

## FIDES의 품질 보증 인자에 대한 신뢰도 예측 비교 분석

윤철환<sup>1,†</sup>, 서진욱<sup>1</sup>, 정성근<sup>1</sup>, 오현웅<sup>2</sup><sup>1</sup>㈜엠아이디<sup>2</sup>한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부 (국방과학연구소 겸임연구원)Comparative Analysis of Reliability Predictions for Quality Assurance Factors  
in FIDESCheol-Hwan Youn<sup>1,†</sup>, Jin-Uk Seo<sup>1</sup>, Seong-Keun Jeong<sup>1</sup> and Hyun-Ung Oh<sup>2</sup><sup>1</sup> MID Co., Ltd<sup>2</sup> Korea Aerospace University School of Aerospace and Mechanical Engineering (Additional post: Agency for Defense Development)

## Abstract

In light of the rapid development of the space industry, there has been increased attention on small satellites. These satellites rely on components that are considered to have lower reliability compared to larger-scale satellites. As a result, predicting reliability becomes even more crucial in this context. Therefore, this study aims to compare three reliability prediction techniques: MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, and FIDES. The goal is to determine a suitable reliability standard specifically for nano-satellites. Furthermore, we have refined the quality assurance factors of the manufacturing company. These factors have been adjusted to be applicable across various industrial sectors, with a particular focus on the selected FIDES prediction standard. This approach ensures that the scoring system accurately reflects the suitability for the aerospace industry. Finally, by implementing this refined system, we confirm the impact of the manufacturer's quality assurance level on the total failure rate.

## 초 록

최근 뉴스페이스 시대라고 불릴 만큼 우주 산업 분야는 점점 커져가고 있으며, 초소형 위성의 중요성도 또한 커지는 추세이다. 초소형 위성은 주로 COTS 부품을 사용하며 우주급 부품에 비해 낮은 신뢰도를 가지고 있지만 개발 기간, 비용, 성능 측면에서 장점을 가지고 있어 사용성이 확대되고 있다. COTS (Commercial Off-The-Shelf)는 상용으로 판매되는 제품을 가리키며, 이는 특정 조직이나 프로젝트에서 직접 제작하는 대신 시장에서 구입하여 사용되는 것을 의미한다. 위성은 발사되는 순간부터 수리가 불가능하기 때문에 신뢰도 예측의 중요성은 크게 작용한다. 근래에는 신뢰도 예측 시 부품에 대한 인자 뿐만 아니라 시스템 level에서의 신뢰도를 예측하는 것이 더 중요하게 적용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 신뢰도 예측 규격인 MIL-HDBK-217F와 업데이트된 RiAC-HDBK-217Plus와 FIDES를 비교해 본다. 그리고 FIDES 예측 기준에서 다양한 산업 분야에 적용될 수 있도록 구성된 제조업체의 품질 보증 요소를 세분화하여 우주 산업에 적합한 점수가 반영될 수 있도록 하였다.

**Key Words :** Reliability Prediction Specification(신뢰도 예측 규격), Small satellite(초소형 위성), Commercial Off-The-Shelf Products(상용 제품), Manufacturer Quality(제조업체 품질), Component Quality(부품 품질), Quality Assurance(품질 보증)

## 1. 서 론

Received: Oct. 25, 2023 Revised: Feb. 19, 2024 Accepted: Feb. 21, 2024

† Corresponding Author

Tel: +82-02-300-0116, E-mail: ohu129@kau.ac.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

우주 산업 분야에서 위성은 지상에서 발사되는 순간부터 위험도에 대한 부담을 가지고 임무를 수행한다. 위성이 발사되고 궤도에 안착하며 임무를 수행하고 수

명을 다하기까지 많은 고장에 대한 위험성이 존재한다. 위성은 다른 전자제품과 달리 수리, 부품 교환 등이 불가능하기 때문에 위성의 발사 전 위성에 대한 운영 수명을 예측하고 위험을 회피할 수 있는 신뢰도 예측의 중요성은 크게 작용된다.

