

항공기용 유압 시스템 신뢰도 및 정비도 분석 프로세스 고찰

한창환* 김근배

한국항공우주연구원

A Study on the Reliability and Maintainability Analysis Process for Aircraft Hydraulic System

ChangHwan Han*, KeunBae Kim
Korea Aerospace Research Institute

Abstract : An aircraft must be designed to minimize system failure rate for obtaining the aircraft safety, because the aircraft system failure causes a fatal accident. The safety of the aircraft system can be predicted by analyzing availability, reliability, and maintainability of the system. In this study, the reliability and the maintainability of the hydraulic system are analysed except the availability, and therefore the reliability and the maintainability analysis process and the results are presented for a helicopter hydraulic system. For prediction of the system reliability, the failure rate model presented in MIL-HDBK-217F is used, and MTBF is calculated by using the Part Stress Analysis Prediction and quality/temperature/environmental factors described in NPRD-95 and MIL-HDBK-338B. The maintainability is predicted by FMECA(Failure Mode, Effect & Criticality Analysis) based on MIL-STD-1629A.

Key Words : Reliability, Maintainability, Failure Rate, Hydraulic System, MTBF, MTTR, Part Stress Analysis Prediction

Received: February 25, 2016 / **Revised:** April 27, 2016 / **Accepted:** May 3, 2016

* 교신저자 : ChangHwan Han, hanch@kari.re.kr

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

항공기의 고장은 대형 사고로 이어지기 때문에 고장 발생률을 최소화 할 수 있도록 설계되어야 한다. 즉 항공기 시스템의 신뢰성을 최대로 보장할 수 있도록 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 항공기의 작동 메카니즘에 대한 중요한 역할을 하는 유압시스템에 대한 신뢰성 분석 프로세스를 제시하고자 한다. 시스템의 신뢰성은 고장률(Failure Rate)과 고장과 고장사이의 평균시간 (MTBF)*로 기술하는데, 여기서 MTBF는 가장 일반적인 신뢰성 매개변수이며 값이 증가할수록 신뢰성도 증가하는 특성을 지니고 있다. RAM을 분석하는데 있어 NPRD-95를 기준으로 고장률 및 MTBF를 계산하고 환경 조건 및 변환계수는 신뢰도 분석기준을 근거로 하였으며, RELEX S/W**의 신뢰도 값을 제시하였다. 가용도(Availability)는 고장률(Failure Rate)과 정비성(Maintainability)으로 나타내고, 신뢰도 분석은 구성품의 전 수명(Life Cycle)에 대하여 수행된다. 군 무기체계는 신뢰성의 확보를 위해 체계임무, RAM요구사항 설정, 시험, 자료수집 및 분석 그리고 평가 등 다양한 활동을 수행한다.

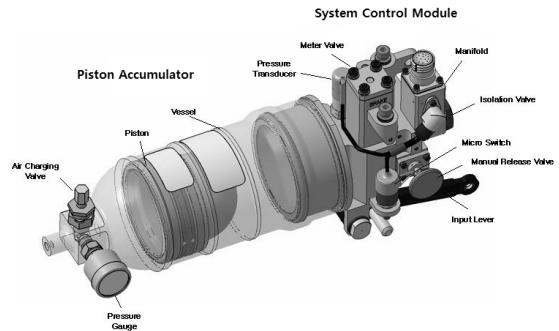
2. 유압장치 구성

2.1 유압장치의 개요

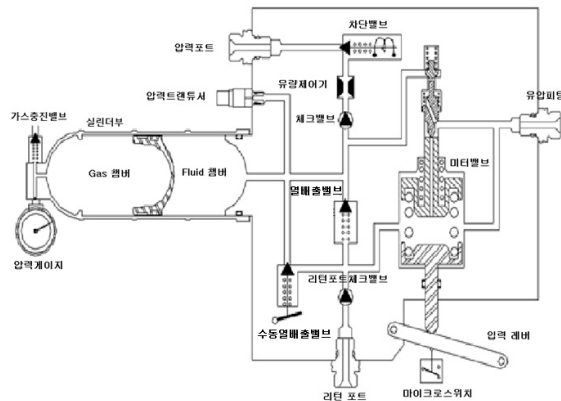
항공기의 유압장치는 형식과 용도에 따라 다양하게 분류되나 역할은 조종계통, 착륙장치 등에 유압의 제공이다. 이러한 계통에 사용되는 축압기는 피스톤 형식으로 맥동제거 또는 압력보상으로 사용된다. 유압시스템은 일반적으로 항공기의 주 유압 3,000psi를 사용하며, 운용고도 20,000피트, 운용 온도 -54℃~57℃의 범위에서 작동된다. 신뢰성은 MIL-STD-785 또는 동등한 규격에 의거하며, MIL-STD-882D에 따른 안정성을 고려하여 설계된다. 본 연구에서, 항공기 및 구성품의 신뢰도 및 정비도 목표값은 비행시간 기준으로 유압장치는 MTBF 4,600, MTTR 0.75으로 설정하였다.

