



# THEME 01

## 신뢰성의 개념과 접근방법

장 중 순 | 아주대학교 산업정보시스템공학부 교수 | e-mail : jsjang@ajou.ac.kr

소비자권익보호가 강조되고 고도화된 제품의 사용 환경조건이 다양화됨에 따라 극단적인 상황에서도 고장 나지 않는 완전제품이 요구되고 있다. 신뢰성이 고객만족을 위한 가장 중요한 지표가 된 지금 이 신뢰성의 개념과 기업에서의 접근방법에 대해 알아보고자 한다.

얼마 전 신문보도에 따르면 국내 기업이 미국에 수출한 TV가 갑자기 꺼지거나 제대로 켜지지 않는 문제로 인하여 많은 소비자들로부터 집단소송을 당하고 있다고 한다. 소비자 측 변호사는 약 700만 대에 해당한다고 하고, 회사 측은 약 1~2%에 정도라고 하는데, 문제가 된 것은 전원단의 커패시터(capacitor)라고 한다. 사소한 부품 문제 하나로 전체 제품, 나아가 회사의 이미지가 추락하는 것이 몇 년 전 도요타의 사태가 재현되는 것이 아닌가 하는 우려가 앞선다.

어떤 제품의 기능이 정지되거나 성능이 만족할 만한 상태에서 벗어나는 것을 우리는 고장이 발생하였다고 한다. 고장은 구성 부품이 파손/과과 되어 발생하기도 하지만 성능의 열화 때문에 발생하기도 한다. 잘 달리는 자동차에서도 라디오 안테나나 유리창을 자동으로 올리고 내리는 장치가 멈추어 버리면 여러 가지 불편을 겪게 되며, 냉장고나 세탁기와 같은 가전 제품은 소음으로 안면을 방해하거나 작동이 정지되어 생활에 많은 지장을 초래하기도 한다. 이와 같이 제품이 사용 중에 고장이 나거나 수명이 짧아 오랜 사용이 어렵게 되는 현상에 대하여 우리는 제품의 신뢰성이 낮다고 말한다. 즉 믿을 수 없는 제품이라는 것이다.

기업에서 신뢰성을 중시하여야 하는 이유는 신뢰성 이야말로 고객을 만족시키기 위한 가장 중요한 지표이기 때문이다. 고객에게 인도된 제품이 사용 중에 고

장이 발생한다면 당해 고객의 불편함을 야기함은 물론 제품의 이미지가 나빠지게 되어 판매의 어려움을 겪게 되는 것은 자명한 사실이다. 사실 세계의 일등 제품이라는 것은 출하 초기에 느껴지는 품질도 좋지만 그보다도 그러한 제품은 “믿고 오래 쓸 수 있다는 신뢰감이 가기 때문이다”라고 할 수 있다. 그러한 제품이 비록 가격이 비싸다고 하여도 소비자들에게 인기가 있는 것은 오래 쓸 수 있기에 전체적인 비용은 낮아진다는 평범한 진리 때문이다.

최근 들어 제품이 고도화되고 사용 환경조건이 다양화 되면서 극단적인 상황에서도 고장이 나지 않는 완전제품을 요구하는 추세가 증가하고 있고, 신소재, 신부품 및 새로운 생산기술 등이 빠르게 나타나고 있지만 상대적으로 평가나 측정 기술은 확보되지 않아 그로 인한 불신뢰나 불안전 요인이 크게 대두되고 있다. 또한 최근 소비자의 권익보호가 강조되면서 등장한 제품책임법의 발효, 기능안전의 요구 증대 등은 기업이 적극적으로 신뢰성을 향상시켜야 하는 요인으로 등장하고 있다. 이 글에서는 이러한 신뢰성의 개념과 기업에서의 접근 방법에 대하여 알아보고자 한다.

