

<표 1> 체계 신뢰도와 임무 신뢰도 비교

체계 신뢰도	임무 신뢰도
모든 구성품들을 고려	주어진 임무와 관련된 구성품만 고려
체계 운용시간을 구성품의 가동시간으로 계산	구성품이 실제 운용된 시간으로 계산
각 체계의 고유 특성치	체계의 운용방식에 따른 특성치

임무 신뢰도는 하나의 체계가 특정한 임무를 수행할 확률이다. 임무 신뢰도의 관점에서 모든 하위 체계나 구성품들이 특정한 임무에 모두 운용될 것을 요구하지는 않는다. 또한 신뢰도의 관점에서 어떤 구성품들이 특정한 하나의 임무를 수행하기 위해 필요한지 결정하기가 힘들다. 예를 들면, 야간 감시 망원경(night vision telescope)은 주간 임무 수행 동안에는 필요하지 않다. 이것은 주어진 임무에 대한 모델에서 임무와 관련된 적당한 구성품들만을 고려해야 한다는 것을 말하고 있다.[3]

### 2.2 보정계수(CF: Conversion Factor)

OO항공기의 경우는 보정계수를 고려하여 신뢰도를 예측하였다. 여기서 보정계수란 정의된 임무시간동안 실제로 해당 필수작동시스템이 작동되는 비율을 나타내는 값이다. 만약, 보정계수를 고려하지 않을 경우 시스템의 신뢰도는 실제 작동시간이 늘어나기 때문에 보정계수를 고려할 때보다 좋지 않은 조건이 되어 조금 떨어지는 양상을 보이게 된다.

보정계수(Conversion Factor)라고 하는 것은 체계 혹은 장비의 연간 운용 소요(AOR : Annual Operational Requirements)를 분석중인 품목의 연간 운용소요로 변환하는 데 사용되는 계수로서 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$CF = \frac{\text{분석대상품목의 연간 사용시간}}{AOR} \quad (2)$$

보정계수를 적용하는 근거는 MIL-STD-1388-2B이다. 근접항공지원 임무상의 적용 예를 들어보면 다음과 같다.

외부연료탱크(EFT: External Fuel Tank)의 경우 외부탱크의 용량이 50 gallon\*2개이고 사용시간이 약 1시간이라면

$$\text{보정계수} = \frac{\text{사용시간}}{\text{근접항공임무지원시간}} = \frac{1}{3} \cong 0.3 \quad (3)$$

또 다른 예로 산소계통은 항상 작동해야 하는 시스템으로 보정계수는 1이 된다.[3][6]

### 2.3 임무 신뢰도 예측

OO항공기의 임무 신뢰도 산출은 먼저 임무개요를 설정한 후, 임무시간 설정 및 임무별 필수 작동 시스템의 결정, 임무신뢰도 예측치 산출, OO항공기에 대한 임무 신뢰도 입증 및 평가의 순으로 진행한다.

OO항공기의 임무 개요를 설정하는 것은 임무 신뢰도 산출에 있어서 중요한 부분을 차지한다. 즉, 임무를 설정하는 방법에 따라 신뢰도 값이 달라지기 때문이다. 따라서 운용상황을 가능한 정확히 파악함으로써 본 논문에서 설정한 임무 개요가 실제 상황에 가깝도록 하였다. OO항공기는 단순한 한 가지 형태의 임무를 수행하는 것은 아니다. 전술통계기로써 수많은 세부 임무를 수행하게 된다. OO항공기에 대한 요구능력을 보면 크게 8개의 운용형태를 수행할 수 있도록 되어 있다. 8개 운용형태는 근접항공지원, 사격훈련, 계기/타기지 전개, 야간비행, 대공관측 훈련지원, 가상적기 점검, 요격기 표적지원, 공중조작이 있다.

비시험 결함, 계획정비 사항 및 사용자 수리 가능한 결함은 장비 자체의 근본적인 결함이 아니고, 신뢰도 유지를 위한 활동이므로 신뢰도 평가에서 제외한다. 또한 경결함도 시스템을 운용하는데 거의 영향을 미치지 않으므로 신뢰도 평가에서 제외한다. 신뢰도 평가에 적용되는 고장은 치명결함 및 중결함으로 분류된 결함을 의미하며 산출방법은 다음과 같다.

$$MTBF(\text{평균고장시간}) = \frac{\text{총비행시간}(hr)}{\text{중결함수} + \text{치명결함수}} \quad (4)$$

