

2. 해설기사

선박용 기자재와 신뢰성에 대한 고찰

Reliability in marine equipments



이 상 태

Sang-Tae Lee

- 한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수
- E-mail : sangtae@hhu.ac.kr

1. 머리말

‘믿을 만하다’ 또는 ‘신뢰할 수 있다’는 말은 사람과 사람사이의 경우 뿐 아니라 제품, 나아가 어떤 기업의 평가에 이르기까지 일상생활에서 광범위하게 쓰이는 용어이다. 이 신뢰성(Reliability)이란 용어의 공학적 의미는 「어떤 부품/소재나 제품시스템 등이 주어진 조건(사용, 환경조건)하에서 고장없이 일정기간(시간, 거리 사이클 등)동안 최초의 품질 및 성능을 유지하는 특성」이라고 정의할 수 있으며, 신뢰성이 좋은 제품은 고장없이 오래 쓸 수 있고 소비자가 만족하는 제품을 말한다.

신뢰성 기술은 1943년 진공관의 신뢰성에 관한 조직적인 연구를 시작으로 하여 1952년 전자제품과 부품의 설계/생산시의 신뢰도 측정법과 신뢰성 사양(Specification)이 작성되었으며, 1958년 미국 항공우주국의 우주개발 프로젝트에서 고신뢰도의 인공위성과 로켓 시스템을 개발하여 시스템의 신뢰성분석, 신뢰도예측, 고장유형 및 영향도 분석(Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) 및 고장계통분석(Fault Tree Analysis

: FTA) 등을 개발함으로써 신뢰성공학의 제 개념들이 정립되어 오늘날에도 활용되고 있으며, MIL의 신뢰성규격의 근간을 이루고 있다. 이러한 초기 신뢰성 연구의 대상은 군용 전자기기의 주 고장부품이었던 전자관(진공관)으로써, 현대적인 신뢰성 기술은 전자분야에서 시작되었다고 해도 과언이 아니다. 즉, 전자기기의 고장을 극복하는 과정에서 틀이 잡히고 만개한 기술이라 할 수 있다.

우리나라의 경우 1970년대에 일본을 통해 신뢰성의 개념이 도입되었으나 최근까지 기초적인 단계에 머물고 있는 상태였다. 그러나 시장 개방에 따른 제품선택 기회의 다양화로 소비자가 요구하는 품질수준의 향상에 따라 99년 부품/소재산업 육성전략을 수립하고, 2001년부터 신뢰성 평가 인증사업을 산업자원부 기술표준원에서 본격적으로 실시하고 있다.

선박의 경우 항해구간이 전 세계적이고 또한 다른 기기와는 달리 서비스를 할 수 없는 해상이라는 점, 운전조건이 환경적으로 열악한 해상이라는 특수성 때문에 기기의 손상 또는 고장의 경우 심각한 사태가 올 수 있다는 점 등으로 인하여 주요

기기의 경우 이미 선급 검사 및 해양수산부의 형식승인을 받도록 되어 있다. 그러나, 이러한 검사는 기기로서 갖추어야 할 최소한의 검사에 해당되는 것으로 실제 이러한 검사에도 불구하고 기기의 손상 등의 문제로 인하여 선주측의 운항손실뿐 아니라 기기 제조자로서도 긴급공수에 의한 수리 등으로 인하여 기기의 단가 이상의 비용지불이 일어나고 실정에 있다. 또한 세계 제1위의 조선국으로서 조선산업을 뒷받침하고 있는 조선기자재 산업의 국제 경쟁력 확보/유지를 위하여 기기의 신뢰성 확보는 대단히 중요하다고 할 수 있다.

따라서, 본 기사에서는 신뢰성에 대한 상세한 이론보다는 조선기자재의 품질향상 및 신뢰성확보를 위하여 신뢰성의 개요 및 신뢰성 평가/고장분석 등에 대하여 개략적으로 기술함으로써 조선기자재를 연구개발하고 생산판매 및 사후관리 함에 있어서 관계자들의 이해를 증진시키고 나아가 고신뢰성 조선기자재 개발에 보탬이 되고자 한다.