2.2 유압장치의 형상

유압장치는 일반적으로 피스톤축압기 조립체, 피스톤, 가스충진밸브, 압력게이지, 유량제어기 및 압력 트랜스듀서 등으로 구성되며, 피스톤 어큐플레이터와 시스템 제어 모듈로 구분된다. 유압장치 예시형상은 Figure 1과 같으며 구조는 Figure 2와 같다.



[Figure 1] Hydraulic System Configuration^[8]



[Figure 2] Hydraulic System Diagram

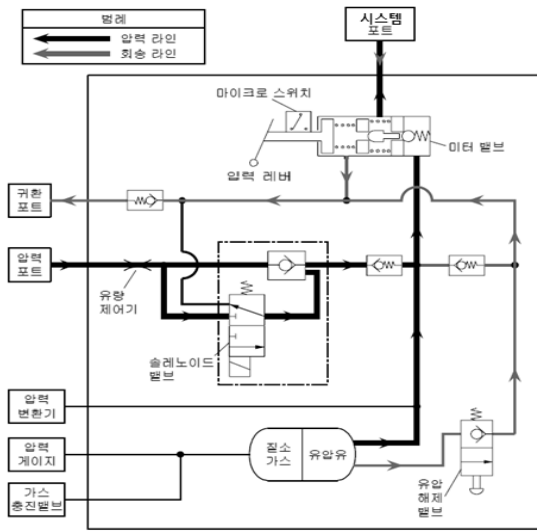
2.3 작동원리

유압장치는 3,000psi의 유압을 압력포트로 공급을 받아 유량제어기를 통해 축압기에 저장된다.

작동원리는 압력레버에 의해 미터 밸브가 작동하

* MTBF (Mean Time Between Failure): 신뢰도척도의 하나로, 수리 가능한 장치의 어떤 고장과 다음 고장 사이, 즉 수리 완료부터 다음 고장까지 無 고장으로 작동하는 시간의 평균값 (TTA 용어사전, 한국정보통신기술협회)

** 미국 PTC가 개발한 신뢰성 분석 전용 프로그램으로 MIL-HDBK-217F의 신뢰성 예측방법에 따라 시스템의 고장률, 신뢰도, 정비도, 가용도를 예측하는 상용 프로그램.



[Figure 3] Schematic of Hydraulic System

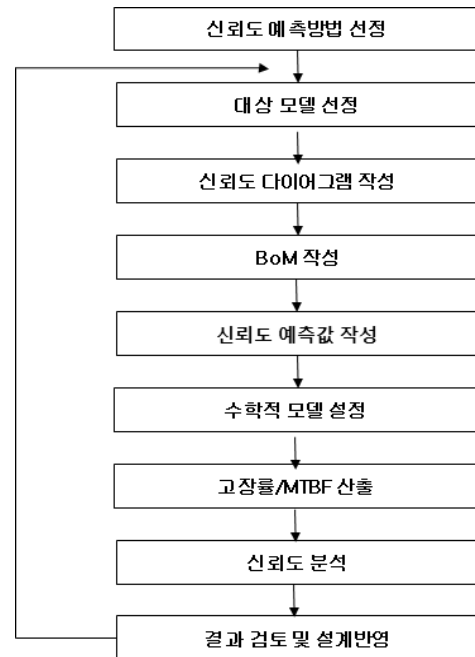
여 축압기의 유압이 해당 시스템 포트에 제공된다. Figure 3은 전형적인 유압장치의 작동 다이어그램을 보여주고 있다.