## 2.3.1 OO항공기의 임무 형태와 운용 비율

OO항공기의 임무 신뢰도를 산출하기 위해서는 OO항공기에 대한 임무 신뢰도 예측 모델을 설정해야 한다. OO항공기의 임무 단위는 한번의 출격(sortie)을 기준으로 하며, 그 시간은 2.5시간이다. 이때 OO항공기의 특성상 주어진 교과 과목을 정해진 임무 시나리오에 따라 정해진 시간대로 임무를 수행하는 것이므로, OO항공기에 있어서 임무 신뢰도는 그 임무를 수행하는데 있어서 효율성보다는 정해진 시간에 OO항공기가 훈련과목을 운용 형태별로 완수할 수 있을 확률이다. 그러므로 임무 신뢰도는 운용 형태가 결정되고, 그에 따라 임무 시간이 결정되면, 그 운용형태에 관련된 구성품들이 작동해야 하는 시간동안 정상작동할 확률로써 정의할 수 있다.

한번 출격(sortie)에 근접항공지원, 사격훈련, 계기/타기지 전개, 야간비행, 대공관측 훈련지원, 가상적기 점검, 요격기 표적지원, 공중 조작 중 하나를 수행한다. 때문에, 하나의 교과 과목을 수행할 때의 임무 신뢰도를 OO항공기의 고유한 임무 신뢰도라고 단정 지을 수는 없으므로 각 교과 과목별 임무 신뢰도를 도출한 후 비율을 할당하여 OO항공기의 임무 신뢰도를 산출하는 방법을 적용하였다. 본 논문에서는 개발 시점에서 각 비행 교과 과목별 연간 운용시간과 운용자의 조인을 바탕으로 각 교과 과목에 대한 운용비율을 도출하였다.

OO항공기의 임무형태인 근접항공지원, 사격훈련, 계기/타기지 전개, 야간비행, 대공관측 훈련지원, 가상적기 점검, 요격기 표적지원, 공중조작에 대한 각 운용비율은 <표 4>와 같다.

<표 4>는 OO항공기가 운용될 때 근접항공지원을 전반적으로 많이 실시하고 사격훈련이 그 다음이며, 야간비행, 계기/타기지 전개, 대공관측 훈련지원, 가상적기 점검, 요격기 표적지원, 공중조작을 상대적으로 적게 실시한다는 것을 보여 준다. <표 4>로부터 OO항공기에 대한 전체적인 임무 신뢰도 예측 모델은 다음과 같이 표현할 수 있다.

<표 4> OO 항공기의 임무형태 및 운용 비율

임무형태	운용비율 (%)
근접항공지원	58.5 %
사격훈련	8.5 %
야간비행	8.0 %
계기/타기지 전개	7.0 %
대공관측 훈련지원	4.5 %
가상적기 점검	4.5 %
요격기 표적지원	4.5 %
공중조작	4.5 %
합계	100.0 %



$$\begin{aligned}
 R(OO) = & 0.585 \times R(\text{근접항공지원}) & + 0.085 \times R(\text{사격훈련}) \\
 & + 0.080 \times R(\text{야간비행}) & + 0.070 \times R(\text{계기/타기지전개}) \\
 & + 0.045 \times R(\text{대공관측훈련지원}) & + 0.045 \times R(\text{가상적기점검}) \\
 & + 0.045 \times R(\text{요격기표적지원}) & + 0.045 \times R(\text{공중조작})
 \end{aligned} \tag{5}$$

위의 모형은 운용 비율이 높은 교과 과목의 한 번 출격(sortie) 당 임무 신뢰도가 전체적인 OO항공기의 신뢰도에 영향을 크게 미친다는 것을 보여주고 있기도 하다.

### 2.3.2 운용형태별 수행 임무와 수행 시간

앞에서 살펴본 바와 같이 임무형태별 임무개요는 이륙, 비행, 이·착륙/착륙으로 구분하였다. 운용 형태별로 수행임무가 결정되면 한 번 출격(sortie)당 각 임무에 소요되는 시간을 결정하여야 한다. 여기서 시간은 임무 신뢰도 값을 도출하는데 하나의 모수(Parameter)로 적용되기 때문이다. 각 임무 형태별로 수행임무에 소요되는 시간을 정리하면 <표 5>와 같다.

<표 5> 교과 과목별 수행 임무 시간 (단위 : 시간)

임무 형태 \ 임무 개요	비행	이·착륙/착륙	이륙	항상 작동
가상적기 점검	1.900	0.083	0.017	2.000
계기/타기지 전개	0.980	0.083	0.017	1.080
공중 조작	0.986	0.167	0.017	1.170
근접항공지원	3.066	0.167	0.017	3.250
대공관측 훈련지원	1.400	0.083	0.017	1.500
사격 훈련	1.480	0.083	0.017	1.580
야간 비행	0.980	0.083	0.017	1.080
요격기 표적지원	1.900	0.083	0.017	2.000

### 2.3.3 각 임무별 필수 작동 시스템

각 임무별 신뢰도를 도출하기 위해서는 임무를 정상적으로 수행하는데 필요한 시스템들이 어떠한 것들이 있는가를 판단하고, 시스템들 간에 어떠한 상관관계가 있는가를 분석하여야 한다. 임무 신뢰도 산출에 있어서 필수 작동 시스템을 결정하고, 시스템들 간의 상호 연관관계를 고려할 시에 주된 초점은 해당 시스템이나 구성품이 고장날 때 해당 임무를 정상적으로 수행할 수 있는가 여부이다.