2. 신뢰성의 개요

2.1 신뢰성의 의의

제품에 대하여 소비자 즉, 고객을 만족시키기 위해서는 여러 가지 요소들이 있다. 그 중에서 품질(Quality)이 중요한 요소인 바, 수많은 각종 제품과 다양한 고객들에게 대하여 공통적으로 적용되는 요구 또는 기대품질요소로써, Garvin은 성능(Performance), 규격(Feature), 기능(Conformance), 신뢰(Reliability), 내구성(Dualability), 서비스(Servisability), 외관(Aesthetics), 인지도(Perceived Quality) 등 8가지 사항을 들고 있다. 최근에는 이외에도 사용 후 폐기의 용이성과 무공해성 등 사회적 요소와 기기의 설치 및 사용상의 용이성 등이 추가되고 있으며, 이상의 모든 조건들은 신뢰성에 관계되는 요소들이 많이 포함되고 있다.

이와 같이 여러 가지 제품이 일정한 기간동안 고장없이 잘 사용되도록 하는 것을 목표로 하는 종합적 기술의 체계가 신뢰성 공학(Reliability Engineering)으로 최근 들어 신뢰성 기술이 더

욱 중요시 되는 이유를 요약하면

- ① 제품의 무상보증기간의 증가
- ② 제품구조의 고도화(복합화, 다기능화)
- ③ 신소재, 신부품 및 새로운 제조기술의 등장에 따른 불안적 요인 대두
- ④ 개발/생산 및 시험에 따른 막대한 경제적 시간적 제약
- ⑤ 사용조건과 환경의 다양화
- ⑥ WTO 체제 등 무한 경쟁시대 대비
- ⑦ 제품책임(Product Liability, PL) 법률 등에 적극 대응할 필요성 증대 등을 들 수 있다.

따라서, 신뢰성은 기업의 경영, 관리, 운영에서 중요한 역할을 한다. 신뢰성의 중요성을 인정하고 신뢰성에 기반을 두고 관리할 때 이를 신뢰성관리(Reliability Management)라고 한다. 신뢰성관리란 경영 계획에 의해 상품기획이나 개발기획으로부터 설계, 연구개발 및 생산을 거쳐 시스템이나 상품의 운용, 사용에 이르기까지 각 과정에 걸쳐 이루어지는 품질보증 활동이라고 할 수 있다.

따라서, 기업으로서는 신뢰성을 향상하기 위한 여러 가지 활동을 체계적으로 추진하여야 한다. 이러한 활동을 분류하여 보면 Fig. 1과 같이 제품의 기획, 개발, 설계 생산 및 판매 등 제품의 전 라이프 사이클 동안 제품의 신뢰성을 만들어 넣는 신뢰성 제조활동, 설계 또는 생산된 제품이나 사용 중인 제품 또는 부품의 시험 등을 통하여 신뢰성을 평가하는 활동과 위의 여러 가지 활동 등을 지원하기 위한 각종 정보의 관리로 나눌 수 있다.

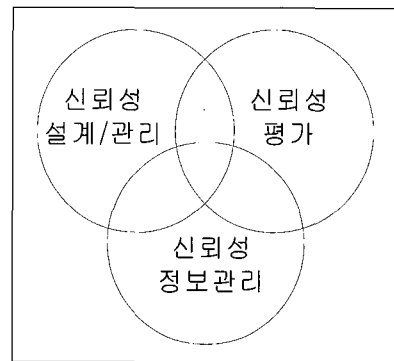


Fig. 1 Reliability management

2.2 품질과 신뢰성

신뢰성 공학이란 시스템, 기기 및 부품 등이 정해진 사용조건 하에서 의도하는 대로 기능을 발휘하도록 하기 위한 기법이나 기술적 방법을 연구하는 학문이다. 이에 반하여 품질관리(Quality Control)는 고객요구를 최대한으로 만족시키는 제품을 경제적으로 생산하기 위한 모든 수단의 체계를 의미한다. 여기서 품질(Quality)은 시간적으로 독립이라는 전제하에 고객요구의 충족도(일정시점에서 정적인 품질)를 나타낸다.

