

論文

항공기 개발단계에서의 신뢰도 예측 정확도 향상에 관한 사례연구

김영일*, 변광식**, 김한태**

Case Study on Improvement of Reliability Prediction Accuracy in Development Phase for Aircraft

Young-Il Kim*, Kwang-Sik Byun**, Han-Tai Kim**

ABSTRACT

In development phase of the Aircraft Systems, the reliability prediction of electronic equipments are usually performed using MIL-HDBK-217. The reliability of fielded electronic systems, however, used to be underestimated with MIL-HDBK-217. To solve this problem, some alternatives are suggested and Telcordia SR-332 is among them. In this case study, the reliability of ESU which controls gas turbine engine is predicted using Telcordia SR-332 along with the development test data. The predicted reliabilities of ESU using Telcordia SR-332 and MIL-HDBK-217 are also compared. As a result this case study showed that the predicted reliability using Telcordia SR-332 was better close to field(operation) reliability than MIL-HDBK-217.

Key Words : Reliability Prediction; MTBF(mean time between failures); Failure Definitions; Parts Count Analysis; Environmental Condition

1. 서론

오늘날 항공기체계의 신뢰도는 시스템 설계의 대안을 비교분석하는 척도로 활용될 뿐만 아니라 항공기 안전성, 효과도 분석, 비용분석 및 가용성 등 중요한 요소 또는 분석의 척도로 사용되고 있다. 따라서 항공기 설계 초기단계에서부터 시스템의 신뢰성과 관련한 분석을 위해서 신뢰도 예측을 하게 되는데, 신뢰도 예측은 주로 시스템(또는 조립체, 부품)의 고장률을 예측함으로써 이루어진다.

특히, 항공기에서 특정 시스템의 고장률 예측은 비단 신뢰성 분석이라는 그 자체의 의미를 넘어서 수리부속, 정비방안, 수명주기비용 등 관련분야에 미치는 영향이 매우 중요한 요소로 작용하고 있다.

일반적으로 항공기 무기체계에 포함되어 있는 전자장비에 대한 신뢰도 예측은 미국 국방성에서 1965년에 제정하여 1995년에 F버전 Notice 2를 마지막으로 발간된 MIL-HDBK-217F N2(1995) 규격을 이용한다.

MIL-HDBK-217은 전기전자 부품의 신뢰성 척도와 계산 방식을 기술하고 있으며, 세계적으로 가장 광범위하게 활용되는 규격이자 국내 항공기 등 무기체계 신뢰성 분석업무가 도입된 1980년대 이래 전자장비에 대한 신뢰성 분석에 활용되어 왔다. 하지만 오늘날 무기체계에 있어 주요 문제점들 중의 하나는 저(低) 신뢰성 문제로 예측 신뢰도와 필드(운용) 신뢰도간의 불일치 문제이며 특히, 지난 수

2009년 11월 16일 접수 ~2009년 12월 26일 심사완료

* 항공우주연구원 항공연구본부

교신저자, yikim@kari.re.kr

** 삼성테크윈 파워시스템연구소

십년 동안 야전에 배치된 전자장비의 필드(운용) 신뢰도는 예측 신뢰도보다 더 낮은 수준을 보여왔으며, 결과적으로 이러한 예측 신뢰도와 필드(운용) 신뢰도의 불일치는 신뢰도 예측의 근본 목적인 운용 준비태세의 최대화와 수명주기비용의 최적화를 저해시켰다.

실제 항공기 운용환경 하에 측정된 필드 MTBF(mean time between failures)와 예측 MTBF 간의 큰 차이를 지적하는 많은 연구들이 발표되었는데, Kern (1978)는 10여종의 각각 다른 항공기로부터 16개의 항공 전자장비의 예측 MTBF와 필드 MTBF와의 관계를 연구하여 불일치 비율을 2.1:1부터 9.1:1까지로 제시하였다. 한편, Montemayor (1982)는 항공기 레이더의 예측 신뢰도와 필드(운용) 신뢰도간의 차이를 연구하여 그 원인으로 MTBF 예측과 필드 MTBF 추정 시 고장 정의(failure definitions)의 차이를 지적하였으며, 불일치 비율을 5:1로 제시하였고, Table. 1과 같이 예측 신뢰도와 필드(운용) 신뢰도간의 차이를 제시하였다.