OO항공기는 수많은 구성품들로 이루어진 복잡한 체계이다. 따라서, 어떤 시스템들이 정상적으로 작동해야 임무를 완수할 수 있는가를 결정하는 것은 쉬운 문제가 아니다. 이는 해당 임

무를 완수하는 데 꼭 필요한 시스템이 아닌 시스템을 필수 작동 시스템으로 잡을 경우 해당 시스템의 고장이 전체적인 임무 완수에 영향을 미쳐 임무 신뢰도를 저하시키는 결과를 초래할 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 항공기가 임무 수행을 할 때 가장 기본적으로 작동해야 하는 시스템을 먼저 설정하고, 각 임무 특성상 꼭 필요한 시스템을 임무 분석을 통하여 설정한다. <표 6>에 OO항공기 임무의 종류와 내용을 설명하였다. 또한 <표 7>에서는 필수작동시스템의 사례로 8가지의 임무 중에서 근접항공지원일 때의 경우를 예시하였다.

<표 6> 임무의 종류와 임무내용

임무종류	임무내용	비고
1) 근접항공지원	근접항공지원은 전장상황에서 목표물(target)을 식별하고 아군기에게 표적을 효과적으로 식별시켜 전투기의 생존성과 성공적인 공격이 이루어지도록 하는 공중공격통제 임무	
2) 사격훈련	사격훈련은 실제 사격을 준비할 수 있는 상황을 설정하고 기본 사격 절차 숙달 및 사격 자격을 유지하여 공중공격 통제시 표적 표시를 위한 공대지 훈련	
3) 야간비행	야간비행은 야간에도 주간과 동일하게 비행할 수 있는 자신감 부여와 야간 항법 및 이착륙능력을 배양하기 위해 실시하는 교과과목이다.	
4) 계기/타기지 전개	계기비행은 기본/고등 계기비행 숙달로 악기상하에도 비행할 수 있는 능력배양과 타기지 접근 및 타기지 이착륙 능력을 배양하는 교과과목이다.	
5) 대공관측 훈련지원	대공관측훈련은 주야간 적 저공 침투기에 효과적으로 대응하기 위하여 대공관측소의 육안관측 및 식별능력증대를 위한 훈련지원 임무	
6) 가상적기 점검 (방공관제레이더 저고도포착점검)	방공관제레이더 사이트 및 중앙방공관제소의 저고도 항적 포착상태를 점검하고 저고도 포착지역을 탐지하여 완벽한 방공작전 수행을 위한 점검 지원	
7) 요격기 표적지원	요격기 표적지원은 적의 공중 기습도발에 대비하기 위하여 가상적기에 대한 요격 훈련으로 방공체제의 대응능력을 향상시키기 위한 요격기 표적지원 임무	
8) 공중조작	공중조작은 항공기의 특성과 비행자세를 파악하고 항공기를 부드럽게 조작하는 능력배양과 단계적인 비행훈련에 따르는 자신감을 부여하기 위해 실시하는 교과과목이다.	

<표 7> 근접항공지원인 경우 필수작동 시스템

임무개요	필수작동시스템	보정계수	임무시간(hr)	작동시간(hr)
비행	Aileron & Balance	0.600	3.066	1.83960
	Elevator	0.600		1.83960
	Flap Actuating	0.005		0.01533
	Rocket Launcher	0.205		0.62853
	Speed Break Actuating	0.010		0.03066
	무장제어계통	0.205		0.62853
	외측 파일런(우측)	0.205		0.62853
	외측 파일런(좌측)	0.205		0.62853
이착륙/착륙	Brake Actuating	1	0.167	0.16700
	Flap Actuating	1		0.16700
	L/G & Door Actuating	1		0.16700
	Landing Light System	1		0.16700
	Main L/G	1		0.16700
	Nose L/G	1		0.16700
	Speed Brake Actuating	1		0.16700
	Steering 계통	1		0.16700
이륙	Brake Actuating	1	0.017	0.01700
	Flap Actuating	1		0.01700
	L/G & Door Actuating	1		0.01700
	Main L/G	1		0.01700
	Nose L/G	1		0.01700
	Parking Brake Actuating	1		0.01700
	Steering 계통	1		0.01700
항상 작동	Battery System	1	3.250	3.25000
	Boost Pump System(BPS)	1		3.25000
	Bus System	1		3.25000
	Ejection Seat	0		0.00000
	Engine Feed Subsystem(EFS)	1		3.25000
	Environmental Control System	1		3.25000
	EPU System	1		3.25000
	Fuel Indicating System(FIS)	1		3.25000
	Fuel Tank System(FTS)	1		3.25000
	Fuel Transfer Subsystem(FTRS)	1		3.25000
	Generator System	1		3.25000
	GPS/INS	1		3.25000