최근 뉴스페이스 패러다임의 시대가 진행됨에 따라 위성 산업의 규모는 점차 늘어나고 있으며 초소형 위성 또한 2014년 7억달러에서 2019년 15.3억 달러로 연평균 약 17%씩 커지고 있다.[1] 초소형 위성은 대형급 위성보다 상대적으로 작은 사이즈로 COTS 부품을 사용함으로써 짧은 개발기간과 저렴한 비용 그리고 고성능 등으로 인해 관심이 점차 확대되고 있다[2]. 그러나 COTS 부품은 우주급 부품에 비해 상대적으로 낮은 신뢰도 값을 가지고 있어 쉽게 부품으로 사용되지 못한다. 이러한 낮은 신뢰도 값은 예측 규격으로부터 계산되게 되는데 가장 큰 원인은 COTS 부품에 대한 보수적인 수치와 COTS 부품의 발전속도에 따라오지 못해 성능에 대한 부정확한 신뢰도 값이 반영되었기 때문이다. 이를 해결하기 위해 FIDES 예측 규격은 부품(Component) 뿐만 아니라 Process(non-Component) 인자를 고려하여 신뢰도를 반영하고 있으며, 고장의 근본 원인을 Process라고 판단하고 그 비중이 약 70%를 차지하고 있다. 그리고 일부 COTS 부품의 보증 수준을 우주급과 동등한 수준으로 놓고 하나의 인자로 계산하기도 한다. 하지만 FIDES는 우주항공에 대한 신뢰도 예측뿐만 아니라 해군, 산업, 군사, 통신, 가전 제품, 자동차, 철도 등 많은 곳에서 사용되고 있다[3]. 다양한 산업에서 규격을 사용 가능하도록 만들었기 때문에 COTS 부품에 대한 제조업체의 품질 보증 수준을 나눌 때 Process 인자에서 분류된 기준은 적절하지 않다.

따라서 본 연구에서는 위성 신뢰도 예측 규격인 FIDES의 Process 인자 중 제조업체의 품질 보증 인자와 item(완성된 제품)의 품질 보증 인자의 값을 우주급과 COTS 부품의 수준에 맞게 재설정한다. 재설정된 인자의 값에 따라 변화되는 신뢰도 예측 값을 비교하여 COTS 부품에 해당되는 점수와 우주급 부품에 적용되는 점수를 비교했을 때 신뢰도의 차이를 계산한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제2장에서는 기존에 나와있는 가장 대표적인 신뢰도 예측 규격인 MIL-HDBK-217F와 업데이트된 RiAC-HDBK-217Plus와 FIDES를 비교하기 위해 각 사용되는 인자들을 비교하여 COTS 부품에 적합한 신뢰도 예측 규격을 제시하고 있다. 제3장에서는 FIDES를 활용하여 COTS 부품의 신뢰도를 예측하기 위해 사용되는 Process 인자 신뢰도 예측에 필요한 인자들을 가지고 품질보증의 카

테고리를 재 구성하여 분류한다. 4장에서는 3장에서 분류된 품질의 카테고리를 적용하여 제조업체의 보증 인자의 값을 변경하여 계산 후 품질 보증 인자가 우주급 부품과 COTS 부품의 신뢰도 예측 값에 미치는 영향을 계산 비교해 본다.

따라서 본 연구에서는 위성 신뢰도 예측 규격인 FIDES를 이용하여 Process 인자 중 제조업체의 품질 보증 인자와 item의 품질 보증 인자의 값에 따라 변화되는 신뢰도 예측 값을 비교하여 COTS 부품에 해당되는 점수와 우주급 부품에 적용되는 점수를 비교했을 때 신뢰도 예측 값을 비교해본다.

## 2. 신뢰도 예측 규격

군용, 우주항공 산업에서 사용되는 신뢰도 예측 규격은 MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES, Telcordia SR-332, RDF 2000/China 299B, HRD5 등 많은 방법론들이 존재한다[4]. 그리고 각 규격의 예측 값은 신뢰도 예측 시 부품 고장률의 적용 범위, 사용 인자 그리고 각 인자가 갖게 되는 비중에 따라 값이 달라지게 된다. 제1장에서는 우주항공 분야에서 가장 많이 사용되는 MIL-HDBK-217F와 MIL-HDBK-217F의 업데이트 버전인 RiAC-HDBK-217Plus와 연구하고자 하는 FIDES 규격을 비교하여 각 규격의 사용되는 인자들을 통해 부품이 적용되는 범위와 특성을 연구한다.

### 2.1 MIL-HDBK-217F

세계 우주기관에서 가장 대표적으로 많이 사용되고 있는 규격은 MIL-HDBK-217F를 이용한 통계적인 방법이 많이 사용된다.[5] MIL-HDBK-217F는 1960년대에 전자 시스템의 신뢰도 예측을 하기 위해 Rome 연구소와 신뢰도 분석센터의 연구를 기반으로 미국에서 처음 개발되었다. 부품에 대한 신뢰도 예측 방법은 두가지로 Part stress analysis와 Part count analysis이다. Part stress analysis는 부품의 BOM과 상세설계가 정해졌을 때 예측할 수 있는 분석법으로 하드웨어와 전자 회로가 설계되는 설계 후반부에 예측할 수 있다. Bill of Materials (BOM)은 제조 과정에서 사용되는 부품 및 원자재의 목록을 나타내는 문서이다. Part count analysis는 부품의 종류와 개수 만으로 신뢰도를 예측하기 때문에 개발 초기에 사용되어 분석할 수 있지만 한정된 인자로 인해 Part stress analysis에 비해 상대적으로 부정확한 신뢰도 예측을 보여준다.