이러한 항공기체계 필드(운용) 신뢰도의 부정확한 예측은 값비싼 대가를 지불해 왔는데, Kolston, et al.(1983)은 신뢰도의 부정확한 예측에 기초한 장비의 최초 예비부품의 공급 및 조달은 프로그램 자원(program resources)의 비최적 분배를 초래하였고 결과적으로 운용 준비태세를 저하시켰다고 지적하였으며, Cougan and Kindig(1979)는 야전 배치된 레이더의 필드(운용) 신뢰도를 조사하여 매우 낮은 필드(운용) 신뢰도와 운용 준비태세, 그로 인한 높은 수명주기비용이 수반됨을 확인하였다.

Table. 1. 예측 신뢰도와 필드(운용) 신뢰도간의 차이

Equipment	Reliability Ratio	
	Predicted	Field
Airborne Avionics	> 20.0	: 1
Airborne Transport	2.3	: 1
Airborne Composite	7.7	: 1
Airborne Fighter	9.1	: 1
Airborne Radars	5.0	: 1

한편, 예측 신뢰도와 필드(운용) 신뢰도 차이의 근본원인에 대한 관심이 증가하게 되었는데, MacDiarmid (1985)는 이러한 불일치의 원인으로, 첫 번째는 신뢰도 예측 모델들을 이용해서 일관되게 필드(운용) 신뢰도를 예측하기가 불가능하다는 것과, 두 번째로는 신뢰도 요구조건들 보다는 성능 요구조건들을 만족시키는데 더 많은 노력을 기울

인 결과로 시스템 배치 전 신뢰성 시험에 상대적으로 소홀이 하였음을 지적하였다. 또한, Muglia, et al. (1972)은 MTBF 예측 기법들을 비교하여 전술항공 항법장치(tactical air navigation system)에 대한 13년간의 실제 데이터분석 결과를 기초로 신뢰도 차이를 연구하여, 추정된 시스템 MTBF는 요구(목표) MTBF의 0.16~6.5배까지 다양하며 원인은 MTBF를 추정하는 방법에 있다고 지적하였다. Lynch and Phaller (1984)는 7년 동안 ECM(electronic countermeasures) 시스템을 통하여 예측 대비 시험(입증) MTBF간의 불일치를 조사하여, MIL-HDBK-217 예측모델의 어떤 고유한 가정들이 이러한 차이의 원인이 되는지를 제시하였다. 또한, Shelly and Stovall(1976)은 시험(입증) MTBF와 필드 MTBF간의 관계를 다양한 조정 계수(adjustment factors)를 이용하여 입증 신뢰도와 필드(운용) 신뢰도간의 수학적 관계를 설정하기 위한 변환모델을 제시하였다.

특히, 전자장비 신뢰도 예측모델인 MIL-HDBK-217의 가정과 원리가 예측 신뢰도와 필드(운용) 신뢰도간 큰 차이의 주요 원인이라는 연구들이 발표되었다. Harris and O'Connor (1984)는 IID (independently and identically distributed) 확률 변수의 가정을 지적하면서, 수리 가능한 시스템에서 부품의 수명이 서로 독립이고 동일한 분포를 따른다는 가정이 잘못되었다는 것을 주장하였다. 또한, Economou (2004)은 일정 고장률(constant failure rate)의 적용은 시스템의 특성과 수명주기와의 관계에 따라 결정되어야 한다고 주장하였다.

이러한 문제점들은 여러 연구를 통하여 그 원인과 해결 방안이 제시되었는데, 궁극적으로 예측 및 필드(운용) 신뢰도 차이를 최소화하는 방법과 관련된 연구를 살펴보면 다음과 같다. Sarkar(1971)는 각 구성품의 고장 시간이 지수분포를 따르는 어떤 직렬 시스템의 신뢰도에 대한 신뢰하한을 추정하는 방법을 제시하였으며, Mann and Grubbs(1974)는 구성품의 시험데이터에 기초한 시스템 신뢰도의 최적 신뢰구간을 추정하는 방법을 제시하였다. Katherine (1988)은 전자장비 분야에서의 예측 MTBF와 필드 MTBF간 차이의 근본원인을 조사하기 위해 많은 전문가들과의 인터뷰를 통하여 그 원인을 도출하였으며, 신뢰도 차이를 최소화하는 대안으로 신뢰성 성장(reliability growth) 프로그램을 제안하였다. Miller and Moore(1991)는 예측 및 실제 필드(운용) 신뢰도간의 차이에 잠재적으로 기여한 요인들을 순위화(rank) 하였으며, TQM 도구를 이용하여 주요 변동들이 신뢰도 예측과정에 미치는 영향과 그들간의 관계를 분석하여 제시하였

