

# 항공기용 부품의 신뢰성과 FMEA 적용

## Reliability of Airborne Parts and FMEA Application

이백준\*, 유승우, 진영권(한국항공우주연구원)

### 1. 서론

산업의 발전은 제품의 고급화, 다기능화 및 고기능화를 가져와 제품의 구조가 이전에 비해 더욱 더 복잡해지고 있으며 구성부품의 수도 적게는 수십 개, 많게는 수만 개, 수십만 개에 이르고 있다. 또한, 최근 글로벌 경쟁이 심화됨에 따라 제품 신뢰성이 경쟁력 확보를 위해 시급한 과제로 대두되고 있으며, 국내 기업들도 개발기간이 단축되고 신기술을 적용한 제품 개발이 확대되면서 빠른 시간 내에 미래에 발생할 고장을 예방하고 소비자가 요구하는 신뢰성을 보증할 수 있는 신뢰성 기술의 중요성과 필요성을 인식하기 시작했다.

이는 항공산업에서도 마찬가지여서 항공기 및 관련 부품은 복합적인 첨단기술과 시스템적인 성능 시현을 적용함에 따라 설계부터 생산의 전 과정에 걸쳐 안전성/신뢰성 평가를 통한 불확실성 제거가 필수적이 되었다.

### 2. 신뢰성

신뢰성은 시스템이나 기기, 부품 등이 규정된 조건에서 주어진 기간 동안 의도한 기능을 만족스럽게 수행할 가능성을 말하는 것으로, 신뢰성의 개념은 1940년대 독일에서 V1, V2 미사일을 개발하면서 도입되었으며, 전자공학 및 유도미사일 분야의 발달과 더불어 본격적으로 연구되기 시작했다. 특히 2차대전 중 극동지방에 수송된 항공장비의 60%가 도착시점에 결함이 발생하고, 창고에 보관한 군용 예비장비의 50%가 사용 전에 고장을 보이는 등 군용장비의 운용에 있어서 어려움으로 인하여 신뢰성에 대한 연구가 시작되었으며, 2차대전 직후부터 평균고장횟수 또는 평균고장률의 개념을 적용한 신뢰성기법들이 개발되기 시작하였다.

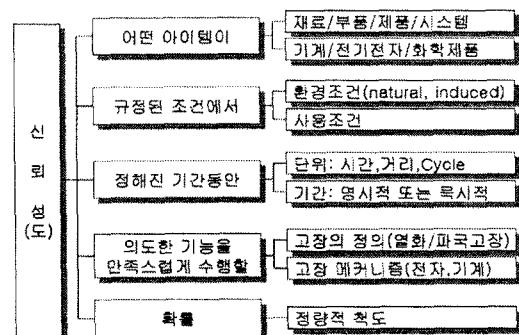


그림 1. 신뢰성의 정의

이러한 추세에 따라 현재의 신뢰성은 기업의 마케팅 전략으로서 부상하고 있으며, 과거에는 개발 이후에 신뢰성을 보증하는 측면에 중점을 두었지만 최근에는 이를 사전에 예방하기 위한 활동, 즉 신뢰성 설계에 대한 중요도가 높아지고 있다. 또한, 70-80년대에는 통계적/정성적 기법과 시험평가를 중요시 한 반면에 최근에는 고장물리/분석을 통한 결합제거와 가속시험을 중요시하고 있으며, 시제품(prototype)이 나오기 전에 시뮬레이션을 이용하여 취약부위와 신뢰성 예측을 하는 virtual qualification 기법을 설계단계에서 활용하기도 한다.

표 1. 신뢰성 연구 동향 및 분야

기간	주요 특성	분야
1945 - 1960	· 소수제품의 정상시험 · 신뢰성 데이터 수집 · 고장 분석	최종 검사 (Final Inspection)
1960 - 1975	· 가속 수명 시험 · 통계적 프로세스 관리(SPC) · 고장 물리 · 신뢰성 예측	관리 (Control)
1975 - 1990	· 고장 예방 · 프로세스 신뢰성 · 스크리닝 계획 · 신뢰성 시험	보증 (Assurance)
After 1990	· 전사적 품질 관리(TQM) · 동시 공학(CE) · 신뢰성 설계/제작 · 획득 개선	경영 (Management)

### 3. FMEA

고장모드와 영향분석(FMEA, Failure Mode and Effect Analysis)은 정성적인 신뢰성 평가 방법으로서, 제품 설계단계에서 반복적으로 사용하여 잠재적인 고장모드의 판별과 개별적인 고장모드의 최종영향, 그리고 고장영향의 치명도를 추출할 수 있다. FMEA는 적용하고자 하는 목적과 대상에 따라 매우 다양한 형태가 있으며 FMECA(Failure Mode and Effect Criticality Analysis), HAZOP (HAZard OPerability Study) 등 발전된 형태들이 있으나, 그 핵심은 시스템에 발생하는 고장에 대한 이해와 신뢰성을 향상시키기 위한 설계 및 공정변경에 대한 방법을 제시하는 것을 그 목적으로 하고 있다.