<표 7> 근접항공지원인 경우 필수작동 시스템(계속)

임무개요	필수작동시스템	보정계수	임무시간(hr)	작동시간(hr)
항상 작동	Inverter System	1	3.250	3.25000
	Pitot/비행계기	1		3.25000
	Power Supply Subsystem	1		3.25000
	Rudder	0.2		0.65000
	Spillage/Return Subsystem(SRS)	1		3.25000
	Tank Venting Subsystem(TVS)	1		3.25000
	Trim	1		3.25000
	경보 계통	1		3.25000
	계기 및 제어패널	1		3.25000
	내측 파일런(우측)	0.3		0.97500
	내측 파일런(좌측)	0.3		0.97500
	산소	1		3.25000
	식별(IFF) 계통	0.6		1.95000
	엔진계기	1		3.25000
	엔진출력	1		3.25000
	외부연료탱크(우측)	0.3		0.97500
	외부연료탱크(좌측)	0.3		0.97500
	음성통신 계통	1		3.25000
	음성통합 계통	1		3.25000
	추진 계통	1		3.25000
	프로펠러 계통	1		3.25000
	항공전자컴퓨터 및 시현 계통	1		3.25000
	항법자세지시 계통	1		3.25000
항법중속위치 결정 계통	1	3.25000		

### 3. 구성품별 신뢰도 예측 모델

#### 3.1 구성품별 신뢰도 예측 모델링 개요

본 장에서는 체계 구성품별 신뢰도 블록도 및 이에 대한 수학적 모델을 제시하고 있다. 임무 기능별 필수 작동 시스템에 대한 신뢰도 예측치를 산출하기 위해서는 각 시스템별 신뢰도 예측 모델을 설정하여야 한다. 본 절에서는 필수 작동 시스템을 구성하는 구성품 목록(list)과

구성품의 고장률 자료, 그리고 구성품들 간의 신뢰도 블록도 및 신뢰도 예측 모델을 제시한다. 또한 운용적인 개념을 도입하여 임의의 특정 임무에 영향을 미치지 않는 고장은 고려하지 않았으며 구조물, 하드웨어 등 기능과는 무관한 부품에 대해서는 임무 신뢰도 모델링에서 제외하였다.

OO항공기의 임무신뢰도 분석에 쓰이는 계통을 분류하여 보면 23개 계통, 57개 세부계통, 302개 서브시스템으로 분류할 수 있으며, 다음 표는 이 중에서 23개 계통 57개 세부계통을 나타내고 있다.

<표 8> 항공기 계통분류 및 수량

번호	계통	세부계통	수량
1	엔진	엔진출력, 추진계통, 프로펠러 계통, 엔진 계기	4
2	FCS	AILERON & BALANCE, ELEVATOR, RUDDER, ARTS, TRIM	5
3	착륙	MAIN L/G, NOSE L/G	2
4	EJECTION SEAT	EJECTION SEAT	1
5	ECS	ENVIRONMENTAL CONTROL SYSTEM	1
6	산소	산소	1
7	HYDRAULIC SYSTEM	POWER SUPPLY SYSTEM, L/G & DOOR ACTUATING, FLAP ACTUATING, SPEED BRAKE ACTUATING	4
8	BRAKE SYSTEM	BRAKE ACTUATING, PARKING BRAKE ACTUATING	2
9	PITOT/비행계기	PITOT/비행계기	1
10	전원 공급/분배 계통	INVERTER SYSTEM, GENERATOR SYSTEM, BATTERY SYSTEM, EPU SYSTEM, BUS SYSTEM	5
11	조명계통	외부등 SYSTEM, 내부등 SYSTEM, 계기판조명 SYSTEM, CONSOL 조명 SYSTEM	4
12	경보계통	경보계통	1
13	항법계통	항법자세지시계통, 항법중속위치결정계통, GPS/INS	3
14	통신계통	음성통신계통, 음성통합계통, 음성 및 영상감시기 계통, 식별(IFF) 계통	4
15	STEERING 계통	STEERING 계통	1
16		LANDING LIGHT SYSTEM	1
17	연료	FUEL TANK SUBSYSTEM (FTS), BOOST PUMP SUBSYSTEM (BPS), FUEL TRANSFER SUBSYSTEM (FTRS), TANK VENTING SUBSYSTEM (TVS), ENGINE FEED SUBSYSTEM (EFS), SPILLAGE/RETURN SUBSYSTEM (SRS), FUEL INDICATING SUBSYSTEM (FIS)	7
18	ASC 및 시현계통	항공전자 컴퓨터(ASC) 및 시현계통	1
19	무장제어계통	무장제어계통	1
20	계기 및 제어패널	계기 및 제어패널	1
21	파일런	내측 파일런 (좌측), 내측 파일런 (우측), 외측 파일런 (좌측), 외측 파일런 (우측)	4
22	외부연료탱크	외부연료탱크(좌측), 외부연료탱크(우측)	2
23	로켓	Rocket Launcher	1
합계			57