### 신뢰성의 정의와 개념

KS에 따르면 신뢰성은 ‘시스템, 기기, 부품 등이 규

정된 조건에서 규정된 기간 동안 의도한 기능을 수행할 확률'로 정의되어 있다. 즉 신뢰성은 제품이 출하되어 고객이 사용하는 과정에서 아무런 문제없이 오래 사용할 수 있는가를 나타내는, 이른바 '시간의 품질'이라고 할 수 있다.

위의 정의에 따르면 우선 신뢰성은 시스템이나 기기, 부품 등 모든 품목이 대상이라는 것을 알 수 있다. 여기서 시스템이란 여러 개의 부품으로 구성되어 고장이 발생할 경우 수리 가능한 제품, 이른바 세트제품을 말한다. 한편 신뢰성이라고 하면 많은 사람들이 전자제품이나 기계제품, 자동차 등에만 해당되는 것으로 이해하고 있다. 그렇게 된 것은 신뢰성의 시작이 군대와 항공산업에서 비롯되었다고 알려졌기 때문이라고 생각된다. 사실 신뢰성은 교량이나 건물 건설 등 토목과 건축 분야에서 시작되었다. 그러나 인간이 만든 모든 제품은 결국 사람들의 생활에 도움을 주기 위한 것이라고 할 때, 신뢰성은 우리가 입는 옷, 먹는 음식, 주택, 가구, 주방 기기 등 모든 분야에 적용되는 것이다.

한편 신뢰성의 정의에는 '규정된 조건'이 명시되어 있다. 여기서 조건이라 함은 온도나 습도 등의 환경조건과 전압이나 범규, 사용습관 등 사용조건을 망라한 것이다. 신뢰성에서 이러한 조건을 거론하는 이유는 많은 고장이 바로 사용환경조건에서 비롯되기 때문이다. 예를 들어 -40℃ 이하인 지역에 4계절용 엔진오일을 사용한다든가, 고온과 저온이 반복적으로 인가되어 열피로 현상을 겪게 되는 전자부품 등 사용 환경조건은 다양한 고장을 유발하게 된다. 따라서 신뢰성을 보증하기 위하여 우선 제품의 사용환경조건을 명확하게 규정하여야 한다.

신뢰성을 확인하기 위한 시험규격들은 대부분 특정 조건, 예를 들어 온도 -30℃에서 120℃ 등과 같이 특정한 온도수준에서 시험이 이루어지도록 되어 있다. 물론 이러한 가혹한 온도에서 제품이 정상 작동한다면 나머지 보증온도 구간 내에서도 정상 작동할 것이라

는 것이 경험적으로 알려져 있지만, 경우에 따라서는 시험조건에서 잘 작동하던 제품이 실사용조건에서는 그렇지 않게 되는 사례도 발견되곤 한다. 따라서 사용환경조건을 규정하는 것은 이러한 사실을 명확히 하여야 함을 의미하는 것이라고 할 수 있다.

또한 고려되어야 하는 것은 사용환경조건은 외부적인 조건만을 나타내는 것은 아니라는 것이다. 제품이 기능을 수행하기 위해서는 여러 가지 부품이 조립되어야 하는데, 어떤 부품의 작동으로 인하여 다른 부품이 영향을 받는 경우가 있다면 이와 같은 조건도 반드시 고려되어야 한다. 예를 들어 능동소자의 경우는 열을 발생할 수 있으며, 모터는 기동 시 surge를 유발하기도 한다. 이러한 조건을 유도된 환경(induced environment)이라고 한다.

다음으로 신뢰성 정의에 나타난 '규정된 시간'이라는 것은 모든 제품은 결국에는 고장이 나거나 더 이상 사용이 불가능한 상태가 될 것이기 때문에, 신뢰성을 보증하기 위하여 사용시간, 즉 목표수명을 규정하여야 한다는 것이다. 예를 들어 1,000시간, 100만 사이클, 10만 회 작동 등과 같이 제품의 내구수명을 규정하여야 한다는 것이다. 규정된 목표시간은 이른바 내구수명에 관련된 것이다.