Part stress analysis의 신뢰도 예측 모델은 식(1)과 같다.

$$\lambda_p = \frac{\lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E \text{ Failures}/10^6}{\text{Hours}} \quad (1)$$

여기서  $\lambda_b$  는 기본 고장률,  $\pi_T$  는 온도 요인,  $\pi_A$  는 application 요인,  $\pi_R$  은 정격전력 요인,  $\pi_S$  는 전압 스트레스 요인,  $\pi_C$  는 구성 요인,  $\pi_Q$  는 품질 요인,  $\pi_E$  는 환경 요인이다. 인자들은 승법을 이용하여 신뢰도를 예측하며, 각 인자들의 가중치는 동일하게 적용되어 타 신뢰도 예측 규격에 비해 상대적으로 적은 인자 수들은 각각 신뢰도 예측에 크게 작용된다.[4] 217F의 모델 개발 방식은 현장 고장률 데이터를 수집하고 데이터에 대한 회귀 분석을 수행하여 모델 변수를 정량화되어지고 있다. 하지만 단순한 인자들의 고장 원인만 고려하여 예측을 하고 있으며, 1994년 이후 업데이트가 되지 않아 새로운 부품에 대한 신뢰도 반영이 되어있지 않아 COTS 부품의 신뢰도를 예측 시 오차율이 크게 나타난다.

### 2.2 RiAC-HDBK-217PLUS

217F가 1994년 이후 업데이트가 되지 않으면서 RIAC에서 217Plus를 개발하였다. 217Plus은 217모델의 업데이트된 부품 신뢰성 예측 모델로 고장의 주 원인이 부품에 의해 결정되지만 non-Component가 시스템에 미치는 영향을 고려하여 정량화한 인자를 포함하고 있다.

시스템의 기본 217Plus 고장률 모델은 식(2)와 같다.

$$\lambda_p = \lambda_{IA}(\Pi_P + \Pi_D + \Pi_M + \Pi_S + \Pi_I + \Pi_N + \Pi_W) + \lambda_{SW} \quad (2)$$

여기서  $\lambda_{IA}$ 는 부품 초기 고장률,  $\Pi_P$ 는 Parts 프로세스 요인,  $\Pi_D$ 는 Design 프로세스 요인,  $\Pi_M$ 는 제조 프로세스 요인,  $\Pi_S$ 는 시스템 관리 프로세스 요인,  $\Pi_I$ 는 Induced 프로세스 요인,  $\Pi_N$ 는 무결점 프로세스 요인,  $\Pi_W$ 는 마모 프로세스 요인,  $\lambda_{SW}$  Software 예측 고장률이다. 여기서 Parts는 여러 부품이 이루어져 형성하고 있는 것을 하나의 Part라고 한다. 217F와 다르게 가법과 승법 모형으로 이루어져 있으며,  $\Pi_P$ ,  $\Pi_D$ ,  $\Pi_M$ ,  $\Pi_S$ ,  $\Pi_I$ ,  $\Pi_N$ ,  $\Pi_W$ ,  $\lambda_{SW}$  과 같이 부품 level에서의 고장이 아닌 non-Component의 고장 원인을 하나의 요인으로 두고 self-Audit으로 고장률을 예측하고 있다. 그리고  $\lambda_{IA}$  요인으로 인해 경험적 데이터를 사용하여 신뢰도 예측의 정확도를 높이고 있다. 217Plus는 시스템이 목표한 기능을 수행하지 못하는

데 영향을 미치는 요인들을 고려하여 217F에 비해 상대적으로 신뢰성을 예측하는 더 넓은 범위를 나타내고 있다. 그리고 부품의 유형이 줄어들고 경험적 데이터를 이용하여 신뢰도를 높이고 있다. 하지만 부품의 개별적인 품질의 수준을 반영하지 못하고 있으며, self-Audit으로 인해 정확하지 않은 신뢰도 예측이 반영될 것이다.

### 2.3 FIDES

FIDES는 MIL-HDBK-217에 대한 대안을 제공하기 위해 [6] 프랑스 국방부 주관 하에 2004년 개발되었고 2009년, 2022년에 표준 FIDES 방법론을 업데이트를 진행해왔다. FIDES에서 근본적인 주요 고장의 원인은 부품과 Process 요인으로 구분되며, 부품과 Process의 가중치는 Figure 1과 같이 20%와 80%로 Process에서 고장의 비중이 많이 차지한다.