현대사회에서 대량생산이 일반화되면서 품질보증(QA, Quality Assurance)은 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 고객들 역시 생활수준의 향상과 정보화시대의 성숙에 따라 소비자 중심의 시장 환경에 부응하여 자신들의 안전과 이익을 최대한 보호받으려 하고 있다. 이에 따라 오늘날의 기업환경에서 가장 중요시하는 부분은 소비자를 기업활동의 중심으로 생각하는 품질경영(Quality Management)이다. 이 품질경영의 핵심은 품질보증된 제품의 생산과 서비스의 제공에 있다. 과거의 품질개념은 제품이 소비자에게 이동하는 단계에서 제품의 규격(Specification)에 의한 관리를 의미하였으나, 오늘날의 품질개념은 신뢰성(Reliability)을 포함하고 있다. 따라서 소비자 보호를 위한 품질보증은 제조단계에서의 품질과

사용단계에서의 신뢰성을 동시에 만족하는 활동이 되어야 그 목적을 달성할 수 있다.

품질과 신뢰성은 유사성이 많은 반면, 분석대상의 시점 자체가 다르다는 상이함도 있다. Table 1은 품질과 신뢰성의 상이점을 나타낸 것이다. 품질은 출하를 기점으로 볼 때 출하되기 전까지의 고객의 요구를 최대한으로 반영하는 반면, 신뢰성은 출하되고 난 후의 고장분석을 주 대상으로 한다.

Fig. 2는 품질인증시험과 신뢰성평가시험을 도시한 것으로 신뢰성평가시험은 수명평가와 내환경성 평가가 강화된 종합품질보증시험이라 할 수 있다.

즉, 신뢰성기술은 제품 사용 중의 고장발생이나 사용수명 등에 대한 평가를 실시하여 이를 입증하는 대표적인 선진국형 기술이며, 우리나라에서는 신뢰성 평가기술이 미흡하여 국산부품·소재가 수요자의 신뢰를 얻지 못하여 시장진입에 큰 어려움을 겪고 있는 게 현실이며, 이에 정부는 국내기업의 혁신적인 기술 향상 및 해외 및 해외에서 수출 제품의 경쟁력과 종합적인 국가 브랜드 이미지를 높이기 위한 정책으로 신뢰성향상사업을 적극적으로 추진 중에 있다.

Table 1 The differences between reliability and quality

구 분	품 질	신뢰성
정의	규격에 일치하는 적합성	규정된 기간동안 요구하는 기능을 수행하는 성질
시간	t=0, 현재품질	요구시간 t까지 품질유지, 미래품질
결함유형	불량(Defect)	고장(Failure)
결함요인	공 정	설 계
척도	불량율	고장율, 수명
개선틀	SPD, TQC, 6σ	FEMA, FTA, 고장해석
시험기간	규정된 시간동안 시험	고장이 발생할 때까지 계속 시험