3. 유압장치 신뢰도 산출

3.1 시스템 신뢰도 예측

신뢰도는 특정 환경에서 일정한 기간 동안 고장(결함) 없이 작동(기능)할 수 있는 확률로 정의할 수 있다. 시스템을 개발할 때 고장 및 수리 가능성이 필수적인 고려사항이며 신뢰도에도 큰 영향을 준다. 신뢰도 요소는 MTBF가 있고, 정비요소로는 MTTR(Mean Time to Repair), MR(Maintenance Ratio) 및 MaxTTR(Maximum Time to Repair) 그리고 가용도 요소로는 가동성 Ao(Operational Availability)를 들 수 있다.

신뢰도 예측방법으로는 MIL-HDBK-217F를 고장률의 모델로 사용하고 고장률 및 고장사이의 평균 시간은 파트부하분석예측(Part Stress Analysis Prediction) 방법에 의해 예측하는데 고장률 및 수명예측은 NPRD-95(Non Electronic Part Reliability Data)를 사용하며 불가동계수, 환경/온도변환계수, 환경조건 등을 적용 예측한다. 시스템 신뢰도 예측 절차는 Figure 4와 같다. BoM(Bill of Material)을



[Figure 4] Reliability Prediction Flow

구성^[11]하고 수학적 모델링을 적용하여 고장률 및 MTBF 산출(예측)은 Relex와 같은 상용 툴이 사용될 수 있다.

신뢰도 예측 수학적 모델은 식 (1)과 같다.

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-t/\theta} = e^{-t/MTBF} \quad (1)$$

여기서 고장률은 지수분포를 따르며, θ 는 평균수명(Mean Life)으로 MTBF와 같은 개념이다. 수리가 가능한 부품인 경우 MTBF는 $1/\lambda$ 이 된다.

3.2 고장형태 분석

고장형태분석은 시스템의 기능을 상실하여 임무 실패를 야기하는 고장이 어떤 형태로 일어나는지를 분석하는 것을 말한다. 고장의 형태는 일반적으로 품질고장(Quality Failure), 스트레스에 의한 고장, 장기사용에 의한 노후화로 구분할 수 있다. 여기서 시간에 대한 고장률은 수명특성곡선(Bath Tub Curve) 형태로 나타난다. 즉 설계나 제조결함에 의하여 초기 스트레스를 견디지 못하여 발생하는 고장기간(초기 고장기간), 시간의 경과에 따라 시스템이나 제품의

<Table 1> Temperature Conversion Factors^[1]

From 온도 (°C)	To 온도(°C)							
	온도	10	20	30	40	50	60	70
10	x	0.9	0.8	0.8	0.7	0.5	0.4	
20	1.1	x	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	
30	1.2	1.1	x	0.9	0.8	0.6	0.5	
40	1.3	1.2	1.1	x	0.9	0.7	0.6	
50	1.5	1.4	1.2	1.1	x	0.8	0.7	
60	1.9	1.7	1.6	1.5	1.2	x	0.8	
70	2.4	2.2	1.9	1.8	1.5	1.2	x	

우발적 변화에 의한 고장기간(우발고장기간) 그리고 일정기간 경과 후 마모 또는 노화에 기인하여 고장률이 증가하는 고장기간(마모고장기간)으로 나타난다. 본 연구에서는 신뢰도 분석은 고장분포가 지수분포를 따르는 가동고장기간을 바탕으로 분석하였다.

3.3 신뢰도 분석

신뢰도는 어떤 시스템이 주어진 환경에서 일정기간동안 고장 없이 제 기능을 수행할 수 있는 확률로 나타낸다. 임무신뢰도(Mission Reliability)와 시스템 신뢰도(System Reliability)의 두 개념으로 표현된다. 신뢰도 분석을 위한 고장률에 대한 자료는 예측 자료를 활용하였다. 즉, 임의의 시간 구간 내에서 실제 작동 중인 부품의 모집단에 대한 고장횟수의 비율로서 가동기간 동안의 고장률(λ)이 된다.