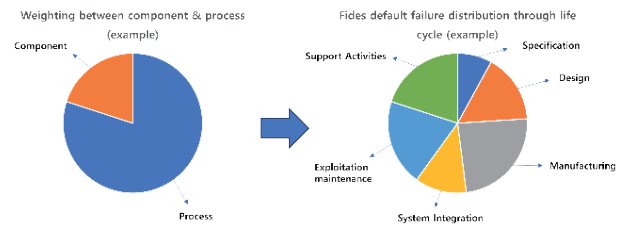


Fig. 1 Root Cause of System Failure

신뢰성에 대한 접근 방식은 제품의 사양부터 운영, 유지 관리까지의 전체 수명 주기 동안 고려하여 주어진 시간 동안 주어진 조건 안에서 필요한 기능을 수행할 수 있는 능력을 평가하고 있다. FIDES는 항공, 우주, 해군, 산업, 군용, 자동차, 가전 제품 등 여러 산업에서 적용 가능하도록 인자를 구성하여 예측을 하고 있으며 부품에 대한 신뢰도 범위에서는 EEE 부품은 물론 COTS 부품까지 고려하여 인자들에 가중치를 반영하고 있다. EEE 부품은 Electrical, Electronic, and Electromechanical 부품으로 전기를 사용하여 특정 기능을 수행하도록 설계 및 제작된 부품을 의미한다. 따라서 COTS에 대한 부품, Subassembly, Board까지 신뢰도 예측이 가능하도록 설계되어 있다.

일반적인 FIDES의 신뢰도 모델은 식(3)와 같다.

$$\lambda = \left( \sum \text{physical\_contributions} \right) \times \left( \prod \text{Process\_contributions} \right) \quad (3)$$

여기서  $\sum physical\_contributions$ 는 신뢰성에 대한 물리적, 기술적 기여 요인,  $\prod Process\_contributions$ 는 개발, 생산, 운영 프로세스가 신뢰성에 미치는 영향을 나타낸다.

FIDES의 방법론은 신뢰도를 예측하기 위해 부품 자체에 대한 성능인 TECHNOLOGY, LIFE PROFILE을 단계별로 나눠 환경을 고려한 USE, Audit을 통한 공정에 대한 관리의 Process 크게 3개의 항목으로 분류된다. 앞서 설명했던 MIL-HDBK-217F와 RiAC-HDBK-217Plus와 FIDES의 신뢰도 예측 규격과 비교했을 때 사용 인자, 계산 방법, 비중 등 많은 부분이 다르지만, 가장 큰 차이점은 FIDES에서 COTS 부품에 대한 신뢰도를 다루고 있다는 점이다. FIDES 규격을 이용하여 초소형 위성의 부품으로 많이 사용되는 COTS 부품에 대한 적절한 신뢰도를 예측한다.

### 3. FIDES를 활용한 COTS 부품의 Process인자 신뢰도 예측

COTS 부품에 대한 FIDES의 예측 모델은 일반적인 FIDES 신뢰도 예측 모델과 크게 다르지 않으며 동일한 인자와 동일한 수식을 통해 예측 값을 추정한다. FIDES의 신뢰도 예측 모델은 식(4)과 같다.

$$\lambda = \lambda_{physical} \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process} \quad (4)$$

여기서  $\lambda_{physical}$ 는 item에 대한 기술적 특성에 대한 물리적 요인,  $\Pi_{PM}$ 은 item의 공급업체와 제조업체에 대한 품질 평가 요인,  $\Pi_{Process}$ 는 Development, manufacturing, usage Process에 대한 품질 및 기술 제어에 대한 감사를 통한 평가 요인이다. 일반적인 부품을 가지고 FIDES 규격의 신뢰도를 예측할 때,  $\lambda_{physical}$ 는 Item의  $\lambda_0$ 의 기본 고장률과  $\Pi_{acceleration}$ 의 Thermal, Electrical, Temperature cycling, Mechanical, Humidity, Chemical등 여러 물리적 스트레스 요인과  $\Pi_{induced}$ 의 기계적, 전기적, 열적으로 가해지는 overstress에 대한 요인을 고려하여 평가된다.  $\Pi_{PM}$ 의 인자의 경우 제조 업체와 부품에 대한 품질 보증의 수준을 가지고 품목과 업체에 대한 품질 보증에 대한 평가를 진행한다. 이 때 제조 업체와 품목에 대한 품질보증 점수는 각각 0,1,2,3으로 점수가 부여된다.  $\Pi_{Process}$ 는 Specification, Design, Board or Subassembly manufacturing, Integration into equipment, Integration into system, Operation and maintenance, Support activities such as quality and human resources에 대한 수백가지의 설문 Audit을 통

해 엔지니어의 프로세스와 컨트롤에 대한 업체의 성숙도를 평가한다.