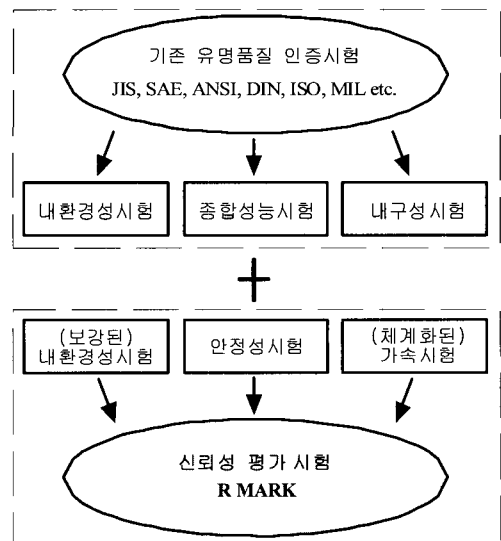


Fig. 2 Quality certification test and reliability evaluation test

3. 평가/고장분석

3.1 신뢰성 평가

Fig. 3은 좋은 품질의 제품을 확보하기 위한 신뢰성 평가의 3단계를 나타낸 것이다. 좋은 품질을 확보하기 위해서는 설계초기단계에서 설계에 대한 적합성을 검토하고 제조공정에서 야기할 수 있는 고장, 결함이나 불량에 대한 사전검토와 대책을 세우는 일이 필수적이다. 또한 제품의 출하 후 현장에서의 다양한 고장 데이터 및 수명 데이터를 수집하여 그 고장원인을 분석하여 설계 또는 생산 공정에서 보완함으로써 고 신뢰성의 제품이 생산될 수 있는 것이다.

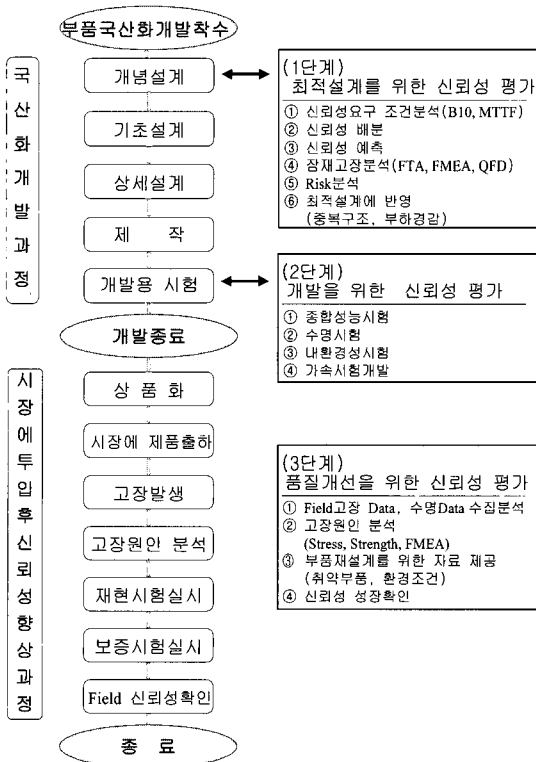


Fig. 3 The 3-stage evaluation of reliability

3.2 고장과 결함

신뢰성의 정의에서 알 수 있듯이 신뢰도가 있는 제품 또는 시스템이란 고장이 나기 어렵다는 것을

의미한다. 여기에서 고장(Failure)이란 IEC50에서 「요구되는 성능의 종료(수락 한계의 초과)」로 정의하고 있다.

여기에서 고장과는 분명히 구별하여야 할 에러(Error)는 목표치와 관측치의 차이를 의미하며, 결함(Fault)이란 요구되는 기능을 수행할 수 없는 상태를 의미하는 것으로 고장의 결과로서 나타내는 상태이다. Fig. 4는 고장, 결함 및 에러를 나타내고 있다.

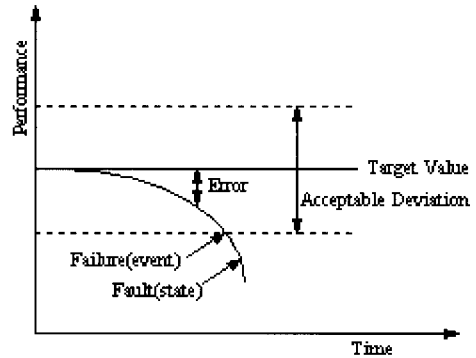


Fig. 4 Failure, fault and error

고장과 결함, 에러를 구분하는 것은 대단히 중요하다. 왜냐하면 이들이 고장인지 아닌지를 구별하는 경계를 제시하기 때문이다.