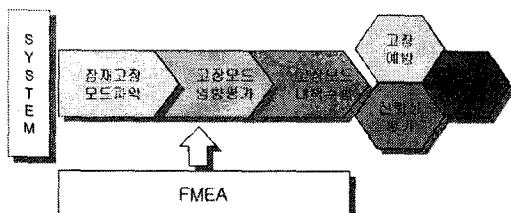


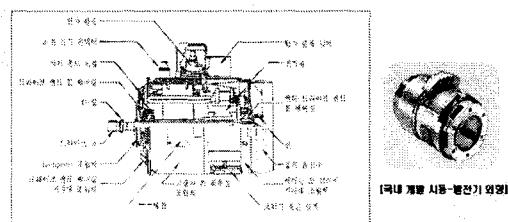
그림 2. FMEA의 목적

### 4. 항공기용 부품의 신뢰성 분석

항공기의 전기시스템은 전기의 발생, 변환,

저장, 분배 및 배선, 제어 및 작동 등에 필요한 요소로 구성된다. 이러한 전기 동력은 엔진의 기어박스에 장착되어 있는 발전기를 통해서 공급되는데, 발전기는 주엔진의 기어박스에 장착되는 주발전기(Main Generator)와 보조동력장치(APU) 등에 장착되는 비상발전기(Emergency Generator)로 구분된다.

본 연구에서 신뢰성 분석 대상으로 삼은 시동-발전기는 엔진을 시동할 때는 시동기(Starter) 역할을 하고, 규정된 회전속도 이상에 도달하면 발전기(Generator) 역할을 하는 발전기이다. 이 시동-발전기는 기술표준품 형식승인 대상에 해당한다.



#### 4.1 기능/구조 전개

시스템에 요구된 기능, 그리고 시스템이 갖고 있는 구조를 명확히 파악하기 위해서는 그 내용을 계층적으로 전개하여 검토할 필요가 있다. 특히, 복잡한 시스템이나 제품의 경우, 그 기능과 구조를 잘 이해하고 있다 할 지라도 빠뜨리기 쉬운 요소가 항상 내재하고 있으므로 기능 전개나 구조 전개를 통해 시스템에 요구되는 기능은 무엇인가, 그리고 이 시스템이 어떤 서브시스템, 부품 등으로 구성되어 있는가를 충분히 검토하여야 한다. 다음은 시동-발전기에 대한 기능/구조 전개를 수행한 그림이다.

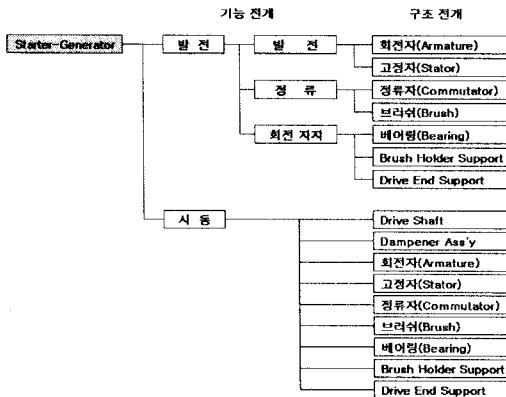


그림 4. 시동-발전기 기능 및 구조 전개

#### 4.2 고장모드, 메커니즘 및 원인 분석

대상 시스템에 대해 고장모드, 고장 메커니즘 및 그 원인은 설계정보(도면, 규격, 지침, 재료 등), 사용/환경조건, 물류조건, 유사 제품에 대한 이력, 시험 결과, 고객 사용정보, 불만사항, 조치사항 등을 토대로 브레인스토밍 기법을 사용하여 검토한다.

#### 4.3 중요도 평가

FMEA 실시에서 중요도 평가란 열거된 각각의 고장모드에 대해 권고, 시정조치를 취하기 위한 상대적인 우선순위를 정하는 작업이다. 중요도 평가를 실시하기 위해서는 평가항목과 각 항목별 판단기준 등을 정한 평가기준이 필요하며, 그 평가기준은 FMEA의 실시 대상, 개발단계, 사용하는 FMEA 워크시트 등에 따라 다양하다.

각 항목별 판단 기준은 대개 3~5 또는 10수준으로 설정하며, 각 고장모드별 종합적 중요도는 각 평가항목별 평가치(계수)를 전부 곱한 위험우선수(RPN, Risk Priority Number)로,  $RPN = (\text{영향도의 계수}) \times (\text{발생빈도의 계수}) \times (\text{검지도의 계수})$ 로 나타낸다.

이상과 같이 BOM(Bill of Material) 등 제품개발단계에 활용되는 정보 및 대상 아이템을 기능적인 측면을 고려하여 기능/구조 전개를 수행하고, 브레인스토밍 등의 기법을 사용하여 고장모드, 고장 메커니즘 및 그 원인과 영향을 검토하여 영향도, 발생빈도, 검지도 등의 기준을 이용해서 그 중요성을 평가한 결과를 FMEA 워크시트에 정리한다. 시동-발전기에 대한

FMEA을 수행하고 작성한 워크시트의 일부를 그림 5에서 보여주고 있다.