### 3.1 FIDES의 Process에 관련된 $\Pi_{PM}$ 인자

Process에 대한 신뢰도 예측을 진행할 때 정량적으로 수치화 시키지 못하는 공정에 대해 임의로 수준을 분류하여 점수를 부여해야 하는 어려움이 있다. FIDES 신뢰도 예측 또한  $\Pi_{PM}$ 인자를 계산할 때 품질 보증의 수준을 각각 0~3점까지 평가하며 평가되지 못할 경우 1.7의 고정 값으로 부여한다. 그리고 제조업체의 품질 보증의 수준 Table 1과 제품에 대한 품질 보증의 수준 Table 2와 같이 부품이 평가되는 산업군에 대한 level만이 아닌 FIDES에서 신뢰도 예측 적용이 가능한 모든 산업군에서 사용할 수 있도록 구성되어 있다. 제조업체의 품질 보증 인자는 업체에서 보유하고 있는 품질 certification의 수준을 분류한 것이고, 제품 품질 보증 인자는 업체가 아닌 제품이 보유하고 있는 품질 Certification의 수준을 분류한 것이다. 여러 산업 분야의 신뢰도를 예측하는 FIDES에서는 모든 산업의 품질 정도를 평균적으로 분류하여 부품에 대한 신뢰도를 예측하기 때문에 부정확한 품질 보증 Process의 grade가 선정될 것이다. 산업별 신뢰도를 평가하는 Process grade는 높은 수준의 산업 품질을 요구할 수록 높은 grade가 요구되고 이에 따라 quality assurance level를 높게 평가한다. 예를 들어 우주에 사용되는 COTS 부품을 품질 보증 Process에 대해 평가할 경우 ISO 29001, TL9000 등과 같이 석유나 통신분야와 관련된 제조사의 품질 보증 점수는 자동차급 보다 낮은 grade로 평가해야 할 것이다. 따라서 부품이 사용될 산업에 알맞은 품목에 대한 품질 수준이나 업체에 대한 품질 수준이 부여되어 계산되어 지거나 점수를 더 세분화시켜 적절한 level의 점수를 선택할 수 있도록 해야 한다.

**Table 1** The grades for each certification to distinguish the Manufacturer quality assurance level

Manufacturer quality assurance level	Position relative to the state of the art	QA <sub>manufacturer</sub>
Certified ISO/TS16949 V2002	Higher	3
Certified according to one of the following standards : QS9000, TL9000, ISO/TS 29001, EN9100, AS9100, JISQ 9100, AQAP 2110, AQAP 2120, AQAP 2130, IRIS, IEC TS 62239, ESA/ECSS QPL, MIL-PRF-38535 QML, MIL-PRF-19500	Equivalent	2
ISO 9000 version 2000 certified	Lower	1
No information	Very much lower	0

**Table 2** The grades for each certification to distinguish the Component quality assurance level

Component quality assurance level	Position relative to the state of the art	QA <sub>component</sub>
-----------------------------------	---	-------------------------



Qualification according to one of the following standards: AEC Q100, MIL-PRF-38535 class V, ESA ESCC 90xx, NASDA-QTS-xxxx class I, NPSL NASA level 1	Higher	3
Manufacturer qualification including tests conforming with standards JESD22, EIAJ-ED-4701, MIL-STD-883, IEC 68 with identification of "front-end" and "back-end" manufacturing sites; Qualification according to one of the following standards: MIL-PRF-38535 class Q, MIL-PRF-38535 class M, MIL-PRF-38535 class N, MIL-PRF-38535 class T, NASDA-QTS-xxxx class II, NPSL NASA level 2 & 3, STACK-S0001	Equivalent	2
Qualification program internal to the manufacturer and unidentified manufacturing sites	Lower	1
No information	Much lower	0

### 3.1.1 초소형 위성 COTS 부품의 Manufacturer quality assurance level 분류( $\Pi_{PM}$ )

FIDES 에서 Table 1 과 같이 Manufacturer quality assurance level 을 분류하고 있는 제조업체의 품질 보증의 수준은 0,1,2,3 점으로 산업을 평가하고 있다. 부품 조달 시 부품에 대한 신뢰도를 평가하기 위해 부품에 대한 grade 외에도 제조업체의 신뢰도를 평가하기 위해 공정 전체의 품질 시스템의 평가뿐만 아니라 특정 부품을 제조하기 위한 신뢰성 있는 업체인지 확인해야 한다. 이를 COTS 부품에 맞는 수준으로 재 분류하고 점수를 세분화하여 제조업체의 상대적인 품질 보증 level 을 선택할 수 있도록 한다. 먼저 제조업체의 품질 시스템에 대한 평가를 진행하기 위해서는 두가지의 certification 으로 나눈다. 첫번째는 특정 제품에 품질이 아닌 제조업체 전체에 대한 품질 관리 시스템에 관련된 certification 이다. 일반적으로 많은 업체에서 보유하고 있는 ISO9001 이 그 예이다. 두번째는 MIL-PRF-38535 QML 과 같이 Integrated circuits(Microcircuits)이라는 특정 부품에 대한 시험 및 제작과 관련된 요구사항의 certification 이다. 이는 특정 부품을 제작하기 위해 공정에 대한 인증을 받는 제도이다. 크게 두 certification 으로 분류된 제조업체 품질 보증 수준은 Table 3 과 같이 분류되어 두개의 certification 의 점수를 각각 부여하게 되며 합산한 값이  $QA_{manufacturer}$ 가 된다.