신뢰성의 정의에서 보면 신뢰성은 확률로 표현하도록 하고 있다. 그 이유는 고장은 정해진 특정시간에 나타나는 것이 아니라 확률적으로 임의의 시간에 나타나기 때문이다. 따라서 제품의 신뢰성을 표현하기 위하여 적절한 통계적 지표를 활용하여야 한다. 외국 기업의 경우에는 자사 제품의 신뢰성을 시험조건, 보증조건과 함께 고장률(단위시간당 고장발생건수)이나 MTTF 또는 MTBF(평균수명)으로 표현하여 홈페이지에 홍보하는 경우가 많이 있다. 그러나 우리의 기업에서는 신뢰성이 기업의 극비사항에 속한다는 생각에 치우쳐서인지 자사의 제품신뢰성을 홍보하는 경우가 극히 드물다.



정보화시대가 되면서 이른바 글로벌 경쟁이 심화되었고, IT기술을 이용한 e-commerce가 활성화되고 있어, 'e-commerce 시대에서는 2등 기업은 필요없다'는 지적이 현실화되고 있다. 그만큼 글로벌 경쟁이 치열하게 되었다는 것이다. 이러한 e-commerce 시대를 선도하고 살아남기 위하여 우리의 제품을 고객들이 믿을 수 있게 하는 근거가 필요한데, 그것이 바로 신뢰성이다. 따라서 우리의 기업들도 외국의 기업들과 마찬가지로 자사 제품의 신뢰성을 당당하게 홍보할 수 있는 체제가 구축되어야 할 것이다.

신뢰성을 분류하는 방법에는 고유신뢰성과 사용신뢰성으로 분류하는 방법도 있다. 여기서 고유신뢰성이란 제조기업이 만들어 넣어준 신뢰성을 말하며, 사용신뢰성이란 고객이 해당 제품을 사용하면서 발견되는 신뢰성을 말한다. 일반적으로 신뢰성은 고유신뢰성×사용신뢰성으로 정의한다. 따라서 신뢰성을 높이기 위하여 고유신뢰성을 제고하는 활동과 더불어 사용자가 실수 없이 제품을 사용할 수 있도록 정확한 가이드라인을 제시하여야 한다.

일반적으로 신뢰성하면 주로 하드웨어의 신뢰성을 나타내는 개념으로 인식되었다. 그러나 자동화, IT의 발전과 더불어 많이 제품이 소프트웨어를 많이 사용함에 따라 이러한 소프트웨어의 신뢰성도 큰 관심이 대상이 되고 있다. 또한 장비나 대규모복합시스템의 경우에는 operator를 포함한 인간의 신뢰성도 중요하게 대두된다. 특히 소프트웨어 신뢰성은 제품의 제어를 담당하고 있어 고장의 발현이 하드웨어를 통해 나타나게 되어 고장의 재현이나 시험도 어려워 그 대책의 수립이 시급한 실정이다. 특히 자동차의 경우에는 향후 전장부품의 사용이 더욱 확대될 것이나, 사무실 등에서의와 같이 안정적인 환경이 아니므로 더욱 어려운 문제가 될 것이다. 따라서 하드웨어의 신뢰성뿐 아니라 이러한 소프트웨어의 신뢰성을 보증하기 위한 체제의 구축이 매우 중요하게 대두되고 있다.

### 신뢰성에 대한 접근 방법

어떤 제품에서 고장이 발생하려면 내외부에서 작용하는 힘이나 부하 또는 사용환경적 요인 등의 스트레스가 있어야 한다. 만일 제품에 결함이 있으면 초기에 집중적으로 고장이 발생하게 되고, 우발 고장 기간에는 미처 예상치 못한 크기의 스트레스 때문에 고장이 발생하고, 마모 고장 기간에는 제품의 구조나 재질이 스트레스로부터 누적된 데미지(damage)로 내구한계에 도달하였기 때문인 것이다. 이와 같이 고장은 제품의 구조나 재질의 문제인 것이다. 만일 재질에 결함이 있으면 구조를 바꾸어 스트레스의 영향을 최소화하여야 하고, 구조 변경이 불가능하다면 보다 튼튼한 재질을 사용할 수밖에 없는 것이다.