### 3.2 구성품별 MTBF

이 절에서는 OO항공기 임무신뢰도 분석에 쓰이는 각 서브시스템의 수량 및 MTBF를 제시하였다. 여기에 제시된 MTBF 값은 기본적으로 판매자(Vendor)에서 입수한 값이며, 자료가 없는 부분은 미국 신뢰성 분석 센터(RAC) 책자를 활용하여 예측치를 제시하였다.

연결방법은 직렬, 병렬, 직렬-병렬 혼합, 대기 직렬-병렬 등 네 가지로 구분하였다. <표 8>의 57개 세부계통을 기준으로 분류하면 직렬 29개, 병렬 2개, 직렬-병렬 혼합 23개, 대기-직렬-병렬 3개 등이다(단독시스템일 경우는 직렬로 고려하였다). 이러한 구성을 보면 이 시스템은 직렬연결과 직렬-병렬 혼합 연결이 57개 시스템 중 49개로 약 86%를 차지하고 있다.

<표 9> 항공기 구성품별 MTBF(엔진계통)(사례)

순서	계통	시스템	수량	MTBF	연결 방법
1	엔진	엔진출력	엔진 출력조절케이블	1	직렬
2			전방식 출력조절장치	1	
3			출력조절 연동케이블	1	
4			후방식 출력조절장치	1	
5		추진계통	ECS ADAPTER	1	직렬/ 병렬 혼합
6			ENGINE ASSY.	1	
7			ENGINE DRIVEN PUMP	1	
8			FUEL FLOW METER ASSY	1	
9			FUEL FLOW SIGNAL COND.	1	
10			IGNITER	2	
11			IGNITION EXCITER	1	
12			MANUAL OVERRIDE ACTUATOR	1	
13			OIL COOLER	1	
14			OIL PRESS. TRANSDUCER	1	
15			OIL TEMPERATURE BULB	1	
16			OVERBOARD BREATHER OVER VENTDUCT	1	
17			STARER-GENERATOR	1	
18			TACHO. GEN. ASSY.(NG)	1	
19		TORQUE TRANSDUCER	1		
20		프로펠러 계통	PRO DE-ICE SWITCH	1	직렬
21			PROP DE-ICE C/B (25A)	1	
22			PROP. OVERSPEED GOV.	1	
23			PROPELLER ASSY.	1	
24			PROPELLER GOVERNOR	1	
25			브러쉬	1	
26		타이머	1	병렬	
27		엔진계기	전자식 엔진계기 (EEi) (FR)		1
28			전자식 엔진계기 (EEi) (RR)	1	

### 3.3 임무별 각 서브시스템의 신뢰도 블록도(RBD)

이 절에서는 OO항공기 임무신뢰도 분석에 쓰이는 각 서브시스템의 전후관계를 설명하고 세부 구성품간 신뢰도를 추정할 수 있는 신뢰도 블록도(RBD : Reliability Block Diagram)를 제시하였다. 임무의 종류는 <비행>, <이착륙/착륙>, <이륙>, <항상 작동>의 임무별로 분리하여 작성하였다.

이해를 돕기 위하여 <그림 2>의 일부 내용을 설명하면 다음과 같다. 왼쪽 제목이 파란색으로 표시된 것들은 기존의 원형(Prototype) 항공기에는 없었던 부분이 추가된 것이다. 파란색 표시 부분은 항공기의 임무에 따라 쓰일 수도 쓰이지 않을 수도 있다. 또한, <그림 2>의 세 번째 신뢰도 블록도(플랩 작동: Flap Actuating)에서 두 번째 연결도에서 화살표가 나타나는 부분은 대기시스템을 의미한다.