다. 또한, Tongdan and Su(2005)는 6시그마 기법에 기초하여 시스템을 구성하는 구성품의 운용 불확실성을 고려한 시스템 신뢰도 예측의 변동을 최소화시키는 방법을 제시하였다.

그러나 이상의 연구들은 주로 데이터의 수집 및 통계적 처리과정에서의 불확실성과 변동의 최소화와 관련된 것으로, MIL-HDBK-217의 진부화에도 불구하고 실용적으로 적용 가능한 대안적 모델은 거의 없다고 말할 수 있다. 최근에 미국 Telcordia사에서 SR-332 Issue 1(2001)에 이어 Issue 2(2006)를 발표하였는데, Telcordia SR-332는 전자장비에 대한 신뢰도 예측절차와 방법을 기술한 규격서이다. 최초 Bellcore TR-332 규격으로 벨(Bell) 통신연구소에 의해 제정되었으며, 현재는 미국의 통신, 가전관련 대기업을 주축으로 전 세계적으로 신뢰도 예측에 적용되고 있다.

II. MIL-HDBK-217과 SR-332의 예측방법 비교

일반적으로 신뢰성 예측업무는 전체 시스템의 모듈수준을 대상으로 신뢰도 블록도를 만들고 각 모듈을 구성하는 구성 부품들의 사용조건과 품질수준 및 각 소자별로 예측을 위해 요구되는 인자(factor)들을 결정하여, 부품의 고장률을 계산한 다음 모듈 및 시스템의 고장률을 예측하게 되는데, 대표적으로 사용되는 MIL-HDBK-217과 SR-332에 대해 설명하면 다음과 같다.

2.1 MIL-HDBK-217

MIL-HDBK-217은 1965년 제정 이후 지난 40 여년 동안 전자부품에 대한 신뢰도 예측에 널리 사용되어 왔으며, 전기·전자부품과 일부 전기기계 부품에 대한 고장률 예측방식을 제공하고 있다. 고장률 단위는 백만 운용시간당 고장횟수(failures per 10^6 operating hours)로 표현된다. 부품의 고장분포는 지수분포로 가정되며, 각 구성 부품들의 고장률의 합으로 그 상위 수준의 Unit과 시스템의 신뢰도가 결정된다. 제품이 동작되는 운용환경을 14가지로 구분하고 있으며, 예측방법은 부품수량 분석(parts count analysis)법과 부품부하 분석(parts stress analysis)법으로 나뉘며, 적용 기준은 적용하는데 필요한 정보의 가용성에 기초한다.

부품수량 분석법은 상대적으로 부품부하 분석법보다 적은 양의 정보로 예측하는데, 부품수량, 품

질수준 및 운용환경에 대한 정보가 요구되고 있어, 이 방법은 초기설계 단계 또는 제안 단계에 적용하고 있다. 초기설계 단계에서 각 부품에 인가되는 스트레스 수준을 평균값으로 가정하고, 부품수량, 품질수준 및 운용환경의 인자를 가지고 예측하는 방식이다. 일반적으로 부품수량 분석법은 시스템 신뢰도 예측에 있어 부품부하 분석법보다 더 보수적인 예측값(즉, 더 높은 고장률)을 산출한다. 부품수량 분석법에서 적용하는 구성부품의 고장률 산출 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_i = \lambda_{ib} \cdot \pi_{iQ} \quad (1)$$

여기서, λ_i 는 부품 i 의 고장률, λ_{ib} 는 부품 i 의 기본 고장률(base failure rate)로 부품 i 의 유형과 운용환경에 따라 결정되며, π_{iQ} 는 부품 i 의 품질인자이다.