이러한 면에서 볼 때, 신뢰성은 세트제품과 부품·소재의 신뢰성 접근 방법은 달라져야 한다고 할 수 있다. 세트나 시스템의 경우에는 신뢰성 있는 부품과 소재를 선정하고, 그러한 부품들을 조립하였을 경우 발생할 수 있는 문제점의 확인 즉 결함의 평가를 중시하여야 하지만, 부품이나 소재의 경우에는 다양한 사용 환경 조건에서 발생 가능한 고장 또는 고장메커니즘을 정확하게 파악할 수 있는 시험이나 분석이 중시되어야 한다. 사실 세트제품의 경우에는 수명시험이 불가능한 경우가 많으며, 부품이나 소재 수준에서 신뢰성을 확보하지 않고서는 세트제품의 신뢰성은 확보될 수 없다. 왜냐하면 고장이 발생하는 것은 주로 불균일한 재질, 나이가 불균일한 부품의 영향으로 밖에는 생각할 수 없기 때문이다.

신뢰성을 처음으로 시작한 미국(국방성)에서는 초기에는 주로 시험과 통계적인 분석에 많이 의존하였다. 그 당시에는 지금과 같은 분석 장비들이 많이 개발되지 않아 그러한 면이 있었던 것으로 생각된다. 신뢰성을 확인하기 위하여 일단 시험장비를 이용하여 환경시험이나 내구시험(수명시험)을 실시하고, 그 결

과를 통계적으로 분석하여 보증하는 방식이 많이 채택되었다. 통계적인 처리는 합리적인 의사결정을 위하여 반드시 필요한 수단이며, 객관적인 평가와 의사소통의 도구이다. 그러나 고장을 예방하는 것은 이러한 통계적 처리만으로는 어려운 점이 많다. 왜냐하면 고장이 발생한 제품의 경우에는 확률은 무의미하며, 실제로 고장예방대책을 수립하기 위해서는 어떠한 스트레스가 어떤 과정을 통하여 고장까지 이르게 하는지 그 원인과 메커니즘을 정확하게 파악하여야만 하기 때문이다.

최근 들어 신뢰성에서는 제품에서 발생 가능한 고장 메커니즘을 원인부터 물리적으로 분석하여 접근하는 고장물리접근법이 활발하게 연구되고 있다. 이러한 연구들을 살펴보면 물론 많은 시험과 분석을 통하여 데이터를 확보한 것도 있지만, 과거의 다른 연구들을 분석하여 고장에 대한 거대한 지식베이스를 구축하고 있음을 알 수 있다. 그러한 지식베이스를 바탕으로 고장에 대한 예방과 수명예측, 설계 검토 등이 가능한 시스템들을 개발하고 있는 것이다. 이러한 고장물리적 접근과 관리적 접근은 상호보완적인 관계로 활용되어야 한다. 고장 물리적 접근이 중요하고 효과적이라고 하여도, 고객에게 어떻게 신뢰성을 보증할 것인가, 어떠한 고장을 해결하는 것이 시급한가 등은 통계적 관리의 몫이기 때문이다.