**Table 3** Component quality assurance level for Specific Component Manufacturing certification and quality System certification by Industry Sector

특정 부품 제조 certification			품질 시스템 certification		
Grade	Manufacturer quality assurance level	Position relative to the state of the art	Grade	Manufacturer quality assurance level	Position relative to the state of the art
Space grade	MIL-PRF-38535 QML MIL-PRF-19500	1.5	Aerospace /	Certified ISO/TS 16949 V2002 IEC TS 62239 AS9100 EN9100 JISQ9100	1.5
항공					
Military					

Automotive	IATF 16949 VDA 6.x QS-9000	0.8	기타 산업 및 기본 품질	ISO29001 ISO9000	0.5
Other commercial	-	0.5	No information	-	0
No information	-	0			

### 3.1.2 초소형 위성 COTS 부품의 Component quality assurance level의 분류( $\Pi_{PM}$ )

우주 부품의 Class는 Risk에 따라 A, B, C, D로 분류하여 정의한다. Class A와 Class B는 일반적으로 최적의 임무 설계를 가지며 신뢰성이 높은 우주 등급 부품을 사용하고 Class C는 일반적으로 군용 지상 등급 부품이 사용되며 Class D는 모든 등급 부품을 사용할 수 있으며 상업용 COTS 품목을 사용한다. Component quality assurance level 또한 Manufacturer quality assurance level 분류와 동일하게 모든 부품의 level을 모든 산업에 대해 평가하여 분류되어 있다. 이를 우주 부품의 Class Risk에 따라 COTS부품이 우주 산업에 사용될 때 산업 분야에 따라 품질 보증의 등급을 나눠 Table 4와 같이 총 5개의 수준으로 분류하였다. 분류된 산업은 우주용, 자동차용, 공업용, 기입되지 않은 타 제조 사이트에 대한 인증, 무 보유이며 각각 3, 2.5, 2, 1, 0점으로 나뉜다. Table 2에서 Higher와 Equivalent로 분류 체계를 Aerospace, Automotive, industrial 3가지의 등급으로 산업별 세분화를 통해 Very Higher, Higher, Equivalent로 분류하였다.

**Table 4** Component quality assurance level by Industry Sector

Grade	Component quality assurance level	Position relative to the state of the art	$QA_{component}$
Aerospace	MIL-PRF-38535 class V ESA ESCC 90xx NASDA-QTS-xxxx class 1W NPSL NASA level 1	Very Higher	3
Aerospace	MIL-PRF-38535 class Q MIL-PRF-38535 class M MIL-PRF-38535 class N MIL-PRF-38535 class T NASDA-QTS-xxxx class II NPSL NASA level 2 & 3	Higher	2.5
Automotive	AEC Q100-0xx	Equivalent	2
Industrial	EIAJ-ED-4701 JESD22		
Qualification program internal to the manufacturer and unidentified manufacturing sites	-		1
No information	-		0

### 4. FIDES를 활용한 우주급 부품과 COTS 부품의 Process인자 신뢰도 예측 비교

COTS 부품에 대한 신뢰도를 예측할 때  $\Pi_{PM}$  요인은 COTS 부품 또는 평가 진행이 어려울 경우 1.7의 고정값이 입력되기 때문에 정확하지 않은 값이 산출될 것이다. 따라서 4장에서는 우주급 부품과 Automotive급 COTS 부품의 Table 9와 같은 type의 Microcircuit SRAM을 가지고  $\Pi_{PM}$  인자 값을 3.1.1절과 3.1.2절에 분류된  $QA_{Component}$  를 적용했을 때 부품의 품질 보증 인자와 제조 업체의 품질 보증 인자에 따른 신뢰도 예측 값을 비교한다. 단, SRAM의 우주급 부품과 COTS 부품의 스펙은 동일하다고 가정하여  $\lambda_{physical}$  인자와  $\Pi_{induced}$  인자의 값은 동일한 값으로 적용하며,  $\Pi_{induced}$  에서 평가되는 부품 사용 환경의 영향과 제품 개발할 때 overstress에 대한 설문은 중간 값으로 반영한다. 위성이 운영되는 단계만 고려하여 환경 조건은 Table 8과 같이 적용된다는 가정하에 계산한다.