부품부하 분석법은 예측하는데 상당히 많은 양의 상세한 정보를 요구하고 있고, 실제 하드웨어나 회로들이 설계 중일 때 즉, 상세설계 단계에 주로 적용하고 있다. 부품부하 분석법은 부품에 대한 고장률을 결정하기 위해 부품에 실제로 인가되는 스트레스 수준을 적용하여 고장률을 산출하는 방식으로 부품에 대한 고장률을 얻기 위해 몇 가지 전형적인 인자들을 조합하는데, 예를 들어 온도인자 π_T , 전력 스트레스인자 π_S , 품질인자 π_Q 그리고 환경인자 π_E 등이 있다. 각각의 전자 부품별로 기본 고장률(λ_b)을 가지고 있으며, 상기 인자들과의 조합으로 고장률을 산출한다. 부품부하 분석법에서 적용하는 구성부품의 고장률 산출 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_i = \lambda_{ib} \cdot \pi_{iQ} \cdot \pi_{iE} \cdot \pi_{iT} \cdots \quad (2)$$

여기서, λ_i 는 부품 i 의 고장률, λ_{ib} 는 부품 i 의 기본 고장률, π_{iQ} 는 품질인자, π_{iE} 는 환경인자, π_{iT} 는 온도인자이다. 고장률을 보정하기 위한 인자들은 이외에도 부품 특성에 따라 여러 가지 인자들이 있다. 이론적인 예측 방법에서는 각 예측 방식에 따라 식 (1)과 (2)를 이용하여 각 구성부품의 고장률을 산출하고, 계산된 고장률을 이용하여 식 (3)과 (4)와 같이 유닛 및 시스템의 고장률을 예측한다.

$$\lambda_{U_i} = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i \quad (3)$$

여기서, λ_{U_i} 는 유닛 i 의 고장률, n 은 유닛 내의 부품 종류 수, N_i 는 유닛 내의 부품 i 의 수량, λ_i 는 부품 i 의 고장률이다.

$$\lambda_S = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{U_i} \quad (4)$$

여기서, λ_s 는 시스템의 고장률, n 은 시스템 내의 유닛 종류 수, N_i 는 시스템 내의 유닛 i 의 수량, λ_{U_i} 는 유닛 i 의 고장률이다.

2.2 Telcordia SR-332

Telcordia SR-332는 MIL-HDBK-217과 달리 예측 방법이 적용수준에 따라 세 가지로 구분되어 있으며, 고장률 단위는 십억 운용시간당 고장횟수 (failures per 10^9 operating hours)로 표현된다. SR-332에서의 신뢰도 예측은 전자장비의 수명주기 (life cycle)와 밀접한 관련이 있는데, 고장률은 전자장비의 수명주기 전체에 걸쳐 일정하지 않고 욱 조곡선(bathhtub curve)을 따른다고 가정하고 있다. 초기 수명(early life 또는 infant mortality) 기간에는 고장률은 높지만 급격히 감소하며 고장시간은 와이블분포로 모델링된다. SR-332에서는 이 기간을 1년 보다는 약간 더 많은 운용 첫 10,000시간으로 가정한다. 일정상태(steady-state) 기간에는 고장은 일정상태 고장률로 불리는 일정한 비율로 일어난다. 즉, 고장시간은 지수분포를 따르고 전자장비는 운용 첫째 이후 대략 이 기간에 있다고 가정한다. 마모고장(wear-out) 기간에는 고장률은 급격히 증가한다. 일반적으로 전자부품에 있어서 마모는 대개 20년 정도인 사용수명(service life) 동안에는 일어나지 않는다고 가정하고 SR-332에서는 마모기간은 고려하지 않는다. 따라서 이러한 기간과 관련하여 SR-332는 다음의 두 가지 예측치를 제공한다.

(1) 초기 수명인자(early life factor)

초기수명(10,000시간) 동안의 평균 고장률로 일정상태 고장률의 승수로 표현될 수 있는데, 이 승수는 운용 첫째에 개략적으로 기대되는 고장 수의 척도를 제공한다.

(2) 일정상태 고장률(steady-state failure rate)

일정상태 고장률은 상수 고장률로 장기간 제품 성능을 위해 요구되는 정보를 제공한다.

고장률에 영향을 미치는 요소는 운용조건 및 생산품질의 함수로 다양한데, SR-332에서 모델링에 필요한 인자는 아래와 같다.