이러한 고장에는 매우 짧은 시간 동안 일부 기능이 상실되나 즉시 완전 동작 상태로 환원되는 간헐적 고장과 일부 부품을 수리하거나 교체할 때까지 지속되는 지속고장으로 나누며 지속고장은 파국고장과 열화고장으로 분류된다. Fig. 5는 고장의 종류를 나타내고 있다.

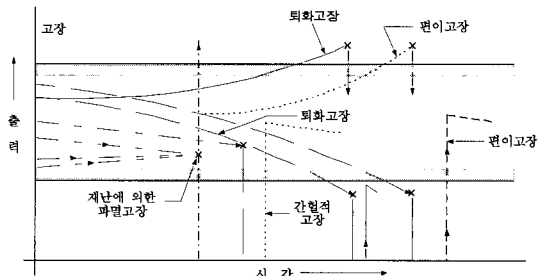


Fig. 5 Classification of failure

일반적으로 복잡한 시스템의 경우 고장률 곡선은 시간이 흐름에 따라 욕조형 곡선(Bath-tub shape curve)이 된다. Fig. 6은 사용시간에 따른 고장률을 나타낸 욕조형 곡선이다. 곡선좌측의 고장률이 감소하는 부분(DFR, Decreasing failure Rate)이 초기고장기간이며, 중간에 고장률이 비교적 낮고 일정한 부분(CFR, Constant failure Rate)을 우발고장기간, 우측의 고장률이 증가되고 있는 부분(IFR, Increasing failure Rate)이 마모고장기간이 된다.

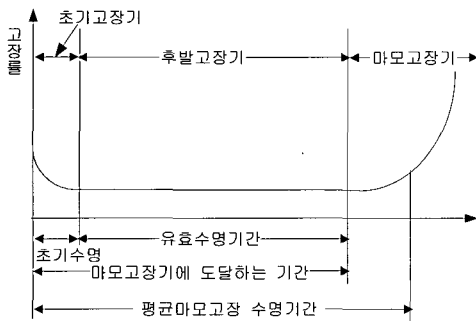


Fig. 6 Bath-tub shape curve

초기고장기간 동안에는 설계미스, 제조공정의 잠재력 결함 등이 나타난다. 따라서 되도록 사용 전에 빨리 여러 가지의 결함을 찾아내서 제거하여야 한다. 이를 위해서는 디버깅(Debugging), 번인 등을 하여 나쁜 요소들을 걸러내야 한다.

초기 고장 다음으로 일반적으로 제법 긴 시간에 걸쳐 있는 우발고장기간에서 고장률이 일정하다는 것은 고장이 모두 우발적으로 일어난다는 것을 의미하므로 이 기간에 발생하는 고장을 사전에 예측한다는 것은 불가능하다. 바꾸어 말하면 이 기간은 시스템이나 제품의 고장률이 매우 낮게 작동하는 활기 왕성한 시기인 것이다. 따라서, 이러한 기간에 들어서면 일정 기간 동안은 시스템이 별탈없이 작동하므로 이 기간을 유효수명기간이라고 부른다.

우발고장 기간 후에는 고장률이 시간의 흐름에 따라 단조롭게 증가하는 기간이 계속되는 마모고장기간은 마모나 열화 등에 의해 서서히 수명이 다해가는 기간이다. 이 시기의 고장은 사전에 예측할 수 있다. 따라서 이 시기에는 사전교체 등의 예방적인

보전활동을 위해 고장률을 낮추어야 하는 시기이다.

복잡한 시스템의 경우, IFR형의 구성요소에 대해서는 새로운 것으로 바꾸고(예방보전), DFR형의 구성요소에 대해서는 실제 운용 중에 스크리닝을 통해 좋은 것만을 선택한다. 그러면 전체적으로 시스템의 고장률은 시간에 관계없이 거의 일정하게 유지되며, 고장패턴은 우발고장형이 된다.