$\Pi_{PM}$ 은 다음 식(5)와 같다.

$$\Pi_{PM} = e^{\delta_1 \cdot (1 - Part\_Grade) - \alpha_1} \tag{5}$$

$$Part\_Grade = \left\lceil \frac{(QM_{manufacturer} + QA_{item}) \times \varepsilon}{24} \right\rceil \tag{6}$$

여기서 식(5)에서  $\delta_1$ 과  $\alpha_1$ 는  $\Pi_{PM}$ 이 신뢰도에 미치는 영향의 진폭을 결정하는 상관 요인으로  $\delta_1$ 는 1.39,  $\alpha_1$ 는 0.69의 고정된 값을 가진다.  $QM_{manufacturer}$ 는 제조업체의 품질 보증 기준,  $QA_{item}$ 는 부품 품질 보증 기준,  $\varepsilon$ 는 공급자와 부품 구매자의 경험 인자이다. 우주급 부품의 경우 Table 6과 같이 MIL-PRF-38535 class Q급 부품과 MIL-PRF-38535 QML과 AS9100의 specification을 보유하고 COTS 부품의 경우 Table 7과 같이 AEC Q100-001급 부품과 IATF 16949와 QS9000를 보유한다고 가정한다.  $\varepsilon$ 는 Table 5와 같이 분류되어 있으며, 인정된 제조업체라고 가정하여 최고 점수로 평가한다.

**Table 5** Model associated with the experience factor  $\varepsilon$

Description of the risk related to use of this manufacturer	Value of the $\varepsilon$ factor
Recognized manufacturer: Mature Processes for the item considered	4

Recognized manufacturer – Processes not analyzed or not mature for the item considered	3
Manufacturer not recognized (for example never audited or audited more than 6 years earlier) or small series productions	2
Previous disqualification or problem with feedback from operations	1

**Table 6**  $QA_{Component}$  for the Manufacturer quality assurance level of a Company Holding MIL-PRF-38535 QML and AS9100

Grade	Component quality assurance level		$QA_{Component}$
	MIL-PRF-38535 class Q		2.5
Aerospace	특정 부품 제조 certification	Score	3
	MIL-PRF-38535 QML	1.5	
	품질 시스템 certification	Score	
	AS9100	1.5	

**Table 7**  $QA_{Component}$  for the Manufacturer quality assurance level of a Company Holding IATF 16949 and QS9000

Grade	Component quality assurance level		$QA_{Component}$
	AEC Q100-001		2
Automotive	특정 부품 제조 certification	Score	1.8
	IATF 16949	0.8	
	품질 시스템 certification	Score	
	QS9000	1	

FIDES에서 제공하는 틀을 이용하여 해석을 진행한 결과 Table 10, Table 11과 같이 우주급 부품의 결과 고장률은 6709.9667FIT이며, 자동차급 부품의 고장률은 9934.0819FIT로 계산되었다. 고장률에 영향을 끼치는 환경적 요인으로는 Thermal, Thermal Cycling에 대한 인자에만 고장률이 도출되었고 나머지 인자들은 우주의 진공상태로 고장률이 없기 때문에 0의 값으로 도출되었다. FIDES 신뢰도 예측 방법론의 경우 70%의 고장원인이 Process (non-Component)에 있다는 것을 반영하여 예측하기 때문에  $\Pi_{PM}$ 과 같은 인자를 결정짓는 품질 보증의 수준들은 고장률 예측 값에 크게 작용된다. 이에 부품이 사용되는 산업별로 품질 보증의 수준을 더 세분화하고 객관적인 수치로 0정량화 하여 Process에 대한 인자를 평가할 수 있도록 정확한 신뢰도 예측 설계가 요구된다.

Phase name	On / Off	Calendar time (hours)	Temperature		Temperature cycling			Humidity	Mechanical	Chemical			
			Ambient temperature (°C)	$\Delta\tau$ (°C)	Cycle duration (hours)	Number of cycles (/Phase)	Maximum temperature during cycling (°C)	Relative humidity (%)	Random vibrations (Grms)	Saline pollution	Environmental pollution	Application pollution	Protection level
PH1	ON	4,380 h	32.50 °C	35.00 °C	1.67 h	5110	50.00 °C	0	0.00 Grms	Low	Low	Low	Hermetic
PH2	ON	4,380 h	-2.5 °C	35.00 °C	1.67 h	5110	15.00 °C	0	0.00 Grms	Low	Low	Low	Hermetic

**Table 8** Environmental Conditions Considered During Satellite Operational Phase (Temperature, Temperature cycling, Humidity, Mechanical, Chemical)

**Table 9** Example of Space-Grade SRAM Type for DRAM Memory Function

Name	Component type	Description	Quantity
SRAM	Central digital functions	DRAM memory function (DDR-SDRAM, SGRAM)	1