RBD(비행)

Aileron & Balance	부품01 — 부품02 — 부품03 — 부품04 — 부품05 — 부품06 — 부품07 — 부품08 — 부품09 — 부품10 — 부품11 — 부품12 — 부품13 — 부품14 — 부품15 — 부품16 — 부품17 — 부품18 — 부품19 — 부품20 — 부품21 — 부품22 — 부품23
ELEVATOR	부품01 — 부품02 — 부품03 — 부품04 — 부품05 — 부품06 — 부품07 — 부품08 — 부품09 — 부품10 — 부품11 — 부품12 — 부품13 — 부품14
FLAP ACTUATING	
Rocket Launcher	부품01 — 부품02
SPEED BRAKE ACTUATING	
무장제어제품	부품01 — 부품02
외측과일린(우측)	부품01
외측과일린(좌측)	부품01

<그림 2> 서브시스템별 신뢰성 블록도의 예(비행)

## 4. OO항공기 신뢰도 예측치 산출

### 4.1 OO항공기의 필수작동시스템 신뢰도 예측치

OO항공기의 각 비행 교과 과목당 운용 형태별 임무 신뢰도 예측치를 산출한 결과의 한 예

는 <표 10>과 같다. 여기에서 산출된 신뢰도는 III장의 2절에 있는 각 서브시스템의 MTBF값을 가지고 III장 3절에 있는 각 시스템의 RBD에 따라 신뢰도를 마이크로소프트사의 엑셀 프로그램을 이용하여 계산한 것이다. 대부분 임무에서 필수작동시스템은 거의 공통되고 다만 임무에 따른 시간만이 달리 반영되어 신뢰성을 계산하게 된다.

특기할 만한 사항은 근접항공지원 임무 수행 시는 다른 임무수행 시와 비교하여 볼 때 ‘비행’ 시에 로켓 발사기(Rocket Launcher), 무장제어계통, 외측 파일런(좌, 우) 부분이 추가되고, ‘항상 작동’ 임무 수행 시에 내측 파일런(좌, 우)과 외부연료탱크(좌, 우)가 사용된다는 것이다(<표 10> 참조). 이 외에도 사격훈련 임무 수행시에는 ‘비행’ 시에 근접항공지원과 마찬가지로 로켓 발사기, 무장제어계통, 외측 파일런(좌, 우) 부분이 추가된다. 또한 야간비행 임무 수행시에는 ‘항상 작동’ 임무를 수행할 때 야간 비행의 특성에 부합하는 계기판 조명 시스템, 내부등 시스템, 외부등 시스템을 추가하여 계산한다.

<표 10> 보정계수 고려시 OO항공기의 근접항공지원 임무신뢰도 예측값

교과과목	임무개요	필수작동시스템	보정계수	임무시간 (hr)	작동시간 (hr)	신뢰도 예측값
근접항공 지원 (CAS)	비행	Aileron & Balance	0.600	3.066	1.83960	0.998366052577
		Elevator	0.600		1.83960	0.998993752836
		Flap Actuating	0.005		0.01533	0.99999704244
		Rocket Launcher	0.205		0.62853	0.987508079962
		Speed Break Actuating	0.010		0.03066	0.999999826980
		무장제어계통	0.205		0.62853	0.999957244464
		외측 파일런(우측)	0.205		0.62853	0.999987429479
		외측 파일런(좌측)	0.205		0.62853	0.999987429479
	이착륙 /착륙	Brake Actuating	1	0.167	0.16700	0.999928404043
		Flap Actuating	1		0.16700	0.999998388836
		L/G & Door Actuating	1		0.16700	0.999992968996
		Landing Light System	1		0.16700	0.999866408924
		Main L/G	1		0.16700	0.999996031923
		Nose L/G	1		0.16700	0.999995558812
		Speed Brake Actuating	1		0.16700	0.999999057305
	Steering 계통	1	0.16700	0.999974022560		
	이륙	Brake Actuating	1	0.017	0.01700	0.999992711554
		Flap Actuating	1		0.01700	0.999999836015
		L/G & Door Actuating	1		0.01700	0.999999284267
		Main L/G	1		0.01700	0.999999596063
		Nose L/G	1		0.01700	0.999999547902
Parking Brake Actuating		1	0.01700		0.999998570506	
Steering 계통		1	0.01700		0.999997355559	



<표 10> 보정계수 고려시 OO항공기의 근접항공지원 임무신뢰도 예측값(계속)