3.3.1 고장률 산출

유압장치의 신뢰도 산출을 위한 운용환경은 운용 온도 54°C, 연간운용시간 300시간으로 하였으며, 회전익기 운용조건으로 유사한 운용환경 등을 고려한 온도변환계수 및 환경변환계수를 적용하였다. 온도변환계수(Temperature Conversion Factor) 및 환경변환계수(Environment Conversion Factor)의 값은 MIL-HDBK-338B에서 기술하고 있는 변환계수를 보정 Factor로 사용하여 산출하였으며 온도변환계수는 Table 1에서 환경변환계수는 Table 2

<Table 2> Environmental Conversion Factors^[1]

From 환경인자	To 환경인자											
	x	G _B	G _F	G _M	N _S	N _U	A _{Ic}	A _{IF}	A _{UC}	A _{UF}	A _{RW}	S _F
G _B	x	0.5	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1.2
G _F	1.9	x	0.4	0.6	0.3	0.5	0.4	0.2	0.1	0.2	0.2	2.2
G _M	4.6	2.5	x	1.4	0.7	1.4	0.9	0.6	0.3	0.5	0.5	5.4
N _S	3.3	1.8	0.7	x	0.5	1.0	0.7	0.4	0.2	0.3	0.3	3.8
N _U	7.2	3.9	1.6	2.2	x	2.2	1.4	0.9	0.5	0.7	0.7	8.3
A _{Ic}	3.3	1.8	0.7	1.0	0.5	x	0.7	0.4	0.2	0.3	0.3	3.9
A _{IF}	5.0	2.7	1.1	1.5	0.7	1.5	x	0.6	0.4	0.5	0.5	5.8
A _{UC}	8.2	4.4	1.8	2.5	1.2	2.5	1.6	x	0.6	0.8	0.8	9.5
A _{UF}	14.1	7.6	3.1	4.4	2.0	4.2	2.8	1.7	x	1.4	1.4	16.4
A _{RW}	10.2	5.5	2.2	3.2	1.4	3.1	2.1	1.3	0.7	x	1.1	11.9
S _F	0.9	0.5	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	x

에서 제시하고 있다. 유압장치의 고장률은 먼저 구성품을 구성하고 있는 부품의 고장률을 산출한 후 이들을 더하여 구성품의 고장률을 산출하였다. 고장률은 고장횟수/운용시간(10⁶시간 기준)으로 정의한다. 식 (2)는 부품 스트레스 분석예측에 대한 고장률의 수학적 모델을 보여 주고 있다.^[6]

$$2\lambda_p = \lambda_b \Pi_T \Pi_A \Pi_R \Pi_S \Pi_Q \Pi_E \quad (2)$$

- 여기서 λ_p : 고장률(Failures/10⁶hr)
- λ_b : 기본적 고장률((Failure/10⁶hrs)
- Π_T : 온도인자(Temperature Factor)
- Π_A : 응용인자(Application Factor)
- Π_R : 등급인자(Rating Factor)
- Π_S : 스트레스인자(Stress Factor)
- Π_Q : 품질인자(Quality Factor)
- Π_E : 환경인자(Environment Factor)

λ_b 는 정상환경(Normal Environmental Condition)에서의 고장률로 MIL-HDBK-217F를 근거하였다. 본 연구에서는 모든 모델에 적용되는 온도인자와 환경인자를 고려하여 고장률을 계산하였다. 특히 품질인자(Quality Factor)는 각 부품에 대한 Mil-Spec(군사규격), Commercial(상용규격) 및 Unknown(확인 불가)의 품질 등급을 적용하였다.

Table 2에서 환경인자는 G_B (Ground Benign), G_F (Ground Fixed), G_M (Ground Mobile), N_S (Naval Sheltered) N_U (Naval Unsheltered), A_{IC} (Airborne Inhabited Cargo), A_{IF} (Airborne Inhabited Fighter), A_{UC} (Airborne Uninhabited Cargo), A_{UF} (Airborne Uninhabited Fighter), A_{RW} (Airborne Rotary Winged), S_F (Space Flight)로 구분하고 있다.^[2]

상세한 내용은 NPRD-95를 참조한다. 유압장치는 실린더 및 피스톤, 다기관, 로드 및 스프링 그리고 밸브로 구성되었으며, 유압장치의 세부 부품통제번호(LCN)별로 품명/수량에 따른 환경/온도조건을 적용한 Relx 소프트웨어의 고장률 예측값은 Table 3과 같다.