고장모드와 임향분석 Failure Mode and Effects Analysis						
고장모드	임향분석(FMEA)	고장모드	임향분석(FMEA)	고장모드	임향분석(FMEA)	고장모드
Starter parameter	회전자에 미친 충격					
	1. 회전 저항 2. 충격 저항	1. 회전 저항 2. 충격 저항	1. 회전 저抵抗 2. 충격 저抵抗			
	3 2	3 2	3 2	3 2	3 2	3 2
	3 2	3 2	3 2	3 2	3 2	3 2
	3 2	3 2	3 2	3 2	3 2	3 2
Motor	회전자 방진 툴 위치 1. 무할진 툴 위치 2. 무할진 툴 위치	회전자 방진 툴 위치 1. 무할진 툴 위치 2. 무할진 툴 위치	회전자 방진 툴 위치 1. 무할진 툴 위치 2. 무할진 툴 위치	회전자 방진 툴 위치 1. 무할진 툴 위치 2. 무할진 툴 위치	회전자 방진 툴 위치 1. 무할진 툴 위치 2. 무할진 툴 위치	회전자 방진 툴 위치 1. 무할진 툴 위치 2. 무할진 툴 위치
	2 2	2 2	2 2	2 2	2 2	2 2
	3 2	3 2	3 2	3 2	3 2	3 2
Subord a	회전자 축전 저지	회전자 강입 소스발생				
	3 2	3 2	3 2	3 2	3 2	3 2

그림 5. 시동-발전기 FMEA 일부

FMEA는 시스템의 고장모드, 아이템, 기능, 부품을 확인하고, 설계의 차상위 레벨에 대한 영향을 결정하는 체계적인 방법으로, 상향식 분석 방법을 사용하는 정성적 신뢰성 평가 및 고장해석 방법이며, 이와는 반대로 최상위의 위험 사건으로 시작하여 하위수준 쪽으로 모든 단일 결함과 시스템 기능 블록의 고장 조합을 결정하는 결합트리분석(FTA, Fault Tree Analysis)이 있는데, 이는 FMEA와 상호 보완적 관계로 FMEA 결과를 활용하여 FTA도 수행할 수 있다. 본 연구에서는 시동-발전기 중 시동기 작동불량에 대한 결합트리를 구성해 보았으며, 그림 6과 같다.

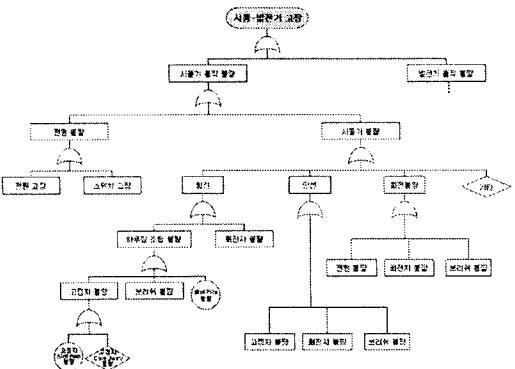


그림 6. 시동-발전기 FTA 일부

#### 5. 결론

국내 항공산업의 기술수준은 설계, 제작조립, 기능형 부품의 설계능력, 시험평가 등은 선진국의 50~70% 수준에 도달하는 것으로 평가되고 있으나, 우리나라의 항공기 개발 사업은 연구기

관 및 산업체가 국내 수요에 기반을 둔 군용기 위주로 연구개발을 수행함으로써 선진항공국 수준의 항공기 및 부품의 기준에 부합하는 안전성/신뢰성 분석 및 평가 기술을 개발하기 위한 체계적인 연구가 수행되지 않았고, 민간용 항공제품에 대한 안전성/신뢰성 분석기술을 적용한 경험은 거의 없는 실정이다.

이에 신뢰성에 대한 정의와 연구동향, 정성적인 신뢰성 평가 방법으로 제품 설계단계에서 사용되는 고장모드와 영향분석(FMEA)에 대한 것을 살펴보고, 기능/구조전개, 고장모드, 원인 및 영향, 중요도 등 FMEA의 수행절차를 항공기용 시동-발전기에 적용하여 보았다.

향후 이러한 기술을 적용함으로써 국내에서 개발되는 항공기용 시스템 및 부품의 안전성/신뢰성을 확보하여 설계기술 고도화를 촉진하고, 개발될 항공 제품의 경제력 강화에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. "고장모드 및 영향, 치명도 해석", 송준엽외4, 교우사, 2005
2. "신뢰성 사례 분석 평가", 정해성외2, 영지문화사, 2004
3. "신뢰성 예측 가이드", (주)모아소프트 신뢰성기술연구소, 교우사, 2002
4. SAE ARP5580, "Recommended Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Practices for Non-Automobile Applications", SAE, 2001
5. MIL-STD-1629A, "Procedures for Performing a Failure Mode, Effects And Criticality Analysis", DoD, 1980