- 작동 온도(operating temperature), π_T

SR-332는 고장률에 미치는 온도의 영향을 모델링하기 위해 온도인자 π_T 를 사용하며, 부품 유형과 온도에 따라 인자 값이 주어진다. 단, 작동온도가 알려져 있지 않으면 작동온도를 40°C 로 가정하고 온도인자 값은 "1"이 주어진다.

- 전기적 스트레스(electrical stress), π_S

SR-332에서 스트레스는 정격전압 대비 인가전압의 비율로 표현되고, 고장률에 미치는 스트레스의 영향에 대한 정량적인 표현으로 전기적 스트레스인자 π_S 를 사용하고 부품 유형과 스트레스에 따라 인자 값이 주어진다. 단, 스트레스가 알려져 있지 않으면 스트레스를 50%로 가정하고 스트레스인자 값은 "1"이 주어진다.

- 품질(quality), π_Q

고장률 예측에 있어 SR-332는 부품 공급자에 대한 네 가지 품질수준을 사용하는데, 부품 고장률은 공급자가 부품의 품질을 확보하려는 노력에 의해 개선된다. 각 품질수준은 품질인자 π_Q 가 할당되며, 기본 고장률의 승수로 사용된다.

- 환경 조건(environmental condition), π_E

SR-332는 다섯 가지 환경조건을 정의하고 있으며, 고장률에 미치는 환경조건의 영향에 대한 정량적인 표현으로 환경인자 π_E 를 사용한다.

이상의 인자들은 부품의 일정상태 고장률에 대한 모든 영향을 고려하고 있으며, 부품 공급자들은 첫째 고장률(first-year failure rate)을 줄이기 위해 온도 사이클링, 전압 스트레스 및 진동과 같은 다양한 스크리닝(screening) 절차를 사용하여 부품이 납품 및 운용되기 전 첫째 해에 고장 날 가능성이 있는 부품을 제거한다. 이 절차들 중에 SR-332는 번인(burn-in)을 적용하며, 부품 고장률에 대한 초기 수명인자의 예측에 있어 부품(또는 유닛, 시스템)에 대한 번인의 온도와 기간을 이용한다. 번인의 고려는 초기 수명인자의 추정치를 줄일 수가 있다. 즉, 번인 기간이 길수록 그리고 번인 온도가 높을수록 초기 수명인자는 더 감소된다.

SR-332는 초기수명 및 일정상태 기간에서의 전자장비의 고장률을 예측하기 위한 방법을 제공하고 있는데, 부품의 경우 초기수명 고장률(early life failure rate)은 대상 부품의 초기 수명인자와 일정상태 고장률의 곱으로 초기수명 고장률을 추정하며, 유닛의 경우 초기 수명인자는 유닛을 구성하는 부품들의 초기 수명인자들의 가중 평균값이다. 따라서 어떤 부품의 초기 수명인자는 부품의 일정상태 고장률에 대한 초기 수명 고장률의 비율이다.

일정상태 고장률 예측은 부품 수준에서부터 유닛 또는 시스템수준까지 장비의 계층구조를 따라 올라간다. 즉, 유닛의 고장률 예측은 유닛을 구성하는 부품들의 고장률 예측 값에 기초하고, 동일하게 직렬 시스템의 고장률 예측은 시스템을 구성하

는 유닛들의 고장률 예측 값에 기초한다. 각 수준에서 고장률 예측은 다음의 세 가지 방법 중 하나를 이용하여 수행된다.

(1) Method I: 블랙박스(black box) 또는 부품수량 분석법으로 SR-332의 신뢰도 예측의 기초가 되는데, 원래는 MIL-HDBK-217에 있는 방법을 모델링한 것이다. 부품 수준에서는 예측이 될 부품에 관한 가용한 신뢰성 데이터가 없음을 가정하고, 예측은 일반적인 신뢰성 파라메타에 기초한다. 유닛 수준에서의 예측은 유닛을 구성하고 있는 각각의 부품들의 고장률 예측 값에만 기초한다고 가정하는데 가장 단순하면서도 일반적으로 사용되는 방법이다.