## 신뢰성 관리

기업에서 신뢰성을 확보하고 향상시키기 위하여 제품의 기획 및 설계단계에서부터 판매, 사용 및 폐기단계에 이르기까지 전 생애(life cycle)에 걸친 다각적인 노력이 필요하다. 따라서, 기업으로서는 신뢰성을 향상시키기 위한 여러 가지 활동을 체계적으로 추진하여야 하며, 이러한 활동들을 분류하여 보면, 신뢰성 평가, 신뢰성 설계, 신뢰성 정보관리 및 신뢰성 기반구축

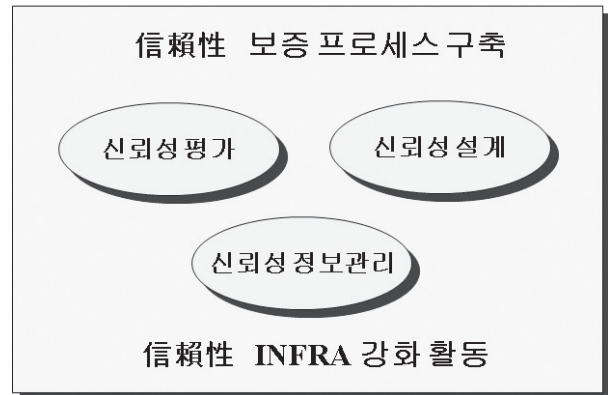


그림 1 신뢰성 관리활동

활동 등으로 크게 나눌 수 있다.

평가 없는 개선이 있을 수 없듯이, 신뢰성에서도 가장 기본적인 활동은 신뢰성 평가이다. 신뢰성 평가는 대상 부품의 신뢰성 수준이 얼마나 되는가를 확인하는 것으로 다시 신뢰성 시험, 신뢰성 예측, 고장분석 등의 활동으로 구분할 수 있다. 여기서 신뢰성 시험은 대상 부품의 신뢰성 수준을 시험을 통하여 파악하고자 하는 것으로서, 신뢰성 활동 중 가장 많은 활용을 보이고 있는 기본 활동이다. 신뢰성 시험은 일정 규격을 정해 놓고 대상 아이템의 신뢰성 수준이 만족할 만한가를 확인하는 신뢰성 인증시험, 아이템의 신뢰성 수준을 보증하기 위한 보증시험 등으로 그 목적에 따라 여러 가지로 구분할 수 있다.

신뢰성 시험을 구분하는 또 다른 방법으로는 신뢰성 시험을 기능/성능시험, 환경시험, 수명시험, 안전시험 등으로 분류하는 것이다. 기능/성능시험은 대상 아이템의 동작 여부, 성능발휘 여부 등을 확인하는 시험으로서 목표한 기능을 확실하게 수행할 수 있는가를 시험하는 것이다. 한편 환경시험은 대상 아이템이 정해진 환경조건(대부분 가혹조건)에서 고장 없이 동작 가능한가를 확인하는 내구시험이다. 즉 환경시험은 온도나 진동 등과 같은 환경조건을 실제 수준보다 가혹하게 만들고, 부품이나 시스템이 그러한 가혹한 환경을 견뎌낼



수 있는가를 확인하는 시험으로서, 아이템의 고장이 대부분 환경조건에서 비롯된다는 점을 감안하면 신뢰성 확보에 가장 기초적인 활동이라고 할 수 있다.

수명시험은 주로 마모고장을 파악하여 얼마나 오래 쓸 수 있는가, 즉 수명이 얼마인가를 알아내고자 하는 시험이다. 수명시험은 대부분 시간이 오래 걸리는 특성이 있다. 따라서 현실적으로 많은 종류의 수명시험을 실시하기는 어렵다. 이를 해결하기 위하여 부품이나 시스템이 놓이게 되는 조건을 가혹하게 하여 빠른 고장을 유도하는 가속수명시험(ALT)을 많이 활용하고 있다. 그러나 환경시험의 결과를 활용하여 수명을 예측하는 방법도 모색되어야 할 것이다. 한편 안전시험은 아이템에서 고장 발생 시, 그 아이템의 사용자에게 피해를 가할 수 있는지를 확인하는 시험이다. 자동차의 충돌시험 등은 대표적인 안전시험이다.