어떤 시스템이든 시스템이 현재 초기고장기, 우발고장기, 마모고장기 중 어느 기간에 속해 있는지를 알면 이에 맞게 신뢰성을 향상시킬 수 있는 대책을 세우기 편리하며, 고장해석도 또한 쉽게 할 수 있다. 그 이유는 고장해석에서는 고장형태가 하나의 중요한 요소가 되기도 하지만 고장이 초기고장, 우발고장, 마모고장 중 어디에 속하는지 앎으로써 그 해석이 각기 다를 수 있기 때문이다. 예를 들면, O자형 고무링(O-ring)에서 고장이 빈발하는 경우 초기고장이란 설계 또는 제조실수 등이 고장발생의 주원인이고, 마모고장기라면 링의 열화가 주원인이다. 다시 말해서 고장이 발생한 시기가 어느 시기냐에 따라 고장원인이 다를 수 있다.

그러나, 모든 아이템들의 고장률이 반드시 욕조곡선의 형태로 나타난다는 것은 아니다. 아이템에 작용하는 스트레스의 크기나 아이템의 종류(전자, 기계 등)에 따라 다르게 나타난다. 최근에는 기술의 발달과 소비자의 취향변화에 따른 life-cycle의 단축으로 마모고장기간을 발견하기 어려운 경우가 많아졌다.

3.3 고장모드와 고장 메카니즘

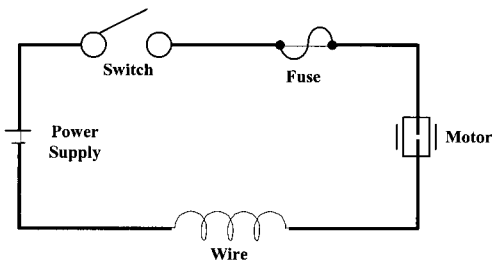
고장모드 및 영향해석(FMEA, Failure Mode and Effect Analysis)과 결함나무분석(FTA, Fault Tree Analysis)은 이러한 좋은 품질을 확보하기 위해서 가장 적합하고 종합적이며 체계적인 접근 방법이라 할 수 있다.

FMEA는 신뢰도나 고장모드 분석을 위한 일반화된 기법으로 제품을 부품으로 분해하여 최하위 부품의 고장으로부터 상위 수준의 부품, 제품의 고장을 분석하는 Bottom-up방식의 접근 방법으로 설계 초기단계, 설계확장이나 변경 시 또는 사고 조사 등에 사용되고 있다. Table 2는 연필에 대한 간단한 FMEA 사례를 나타내고 있다.