(2) Method II: 시험데이터(laboratory data)와 블랙박스/부품수량 분석법의 통합으로 고온 동작 시험이나 신뢰성 입증시험의 결과와 같은 시험데이터는 블랙박스 및 부품수량 분석법을 보완하기 위해 사용될 수 있다. 부품 수준에서는 시험데이터가 기본적인 데이터와 통합되게 하고, 유닛 수준에서의 예측은 구성부품들에 대한 예측 고장률과 시험데이터가 통합되도록 한다.

(3) Method III: 필드데이터(field data)와 블랙박스/부품수량 분석법의 통합으로 부품이나 유닛에 대해 이용 가능한 필드데이터가 있다면, 블랙박스 및 부품수량 분석법은 보완될 수 있다. 부품 수준에서는 필드데이터가 기본적인 데이터와 통합되게 하고, 유닛 수준에서의 예측은 구성부품들에 대한 예측 고장률과 필드데이터가 통합되도록 한다.

이상의 부품 및 유닛에 대한 고장률 추정치는 평균에 대한 추정치로 부품의 기본 고장률 생성에 사용된 데이터의 불확실성과 변동성을 고려치 않은 것이다. 그러나 때로는 90% 신뢰상한과 같은 고장률의 보수적인 추정이 필요할 경우가 있는데, SR-332는 고장률에 대해 신뢰상한을 추정하기 위해 추정 값의 평균 λ 과 표준편차 σ 를 제공하고 있다.

근본적으로 SR-332는 MIL-HDBK-217의 보완적 개념으로 만들어졌다고 볼 수 있는데, 특히 MIL-HDBK-217 대비 SR-332가 가지는 특징을 다음의 세 가지로 요약할 수가 있다. 첫째로는 전자 부품의 수명주기에 있어 초기수명 기간에서의 고장률을 고려한다는 것이고, 둘째로는 각 부품 유형별 기본 고장률에 시험데이터와 필드데이터와 같은 관측 값을 고려한다는 것이다. 마지막으로 고장

률의 신뢰상한 또는 MTBF의 신뢰하한을 추정할 수 있도록 평균과 표준편차를 사용한다는 것이다.

III. 사례연구

3.1 연구방법 및 절차

본 사례연구에서는 주로 항공기체계에 적용되는 가스터빈 엔진을 제어하는 전자제어장치(ESU; Electronic Sequence Unit)를 대상으로 하여, MIL-HDBK-217과 Telcordia SR-332를 이용하여 각각 신뢰도를 예측하고, ESU의 개발시험데이터를 이용한 신뢰도 추정 값과 비교하여 Telcordia SR-332가 MIL-HDBK-217의 실용적인 대안이 될 수 있음을 보였다.

본 사례연구의 방법과 절차는 다음과 같다. (1) 대상 시스템을 선정하고, 운용조건 및 주위온도 등을 설정한다. (2) 하위모듈이나 부품수준까지의 계층구조를 식별하고 예측을 위한 각 부품별 특성 값을 추출한다. (3) MIL-HDBK-217과 SR-332를 이용하여 신뢰도 예측을 실시한다. (4) 대상 시스템에 대해 실시한 개발 시험데이터를 이용하여 통계적으로 신뢰도를 추정한다. (5) 시험데이터를 기준으로 추정한 신뢰도 대비 MIL-HDBK-217과 SR-332를 이용하여 얻은 예측 값과의 비교를 실시한다.

대상 시스템인 전자식제어장치는 하위 모듈로 5개의 서로 다른 기능의 인쇄회로 기판조립체(printed circuit board)들이 직렬구조로 구성되어 있다.

Table. 2. 전자식제어장치(ESU)의 구성

구분	모듈명	수량	구성부품수
전자식 제어장치 (ESU)	DSP, 보드조립체	1	46
	AIO, 보드조립체	1	62
	DIO, 보드조립체	1	33
	PWR, 보드조립체	1	30
	MOTHER, 보드조립체	1	8

ESU가 운용되는 환경은 주로 지상 및 항공조건으로 본 사례연구에서는 비교 목적상 두 가지 조건 모두 분석기로 하고, 환경인자를 Ground Mobile(G_M)과 Aircraft Commercial(A_C)로 설정하였으며, 대기온도(ambient temperature)는 55℃로 정하였다. 보드조립체 모듈이하 부품들에 대해서는 기본적으로 부품목록을 작성하였고, 각 부품별 특성 값은 부품업체에서 제시한 값 또는 카다로그를