<Table 3> Failure Rate Prediction

유압장치 조립체	실린더 및 피스톤	다기관	로드 및 스프링	밸브
고장률(λ) ($\times 10^{-6}$)	40.306	90.223	27.142	9.0432
고장평균시간(MTBF)	24,810.2	11,083.6	36,843.3	110,580.3
운용시간(hr)	300	300	300	300

3.3.2 치명고장률 산출

치명고장간 평균시간(MTBCF)*을 계산하기 위한 치명고장률(Critical Failure Rate)은 고장률에 고장유형비(Failure Mode Ratio)를 곱한 값의 합으로 식 (3)을 적용하여 산출하였으며 결과는 Table 4에서 보여 주고 있다.

$$\lambda_c = \sum_{n=1}^j (\lambda_{component} \alpha) \quad (3)$$

여기서 λ_c : 치명고장률

n : 임무실패 고장유형

j : 임무실패 최종유형

α : 고장유형 비(Failure Mode Ratio)

유압장치의 고장유형^[10]은 구동체 조절 모듈의 손상과 및 피스톤 축압기 조립체의 축압기 파손이며 이들 손상으로 인해 휠 브레이크의 제동 실패를

<Table 4> Estimated MTBCF

구성품 (고장유형)	치명고장률 (λ_c)	고장률 ($\lambda_{component}$)	고장유형비 (α)
유압장치조립체 (축압기 손상)	60.6265×10^{-6}	200.76×10^{-6}	0.302
구동체조절모듈 (브레이크 조절모듈 손상)	139.92275×10^{-6}	200.76×10^{-6}	0.697
계	200.54925×10^{-6}	200.76×10^{-6}	0.999

가져오며 결국은 임무포기를 하게 된다. 여기서 고장유형비는 특정 고장유형에 대한 부품 고장율의 비율이다.^[7]

4. 정비 분석

정비도 분석은 고장유형 치명도 영향분석(Failure Mode & Effects Criticality Analysis)^[5] 등의 수행을 통해 정비요소를 도출하기 위함이다. 유압장치 시스템의 연간운용시간은 운용시간, 대기시간으로 나누어 가용시간을 산출하고, 전체정비시간, 전체 관리 및 보급지연시간인 불가동시간으로 나눈다. Table 5는 유압장치의 연간운용시간을 예로 제시한 것이다.

<Table 5> Non and Operating Time (Estimated)

구분		운용시간
가동시간	운용시간 (Operating Time)	300
	대기시간 (Standby Time)	5,900
불가동시간	총정비시간 (Total Maintenance Time)	1,200
	총행정/보급지연시간 (Total Administration and Logistic Delay Time)	430

* A measure of mission or functional reliability. The mean number of life units during which the item performs its mission or function within specified limits, during a particular measurement interval under stated condition.[2]

정비는 정비인시수, 정비기술 숙련도 또는 연간 가용시간에 따라 정해진다.

4.1 정비업무 기능구분

본 유압장치는 FMECA* 수행 결과를 반영하여 정비소요를 도출하였고 정비단계, 정비형태 및 정비 주기 등의 정비업무를 설정하고 정비절차를 분석하여 정비소요시간, 인시수, 지원장비 등을 검토한다. 주요 정비업무 기능은 Table 6과 같다.

<Table 6> Maintenance Task Function

구분	기능
검사 (Inspection)	육안검사, 타진 또는 감각에 의해 기계적 전기적 특성을 기준과 비교하여 고장탐구를 수행하는 행위
시험 (Test)	기계적 공/유압 또는 전기적 특성 등을 측정하여 사용가능상태를 입증하는 행위
수리 (Repair)	사용가능상태로 복구하는 보수/정비 활동을 하는 행위
제거 및 교환	손상, 오작동 또는 마모된 부품을 새로운 품목으로 교체하기 위한 장 탈착 및 교환하는 행위
서비스 (Service)	사용가능상태로 유지되도록 주기적으로 또는 필요시 세척, 윤활유/가스/연료 등 주입 등이 정비 행위

4.2 정비업무량 추정

정비업무량은 연간업무빈도, 정비소요시간, 소요 인원 및 인시수로 구분하여 추정할 수 있다. Table 7은 고장유형 및 연간업무빈도를 보여 주고 있으며 연간업무빈도는 고장률×연간운용시간으로 산출하였다. 치명도는 헬기 휠 브레이크 부작동이 된다.