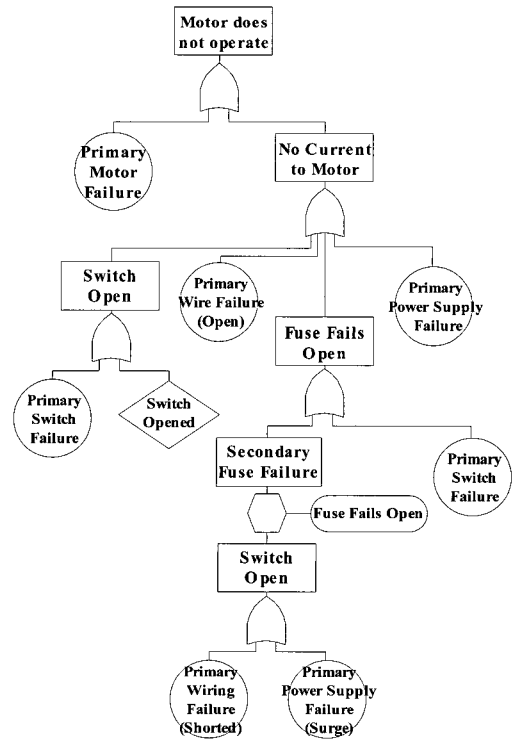
Table 2 An Example of FMEA

시 스템 : 연필					FMEA 표			작성년월일 : 8/29/2005		작 성 자 : 김길수	
서브시스템 :								승 인 자 : 이갑식			
조 립 품 : 유닛											
번호	품목	기능	고장 모드	추정 원인	고장영향			고장 발견법	치명도		대책
					부품	서브 시스템	시스템		Cs	고장 등급	
01	지우개	잘못된 표기를 지운다	지워지지 않는다	고무의 노화/경화	-	-	기능저하	검사		II	고무성분 재검토/가속에 이징테스트
02			지운부위를 더럽힌다	고무의 노화/경화	-	-	기능저하	검사		II	고무성분 재검토/가속에 이징테스트
03	지우개 홀더	지우개를 지지한다	지우개가 고정되지 못한다	홀더의 기계적 결함	-	-	기능저하	검사/육안관측		II	금속홀더 적용/crimp를 더강하게
04	나무 커버	연필심을 보호, 지지한다	연필심이 헐거워진다	연필심-나무 간 고정력 결핍	-	-	기능상실/연필교체	검사		II	연필심의경/나무홈내경체크/공정관리확인
05	연필심 (후연)	원하는 것을 표기한다	부러진다	심 절단/성분불량	-	-	기능 상실/다시 깎아야 함	검사		I	강도강화시험 실시

FTA는 제품 또는 시스템과 같이 정상수준의 고장원인을 그 하위 서브시스템이나 부품 수준으로 분해해 가는 Top-down식의 접근 방법으로 제품의 고장분석을 위한 도구이다. 이것은 시스템의 고장이나 원치않는 사상을 정의하고 시스템의 작동과 환경을 분석하여 원치않는 사상의 발생원인과 인과관계를 논리기호(AND, OR)를 사용하여 나무모양으로 나타낸 것이다. 이를 바탕으로 시스템의 주요 고장 원인과 고장 발생 확률을 평가하여 시스템의 고장에 큰 영향을 주는 원인을 찾아 해결함으로써 신뢰성을 개선시키고자 하는 고장해석 또는 신뢰성 평가 방법이다. Fig. 7은 전기회로의 일례에서 작성한 FTA를 나타내고 있다.



(a) Example system



(b) Fault tree for example system

Fig. 7 Fault tree analysis

4. 수명과 가속시험

Table 1 및 Fig. 2에서 알 수 있듯이 신뢰성 평가가 품질평가와 비교하여 가장 다른 점은 시스템 또는 제품의 고장, 즉 수명의 예측에 있다. 5년 혹은 10년 후에 일어날 고장을 미리 재현할 수 있어야 보증, 제조물책임제(PL, Product Liability) 문제 등을 예방할 수 있다.

제품의 수명을 평가함에 평균수명과 B수명이 널리 사용되고 있다. 평균수명에는 수리가 가능한 제품에서 고장이 발생하면 수리하여 다시 사용하는 경우 고장발생 시각과 다음 고장발생 시각 사이의 평균간격으로 측정하는 MTBF(Mean Time Between Failure, 평균고장간격)와 수리가 불가능한 제품에서 고장이 발생하기까지 걸리는 평균시간으로 하는 MTTF(Mean Time To Failure)가 있다. B수명은 사용한 제품의 몇 %가 고장나는 시점인가에 따라 측정하는 수명으로 보통 B₁₀ 수명이 널리 사용되지만, 고장의 치명도와 신뢰성보증 수준 등에 따라 B₅, B₁ 등 다른 수명 값을 사용할 수 있다. 예를 들어 자동차부품의 신뢰성목표를 B₁₀수명 10만 마일을 적용하다가, 신뢰성향상을 위하여 B₅ 수명 10만마일로 요구조건을 강화하였다면 이 부품의 신뢰성수준을 50% 향상하겠다는 의미로 볼 수 있다.