**Table 10** FIT of Space-Grade SRAM Components Using FIDES Reliability Prediction Analysis Technique

Data		Classification		Percentage
Stress	FIT	Stress	FIT	%
Thermal	287.791	Thermal Cycling	6422.175434	0.9571099
Thermal Cycling	6422.175	Thermal	287.791288	0.0428901
Mechanical	0		0	0
Humidity	0		0	0
Thermo-Elec	0		0	0
chemical	0		0	0
Electrical	0		0	0

**Table 11** FIT of Automotive-Grade SRAM Components Using FIDES Reliability Prediction Analysis Technique

Data		Classification		Percentage
Stress	FIT	Stress	FIT	%
Thermal	426.073	Thermal Cycling	9508.007956	0.9571099
Thermal Cycling	9508.007	Thermal	426.0739813	0.0428901
Mechanical	0	Mechanical	0	0
Humidity	0	Humidity	0	0
Thermo-Elec	0	Thermo-Elec	0	0
chemical	0	chemical	0	0
Electrical	0	Electrical	0	0

### 5. 결 론

본 연구에서는 위성에서 사용되는 신뢰도 예측 규격 MIL-HDBK-217F, MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus을 비교하였다. 그리고 COTS부품을 사용한

초소형 위성에 적용하기 적합한 FIDES를 이용하여 Process의 인자 중 부품과 제조 업체의 품질 보증 수준을 재작성 하고 우주급과 COTS부품에 대한 신뢰도 예측 값을 비교하였다.  $\Pi_{PM}$ 인자 이외의 입력되는 데이터들은 실제 스트레스 환경과 Phase를 나누는데 한계가 있어 대략적인 정보를 적용하였으며, FIDES에서 제공하는 Tool을 이용하여 신뢰도 예측 고장률을 계산하였다.

FIDES를 이용한 품질 수준의 차이의 대한 신뢰도 예측 고장률을 비교해본 결과 약 1.48배 고장률이 높게 나왔으며, 이는 제조업체의 품질 보증 수준의 인자가 전체 신뢰도 예측에 미치는 영향이 크게 작용된다는 것을 알 수 있다.

FIDES 신뢰도 예측 규격은 우주급 부품뿐만 아니라 COTS 부품의 성능 발전 속도에 맞춰 계속적으로 개선되며 발전되고 있다. 하지만 COTS 부품의 적절한 인자 값을 적용하기에 한계가 있다. 따라서 정확한 인자의 값을 도출하기 위해 Process 관련 인자들에 대해 점수항목을 세분화하고, 그 세분화된 점수는 사용되는 산업에 알맞은 점수로 배분되어야 할 것이다.

민감도 분석까지 진행하고자 하였으나, 실제 부품의 신뢰도를 예측하고 비교할 수 있는 데이터 확보의 어려움이 있어 비교 분석만 진행하였습니다. 향후 연구에서는 실제 부품을 가지고 제조업체 품질 보증 수준 및 산업 분야에 대한 등급을 구분하여 FIDES 규격과 신뢰도 값을 비교 분석할 계획이다.

### 후 기

본 논문은 국방과학연구소의 2019 미래도전기술개발사업 PM 기획사업(초소형 SAR 위성군 설계 및 제작을 통한 운용능력 확보)을 통해 도출된 연구결과입니다.

## References

- [1] KAI(KOREA AEROSPACE INDUSTRIES), (<http://www.kai-webzine.com>)
- [2] Jeong, Seong-Geun, Lee, Chang-Soo, Seo, Jin-Wook, Kim, Yoon-Sung, Lee, Sang-Won, Jung, Ki-Hyun, & Oh, Hyun-Woong, "A Study on Guidelines for the Utilization of COTS Components in Small Satellites," Proceedings of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Annual Conference Abstracts, pp. 423-424, Nov 2020.
- [3] FIDES, FIDES guide 2009 Edition A, pp. 16, 2009.
- [4] Oh, Jae-Yun, Sang-Chul Park, and Joong-Soon Jang, "Sensitivity Analysis for Reliability Prediction Standard: Focusing on MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES," *Journal of Applied Reliability*, vol. 17, no. 2, pp. 92-102, Jun 2017.
- [5] Yoo, Ki-Hoon, Kim, Gi-Young, Ahn, Yeong-Gi, Cha, Dong-Won, Shin, Goo-Hwan, Kim, Dong-Guk, Chae, Jang-Soo Jang, Joong-Soon, "Reliability Prediction of Satellite by Function Analysis. Journal of applied reliability, vol. 15, no. 1, pp. 44-51, Mar. 2015.
- [6] Carton, Patrick, Michel Giraudeau, and Franck Davenel, "New FIDES models for emerging technologies," *In 2017 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, pp. 1-6, January 2017.