교과과목	임무개요	필수작동시스템	보정계수	임무시간 (hr)	작동시간 (hr)	신뢰도 예측값
근접항공 지원 (CAS) (계속)	항상 작동	Battery System	1	3.250	3.25000	0.998051794630
		Boost Pump System(BPS)	1		3.25000	0.999569589081
		Bus System	1		3.25000	0.999349789253
		Ejection Seat	0		0.00000	1.000000000000
		Engine Feed Subsystem(EFS)	1		3.25000	0.999750577825
		Environmental Control System	1		3.25000	0.998860441457
		EPU System	1		3.25000	0.999317732850
		Fuel Indicating System(FIS)	1		3.25000	0.998962902283
		Fuel Tank System(FTS)	1		3.25000	0.999998901395
		Fuel Transfer Subsystem(FTRS)	1		3.25000	0.999962567000
		Generator System	1		3.25000	0.997038452288
		GPS/INS	1		3.25000	0.997107480935
		Inverter System	1		3.25000	0.999674841717
		Pitot/비행계기	1		3.25000	0.996030770016
		Power Supply Subsystem	1		3.25000	0.999404239848
		Rudder	0.2		0.65000	0.999448374424
		Spillage/Return Subsystem(SRS)	1		3.25000	0.999950074763
		Tank Venting Subsystem(TVS)	1		3.25000	0.999933779498
		Trim	1		3.25000	0.999673707404
		경보 계통	1		3.25000	0.998799570370
		계기 및 제어패널	1		3.25000	0.999999922070
		내측 파일린(우측)	0.3		0.97500	0.999967238659
		내측 파일린(좌측)	0.3		0.97500	0.999967238659
		산소	1		3.25000	0.999829336973
		식별(IFF) 계통	0.6		1.95000	0.995379457702
		엔진계기	1		3.25000	0.999998665759
		엔진출력	1		3.25000	0.999859389260
		외부연료탱크(우측)	0.3		0.97500	0.999917521885
		외부연료탱크(좌측)	0.3		0.97500	0.999917521885
		음성통신 계통	1		3.25000	0.999994979015
		음성통합 계통	1		3.25000	0.999897131347
		추진 계통	1		3.25000	0.992573954338
		프로펠러 계통	1		3.25000	0.993185358750
		항공전자컴퓨터 및 시현 계통	1		3.25000	0.996788186559
항법자세지시 계통	1	3.25000	0.999999959708			
항법중속위치 결정 계통	1	3.25000	0.991456810036			

### 4.2 OO항공기 운용 형태별 신뢰도 예측 결과

각 비행 교과 과목에 부여된 임무를 완수하는데 필요한 필수 작동 시스템들의 신뢰도 예측치 값들을 곱함으로써 각 교과 과목당 운용 형태별 임무 신뢰도 예측치를 산출할 수 있다. 이는 어떤 한 필수 작동시스템이라도 고장이 발생할 경우 해당 임무 및 비행 교과 과목을 성공적으로 수행했다고 보지 않는 개념에서 비롯된 것이다. OO 항공기의 각 비행 운용형태-임무개요별 임무신뢰도 예측값을 산출한 결과는 <표 11>과 같다. 여기서 산출된 신뢰도는 III장의 2절에 있는 각 서브시스템의 MTBF값을 가지고 III장 3절에 있는 각 시스템의 RBD에 따라 신뢰도를 계산한 것이다.

<표 11> 보정계수 고려시 OO항공기의 운용형태-임무개요별 임무신뢰도 예측값

운용형태(총시간)	임무개요	임무시간(hr)	신뢰도 예측값
근접항공지원 (3.25 hr)	비행	3.066	0.984835158130
	이착륙/착륙	0.167	0.999750860569
	이륙	0.017	0.999986901920
	항상 작동	3.250	0.950747564299
사격훈련 (1.58 hr)	비행	1.480	0.983213295045
	이착륙/착륙	0.083	0.999876168609
	이륙	0.017	0.999986901920
	항상 작동	1.580	0.975859093946
야간비행 (1.08 hr)	비행	0.980	0.999155767114
	이착륙/착륙	0.083	0.999876168609
	이륙	0.017	0.999986901920
	항상 작동	1.080	0.981472143616
계기/타기지 전개 (1.09 hr)	비행	0.980	0.999155765986
	이착륙/착륙	0.083	0.999876168609
	이륙	0.017	0.999986901920
	항상 작동	1.080	0.983435899218
대공관측 훈련지원 (1.50 hr)	비행	1.400	0.998794171236
	이착륙/착륙	0.083	0.999876168609
	이륙	0.017	0.999986901920
	항상 작동	1.500	0.977067509214
가상적기 점검 (2.00 hr)	비행	1.900	0.998363870574
	이착륙/착륙	0.083	0.999876168609
	이륙	0.017	0.999986901920
	항상 작동	2.000	0.969539012812
요격기 표적지원 (2.00 hr)	비행	1.900	0.998363870574
	이착륙/착륙	0.083	0.999876168609
	이륙	0.017	0.999986901920
	항상 작동	2.000	0.969539012812
공중조작 (1.17 hr)	비행	0.986	0.999150600537
	이착륙/착륙	0.167	0.999750860569
	이륙	0.017	0.999986901920
	항상 작동	1.170	0.982067813247