신뢰성시험은 신뢰성 확보를 위한 가장 중요한 활동이다. 만일 아이템에 필요한 모든 시험을 철저히 할 수 있다면 고객이 믿고 안심하고 쓸 수 있는 제품을 만들 수 있다. 그러나 가능한 모든 시험을 실시한다는 것은 경제적으로, 물리적으로 불가능하다. 이를 지원하기 위한 방법이 신뢰성 예측이다. 신뢰성 예측은 신뢰성시험을 실시하기 전 설계 단계에서 아이템의 신뢰성 수준을 미리 예측하고자 하는 것이다. 신뢰성 예측방법은 FMEA, FTA와 같은 정성적 방법과 수명자료를 활용하여 이루어지는 고장률 예측법과 같은 정량적 방법이 있다. 신뢰성 예측은 설계 대안들을 평가하기 위한 수단으로 설계단계에서 반드시 수행되어야 한다. 특히 FMEA는 모든 선진기업에서 필수적으로 실시하고 있는 신뢰성 예측방법론으로, 신뢰성 시험을 계획하는 기초자료로 활용되는 등 신뢰성 예측과 신뢰성 시험은 상호 보완적으로 활용될 수 있다.

신뢰성 평가는 신뢰성 관리에 가장 기본적인 활동으로서, 대부분의 기업들이 채택하고 있는 활동이다. 그러나 신뢰성 평가체제가 잘 갖추어졌다고 하더라

도, 이를 효과적으로 운영하기 위하여 반드시 신뢰성 정보관리가 체계적으로 이루어져야 한다. 신뢰성 정보관리는 고장이나 수명과 같은 신뢰성 자료의 수집, 처리, 보관, 운영 등의 활동을 하여야 함은 물론 설계에 필요한 사용환경조건 정보의 관리, 시험데이터 관리, 필드 클레임 관리 등 신뢰성 평가와 설계에 관련된 제반 정보를 관리하는 것이다. 미국 국방성에서는 FRACAS(Failure Report, Analysis and Corrective Action System)의 활용을 적극 추천하고 있는데, 이는 고장이 발생하면 6하원칙에 따라 고장발생을 보고하고, 고장원인을 분석하여 시정조치를 취하고, 이들 과정을 데이터로 기록하고자 하는 것이다.

한편 신뢰성 설계란 설계단계에서 신뢰성을 고려하여 설계를 하고자 하는 것으로서, 신뢰성은 결국 설계에 의해 결정되는 항목임을 감안하면 가장 효과가 큰 활동이라고 할 수 있다. 즉 재질이나 부품의 선정, 제품 구조의 결정 등과 같은 단계에서 고장발생을 적극적으로 예방할 수 있는 설계를 실시하고자 하는 것이다. 현재 신뢰성 설계를 위한 여러 가지 원칙과 절차가 제안되어 있고, DFR(Design For Reliability)과 같은 방법론이 제시되어 있지만, 설계는 대상 제품에 따라 또 그 회사의 수준에 따라 달라짐을 감안하면 각 기업마다 독특한 설계 가이드라인을 정하여 실시할 수밖에 없다. 신뢰성 설계는 신뢰성 관리활동의 종착역이라고 할 수 있다.

우리나라는 세계 최초로 부품과 소재의 신뢰성 향상을 위한 국가 프로젝트를 실시하여 다수의 신뢰성 평가기관이 설립되었고, 700여 종이 넘는 규격이 개발되었다. 또한 신뢰성을 보증하는 R-mark도 실시하여 왔다. 이러한 노력으로 국산부품은 무역 흑자를 기록하게 되었으며, 제품에 대한 반응도 괄목할만하게 좋아지게 되었다. 이러한 기초를 지속하기 위해서는 향후에는 원천기술인 소재의 신뢰성 확보에 주력하여야 하며, 신뢰성 평가기술과 시험장비 개발 등 다양한 노력을 계속하여야 할 것이다.