활용하였다. 고장률 또는 MTBF의 효과적인 계산을 위해, 두 가지 비교 예측모델인 MIL-HDBK-217과 Telcordia SR-332 Issue 2 모두를 지원하는 신뢰도 예측 소프트웨어인 Relx Studio 2008버전을 활용하였으며, 적용한 예측방법은 MIL-HDBK-217은 부품부하분석법을 그리고 SR-332는 ESU의 가용한 시험데이터를 포함하는 Method II를 적용하여 예측하였다.

3.2 결과 및 검토

예측 결과는 Table. 3과 같으며, MIL-HDBK-217과 SR-332를 기준한 예측 신뢰도 즉, 예측 MTBF와 비교할 기준은 ESU를 대상으로 수행된 인증시험(QT; Qualification Test) 결과를 이용하여 MTBF를 추정하였고, ESU 인증시험 결과는 Table. 4와 같다.

Table. 3. MTBF 예측결과

구분	Ground Mobile			Aircraft Commercial		
	Mean	Standard Deviation	90% LCL	Mean	Standard Deviation	90% LCL
217F	6,773	-	-	9,213	-	-
SR-332	2,681	3,791	1,378	1,608	2,275	827

Table. 4. ESU 인증시험 결과

Category	Period	Test Item	Results
모의 동작 시험	804 (hrs)	Accelerated Aging	No Failure
		High Temperature Storage	
		High Temperature Operating	
		Operational Endurance	
		Low Temperature Storage	
전기 시험	46 (hrs)	Voltage Range	No Failure
		Power Dissipation	
		EMI	
		Dielectric Strength	
환경 시험	30 (hrs)	Humidity	No Failure
		Acceleration	
		Drip Water	
		Vibration	
		Mechanical Shock	
		Thermal Shock	
		Salt Spray	
Total	880 (hrs)		

ESU 인증시험 결과를 이용하여 MTBF를 추정하고자 하는데, 시험기간 중 고장이 발생하지 않았고, 총 시험시간 중 고장이 한 번도 발생하지 않으면 $r=0$ 이 되고, 단위시간 간격 중 발생하는 고장 수는 포아송(Poisson) 분포를 따른다고 알려져 있기 때문에 신뢰수준 90%, 즉 MTBF 추정치의

90% 신뢰하한 $\theta_{90\% LCL}$ 은 382시간이 된다.

MIL-HDBK-217과 SR-332를 기준한 예측 MTBF와 ESU를 대상으로 수행된 인증시험 결과를 이용하여 추정된 시험(입증) MTBF를 비교하면, Fig. 1과 Fig. 2에서도 알 수 있듯이 MIL-HDBK-217로 예측한 것보다 SR-332로 예측한 값이 훨씬 더 시험(입증) 신뢰도에 가까운 결과를 보임을 확인할 수가 있다. 특히 SR-332의 경우에는 Fig. 1에서 예측 MTBF의 점추정치, Fig. 2에서는 예측 MTBF의 90% 신뢰하한을 비교하였는데, 90% 신뢰하한의 경우 훨씬 더 시험(입증) 신뢰도에 가깝게 예측됨을 알 수 있다.