<Table 7> 1-Year Maintenance Task Frequency (Estimated)

고장유형	연간업무 빈도(횟수)	정비소요 시간(hrs)	소요 인원
가스충진 결핍	0.0175479	0.29	2
충진 밸브 손상	0.0031863	0.43	3
압력게이지 고장	0.0029913	0.59	2
필터유닛 파손	0.0000518	0.37	2
계	0.0237773	1.68	9

<Table 8> Maintenance Manhour (Calculated)

정비내용	정비소요 시간(hrs)	소요 인원	정비업무량 (인시수)
가스충진	0.29	2	0.005088891
충진밸브수리	0.43	3	0.001370109
압력게이지수리	0.59	2	0.001764867
필터유닛수리	0.37	2	0.000019166
계	1.68	9	0.008243033

MTBF만으로 신뢰성 및 고장주기를 완벽하게 표현하지 못한다. 업무빈도를 계산하기 위해서 각 고장률(Failure Rate)은 가스충진 201.7×10^{-6} , 충진 밸브 24.7×10^{-6} , 압력게이지 16.89×10^{-6} , 필터 유닛 0.46×10^{-6} 을 적용하였으며, 연간운용시간은 Table 3의 연간운용시간 300시간을 적용하였다. 여기서 정비인시수는 한 사람이 1시간 동안 수행할 수 있는 작업량의 측정단위이다.

정비소요시간은 인시수 x 업무빈도로 계산되며 Table 8과 같다.

4.3 정비도 분석

정비도란 고장이 난 장비를 수리하여 그 성능을 규정된 상태로 복구할 수 있는 확률이다. 이는 정비의 용이성, 업무량과 관련되며 시스템의 설계 및 설치에 대한 특성으로 나타나고 MIL-HDBK-472의 정의를 따랐으며, 정비도는 일반적으로 정해진 시간 내에 회복(복구)된 장비 대수(시간)를 총정비수행 대상대수(시간)로 나눈 값으로 나타낸다.^[4]

4.4 평균수리시간

평균수리시간(MTTR)은 주어진 기간 동안에 정비(보수)활동에서 소용된 평균시간으로 식 (4)와 같다.^{[7][9]}

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n [TF_i \times ET_i]}{\sum_{i=1}^n TF_i} \quad (4)$$

* 시스템을 구성하는 모든 부품의 고장유형을 분석하고 고장이 부품과 시스템에 미치는 영향과 원인, 치명도를 분석하는 방법.[7]

여기서 i : i 의 정비(보수)업무, TF_i : i 번째 정비(보수)업무 빈도수(Task Frequency), ET_i : i 번째 정비(보수)업무 소요시간(Elapsed Time), n : 총 정비(보수)업무빈도이다. 이 식은 이상적인 환경에서의 정비(보수)활동에 순수하게 소요된 시간을 의미한다. 정비업무 빈도수는 식 (5)로부터 구할 수 있다.

$$TF_i = \left(\sum_j^m (F_{MR}) \right) \times \left(\frac{F_R}{10} \right) \times A_{OR} \times C_F \quad (5)$$

여기서 j : i 업무의 고장유형, m : i 업무의 고장유형 수, F_{MR} : 고장유형비, F_R : 고장률, A_{OR} : 연간운용소요시간, C_F : 보정계수이다. 고장유형비는 고장유형영향분석(FMEA)에 의해 고장유형별로 배분되며 보정계수는 1로 하였다. 이를 간단하게 나타내면 식 (6)과 같다.

$$TF = \lambda \times \alpha \times t \quad (6)$$

여기서 λ : 고장률, α : 고장유형비, t : 연간운용시간이다.

5. 분석결과 및 토론

고장률의 예측은 “운용시간(Operation)”조건과 “Dormant*”환경조건으로 가정하여 고장률을 산출하였다. 먼저 구성하고 있는 부품들의 고장률을 계산한 다음 이들 고장률로부터 구성품의 고장률을 계산하였다. 고장률 및 MTBF로 계산된 신뢰도 산출결과는 Table 9와 같다.