### 4.3 OO항공기 임무형태별 신뢰도 예측 결과와 전체 임무 신뢰도

앞 절의 세부 임무별 신뢰도 예측치를 고려하여 각 임무형태별 임무신뢰도 예측치를 구하고, 이전에 소개했던 전체 임무 신뢰도 예측 방법을 사용하여 전체 임무 신뢰도를 구하였다. <표 12>는 보정계수를 고려한 임무신뢰도 예측값을 나타낸다.

<표 12> 보정계수 고려시 OO항공기의 임무신뢰도 예측값

임무 형태	운용비율	신뢰도 예측값	운용비율×신뢰도 예측값
근접항공지원	0.585	0.93608	0.54761
사격 훈련	0.085	0.95935	0.08154
야간 비행	0.080	0.98051	0.07844
계기/타기지 전개	0.070	0.98247	0.06877
대공관측 훈련지원	0.045	0.97576	0.04391
가상적기 점검	0.045	0.96782	0.04355
요격기 표적지원	0.045	0.96782	0.04355
공중 조작	0.045	0.98098	0.04414
계	1.000		0.95152

<표 12>에서 OO항공기 전체의 임무신뢰도 값은 95.152%임을 알 수 있다. 이는 운용자 요구사항인 임무신뢰도 9x%를 상회하였다. 따라서, 운용자는 OO항공기의 양산을 승인하는 기준으로 삼을 수 있다. 또한, 개발자(또는 운영자)는 이러한 결과를 바탕으로 앞으로 실제로 항공기를 운영하면서 발생하는 임무 신뢰성 관련 실제 데이터를 추가하거나 수정보완 입력하여 그 결과값을 비교하고 개선사항을 도출할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문은 OO항공기를 개발하면서 사용자가 요구하는 임무신뢰도를 만족하는지 확인하기 위하여 항공기의 각 부분에 대한 신뢰도 자료(MTBF)를 확보하고 신뢰성 공학에서 일반적으로 다루는 관련 공식들을 이용하여 임무신뢰도를 계산하였다.

OO항공기의 임무 신뢰도는 보정계수를 고려하여 계산하였고, 앞장에서 설명한 바와 같이 OO항공기 임무신뢰도는 95.15%이다. 이 결과는 사용자가 요구하는 값을 만족하였다.

그렇지만 산출된 OO항공기의 신뢰도 값은 현 단계에서 획득가능한 자료에 근거한 예측치로

서 실제 운용에 기초한 실측치가 아니다. 따라서, OO항공기의 신뢰도 값은 장비의 실제 배치 및 운용환경, 그리고 임무 형태 등에 따라 현재 산출된 신뢰도 분석 DATA는 다소의 차이가 있을 수 있다. 따라서 OO항공기의 경우 배치 후 운용기간을 통하여 운용 및 경험자료의 수집이 필요할 것이며, 이러한 자료를 추가 반영하여 분석하는 지속적인 최신화 과정을 통하여 보다 정확한 신뢰도 값에 접근할 수 있을 것이다.

향후에는 이러한 경험자료를 통해 정확한 신뢰도 값을 추산하고 신뢰도 계산방법을 이루는 시스템들을 정량화, 모듈화할 필요가 있다. 이렇게 함으로써 필요한 부분만을 침삭하여 기존 항공기의 임무신뢰도를 분석하거나 새로운 항공기 개발시에도 동일한 방법으로 신뢰도를 좀 더 정확하게 예측, 산출할 수 있는 일반화된 방법을 제시할 수 있도록 하여야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 박경수(1999), “신뢰도 및 보전공학”, 영지문화사
- [2] 백복수(1989), “천마체계 사격임무 신뢰성 분석에 관한 연구”, 국방과학연구소, OFSA-514-89274
- [3] 신용문, 주현준, 정철호, 양승렬(1998), “KTX-1 #05호기 임무신뢰도 예측방안 연구”, 국방과학연구소, ASDC-501-980299
- [4] 국방과학연구소 RAM실(1986), “RAM 기법”, 국방과학연구소,
- [5] 박동호, 백재욱, 이우준, 박정원(2005), “신뢰성 공학”, 한국방송통신대학 출판부
- [6] MIL-STD-1388-2B, “DOD Requirements for a Logistic Support Analysis Record”
- [7] “Reliability Toolkit: Commercial Practices Edition”, RAC(Reliability Analysis Center)