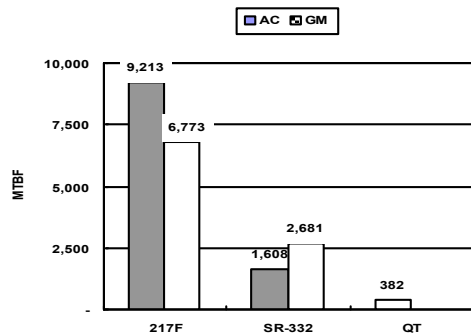


Fig. 1. 시험(입증) MTBF 대비 예측 MTBF

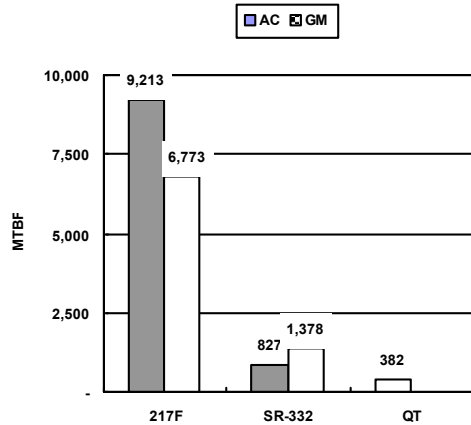


Fig. 2. 시험(입증) MTBF 대비 90% 신뢰하한 예측 MTBF

IV. 결론

본 사례연구에서는 항공기 ESU를 대상으로 전자장비에 대해 신뢰도 예측을 수행할 때 예측 신뢰도가 실제 시험(입증) 또는 경험자료 신뢰도보다

높게 추정되는 것을 최소화하는 문제를 다루었다. Telcordia SR-332의 구체적인 예측방법에 대하여 살펴보고 항공기 ESU를 신뢰도 예측에 적용함으로써 MIL-HDBK-217을 적용하여 예측하는 것 보다 약 6배 정도 더 시험(입증) 신뢰도에 가깝게 예측되는 것을 보였다. 또한 예측 신뢰도의 신뢰구간을 구하기 위해 고장률의 평균과 표준편차를 이용 MTBF의 신뢰하한을 구하여 실제 신뢰도와 더 가까운 신뢰도를 추정하는 것이 가능함을 제시하였다.

참고문헌

- [1] Cougan, William P. and William G. Kindig., "A Real Life MTBF Growth Program for a Deployed Radar," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 1979, pp.121-127.
- [2] Economou, Manthos., "The Merits and Limitations of Reliability Predictions," *Proceedings Annual Reliability & Maintainability Symposium*, 2004, pp.352-357.
- [3] Harris, Norman and O'Connor, Patrick D.T., "Reliability Prediction: Improving the Crystal Ball," *Proceedings Annual Reliability & Maintainability Symposium*, 1984, pp.108-113.
- [4] *Hunter Unmanned Aerial Vehicle(UAV) System Reliability Growth Story*, PM TUAV, Redstone Arsenal, 2001.
- [5] Katherine C., *Experts' opinions on the reliability gap and some practical guidelines on reliability growth*, Air force inst of tech wright-patterson AFB OH, school of systems and logistics, 1988.
- [6] Kern, G. A., "Operational Influences on Avionics Reliability," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 1978, pp.231-242.
- [7] Kolston, J., et al., "Reliability Prediction Methodology Development," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 1983, pp.245-250.
- [8] Lynch, Jeffery, B. and Phaller, Lawrence J., "Predicted vs. Test MTBF's...Why the Disparity?," *Proceedings Annual Reliability & Maintainability Symposium*, 1984, pp.117-122.
- [9] MacDiarmid, Preston R., "Relating Factory and Field Reliability and Maintainability Measures," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 1985, pp.177-183.
- [10] Mann, N. R. and Grubbs, F. E., "Approximately optimum confidence bounds for system reliability based on component test data," *Technometrics*, Vol.16, 1974, pp.335-347.
- [11] MIL-HDBK-217F N2, *Reliability Prediction of Electronic Equipments*, Department of Defense (DoD), Washington D.C, 1995.
- [12] Miller, P.E. and Moore, R.I., "Field reliability versus predicted reliability: An analysis of rootcauses for the difference", *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 1991, pp.405-410.
- [13] Montemayor, A. J., *Achieved versus Predicted Mean-Time-Between-Failures (MTBF)*, The Boeing Company, 1982.
- [14] Muglia, V. O., et al., "MTBF Prediction techniques - A Comparative Analysis," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 1972, pp.510-519.
- [15] Sarkar, T. K., "An exact lower confidence bound for the reliability of a series system where each component has an exponential time to failure distribution," *Technometrics*, Vol.13, 1971, pp.535-546.
- [16] Shelly, B. F. and F. A. Stovall., "Field - Laboratory Reliability Relationship," *Proceedings Annual Reliability & Maintainability Symposium*, 1976, pp.322-330.
- [17] Telcordia SR-332 Issue 2, *Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment*, Telcordia Technologies, 2006.
- [18] Tongdan Jin and Su, P., "Minimize system reliability variability based on six-sigma criteria considering component operational uncertainties," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 2005, pp.214-219.