<Table 9> Reliability Prediction Results (Operating Time)

고장률 (λ) ($\times 10^{-6}$)	치명고장률 (λ_c) ($\times 10^{-6}$)	고장간평균시간 (MTBF)		치명고장간 평균시간 (MTBCF)
		목표	예측	비행시간
166.7142	200.55	4,600	5,998.3	4986.3

<Table 10> Maintainability Prediction Results

정비내용	고장률(λ) ($\times 10^{-6}$)	정비 소요시간	고장률 x 소요시간 ($\times 10^{-6}$)
가스충진	201.7	0.29	58.493
충진 밸브	24.7	0.43	10.621
압력게이지	16.89	0.59	9.9651
필터유닛	0.46	0.37	0.1702
계	243.75	1.68	79.2493

신뢰도는 유압장치를 구성하고 있는 114개의 부품에 대한 MTBF를 구하였다. 치명고장간 평균시간은 고장형태, 고장영향 및 치명도 분석으로부터 구성품별 고장형태 중에서 임무실패를 가져올 수 있는 고장형태만을 합산하여 식 (1)을 적용하여 산출하였다. 신뢰도 예측 프로그램은 RELEX S/W를 이용하여 계산하고 각 구성품마다 NPRD-95의 G_B , G_M 등 환경변환계수 및 온도변환계수를 적용하여 실 환경에 근접할 수 있도록 예측하였다. 산출한 값을 Table 3에 제시하고 있다. 예측결과는 MTBF가 목표값을 상회하고 있음을 알 수 있고, 구성품의 신뢰도가 높게 나타났다. 고장률도 기준시간당 운용시간기준 166.7142×10^{-6} 으로 고장확률이 매우 낮고 치명고장간 평균시간으로 볼 때 치명적인 결함발생도 확률이 낮아 신뢰도가 높은 것으로 추정된다.

또한 정비도를 예측하기 위하여 평균수리시간(MTTR)을 산출하였으며, MTTR은 식 (4)와 (5)로부터 구하였으며, 각 부품은 고장률, 정비소요시간 Table 10과 같다.

식 (4)와 Table 10으로부터 MTTR를 예측하면 0.325이 된다. 따라서 0.75를 목표값으로 할 때 수리복구시간이 매우 적게 소요되어 정비도가 높음을 알 수 있다.

* Component or equipment is connected to a system in the normal operational configuration and experiences non-operational and/or periodic operational stresses. The system may be in a dormant state for prolonged periods before being used in a mission(NPRD-95)

6. 결 론

유압장치의 신뢰성 분석은 운용조건(Operating)에서 Dormant 환경 및 온도 조건에서 변환계수를 활용하였다. 고장률(Failure Rate) 및 고장간평균시간(MTBF)은 MIL-HDBK-217F 및 NPRD-95를 참조하였으며, RELEX Software에 의한 신뢰도 값을 제시하였다. 본 유압 시스템을 수리하는데 소요되는 시간은 시스템 설계에 의해 결정되며, MTTR 분석을 통해 목표 대비 정비도의 적절성을 분석할 수 있었다.

References

1. MIL-HDBK-338B, Electronic Reliability Design Handbook, DoD, 1998.
2. NPRD-95, Non-electronic Parts Reliability Data, 1995.
3. NASA, Systems Engineering Handbook, NASA/SP-2007-6105 Rev1, 2007.
4. MIL-HDBK-472, Maintainability Prediction, DoD, 1966.
5. MIL-STD-1629A, Procedures for Performing A Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, DoD, 1980.
6. DoD, MIL-HDBK-217F, Reliability Prediction of Electronic Equipment, Military Handbook, 1995.
7. DAPA Regulation No. 261, Weapon Systems RAM Guideline, Defence Acquisition Program Administration (DAPA), Dec. 08, 2014.
8. Jinwon Kim, Keunbae Kim, Eunjung Kim, Jonghoo Park, Development and Qualification of Aircraft Accumulator, SASE Spring Conference, 2008.
9. Defence Acquisition Program Administration (DAPA), Integrated Logistics Support (ILS) Development Guidebook, 2013.
10. 지정건, 신건영, 이덕규, 이희성, Life Analysis and Reliability Prediction of Micro-Switches based on Life Prediction Method, Journal of the Korea Society of System Engineering, vol. 7, No.1 : pp.57~69, 2011.
11. Chul Sub Kim, Hi Sung Lee, A Study on the Reliability Methodology of Passenger Door System of Electrical Type, Journal of the Korea Society of System Engineering, Vol. 10, No. 1, pp.43~48, 2014.