이러한 수명을 측정함에 있어서 실제 현장에서 긴 시간동안 수명을 측정하는 것이 불가능하기 때문에 단시간에 판단할 목적으로 사용상태에서 가해지는 스트레스를 등가속으로 가속해서 단시간에 이들이 사용되는 상태에서의 수명 혹은 고장률을 추정하는 시험이 가속시험이다. 신뢰성 시험에서 다루고 있는 가속시험은 기준보다 엄격한 조건아래에서 시스템 또는 부품의 고장 메카니즘을 통상의 속도 이상으로 촉진하고, 동일모드의 고장을 기준조건과 가속조건 사이에 존재하는 규칙성을 이용하여 단기간에 재현시키는 것을 말한다. 이러한 가속시험이 성립하기 위해서는 고장 메카니즘과 고장모드가 같다는 것을 전제로 가속하지 않은 경우와 가속한 경우와의 사이에 규칙성이 존재해

야 한다. 예를 들어 60Hz에서 사용되는 형광등의 수명예측에서 형광등의 수명은 특별한 경우(우발고장)를 제외하고 사용 주파수에 의존된다고 가정하면 10kHz의 주파수로 가속시험한다면 시험시간은 정상상태보다 약 1/150로 줄어들게 된다. Fig. 8은 누적피로특성을 갖는 제품에 있어서 스트레스와 각각의 수명과의 관계를 나타낸 일례로 이러한 곡선의 기울기로부터 가속계수를 구할 수 있다.

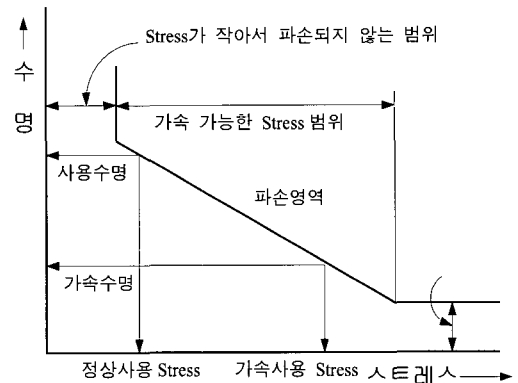


Fig. 8 The relation between stress and life

5. 맺는말

조선기자재의 국제 경쟁력 제고를 위하여 신뢰성 평가와 관련하여 개략적인 사항을 기술하였다. 우리나라도 부품/소재 기업의 수요에 부응하기 위하여 산업자원부 기술표준원에서 신뢰성 인증사업을 실시하고 있다. 여기에는 신뢰성 인증, 신뢰성 평가 및 고장분석이 있으며 각각에 대하여 지정시험기관에서 시험을 실시하고 시험결과에 따라 전문위원회의 심의를 거쳐 R Mark 인증수여, 또는 평가보고서를 발행하고 있으며, 이 사업의 효율적인 추진을 위하여 기술표준원 산하에 8개 분야 18개 시험기관에서 이러한 평가를 수행하고 있다. 조선기자재의 경우 (재)조선기자재연구원이 현재 제한된 품목에 대하여 신뢰성 평가 업무를 수행하고 있으며, 앞으로 많은 품목으로 평가가 확대되리라 사료된다.

참고문헌

- [1] Garvin, D. A., "What Does Product Quality Really Means?", Sloan Management Review (Fall 1984), Harvard University Press, pp.25-43, 1984.
- [2] <http://reliability.ats.go.kr/>
- [3] <http://www.komeri.re.kr>
- [4] 신뢰성평가 전문인력양성과정, 산업자원부 기술표준원, 2003
- [5] 박경수, 신뢰성개론, 영지출판사, 1994
- [6] Kapur, K.C. & L.R. Lamberson, Reliability in Engineering Design, McGraw-Hill, 1977