

한국적 신뢰성 인증체계 개념

김형의

회원, 한국기계연구원 신뢰성평가센터

Korean Novel Concept for the Reliability Certification System

H. E. KIM

Abstract

According to the rapid development of science technologies, a life and development cycle of products are getting shorter and structures and functions become more complex so that the reliability requirement of customers is getting greater for components in the products. However, most domestic mechanical components are manufactured by small and medium-sized companies, who are manufacturing in poor economic and technical condition. Because of this, assessment technologies and equipment to predict and guarantee the reliability are very weak. For this reason, it is the fact that many customers neglect the domestic mechanical components which fail to win the reliability. Korean government has been trying to eliminate the problem by establishing 18 reliability assessment centers in 2000 and performing R-Mark certification promotion and constructions of the foundation for reliability assessment to rebuild the reliability on the domestic components and materials. Korea Institute of Machinery and Materials has been designated as a supervising organization for reliability assessment in the machinery filed for 5 years. In this paper, we would like to introduce effective and systematized 12 steps of reliability substantiation test on mechanical components with know-how we achieved during the period.

Key Words : 신뢰성(Reliability), 입증시험(Substantiation Test),
 와이블 분포(Weibull Distribution), 기계류부품(Mechanical Components)

기호설명

$f(t)$: 확률밀도 함수	B_{100p} : 보증수명
$R(t)$: 신뢰도 함수	CL : 신뢰수준(confidence level)
$F(t)$: 불신뢰도 함수	p : 불신뢰도(B10 수명이면 $p = 0.1$)
$h(t)$: 고장률 함수	n : 샘플수
γ : 위치 모수(location parameter)	r : 고장개수
β : 형상 모수(shape parameter)	t : 고장시간
θ : 척도 모수(scale parameter)	AF : 가속계수
t_n : 무고장시험시간	χ^2 : Chi-Square 분포

1. 서론

산업기술의 고도화 및 중국 등 후발 경쟁국의 추격으로 인하여 제품의 개발주기 및 수명주기는 점점 짧아지고 고급화, 다기능화, 고기능화로 인하여 제품의 구조 및 성능은 복잡하고 다양해짐에 따라 이를 구성하는 부품의 품질과 신뢰성에 관한 중요성이 증대되고 있다. 하지만 국내 기계류부품 생산업체는 경제·기술적으로 열악한 중소기업들이 대부분을 차지하고 있어 신뢰성의 중요성에 대한 인식이 부족하고, 이를 평가할 수 있는 인프라(평가장비, 전문기술인력 등)가 매우 취약한 실정이다.

정부는 이러한 기업의 어려움을 해결하고, 신뢰성 요구조건을 충족시키기 위해 2000년부터 8개 분야의 18개 신뢰성평가센터를 정부출연 연구기관에 설치하여 신뢰성향상사업을 추진하고 있으며, 현재 한국기계연구원 신뢰성평가센터에서는 기계류부품분야의 신뢰성 인프라구축과 신뢰성 평가인증을 수행하고 있다.

이 논문에서는 그 동안 신뢰성향상사업을 통해 축적된 Know-How를 바탕으로 한국의 신뢰성 인증체계의 개념 및 바람직한 신뢰성 발전방향에 대해 기술하고자 한다.

2. 한국적 신뢰성 인증체계

2.1 정부주도형 신뢰성평가

신뢰성평가 인프라를 조기에 구축하고 국산제품의 신뢰성향상을 통한 국제시장의 변화에 대응하기 위하여, 정부는 2000년 시범사업을 시작으로 2001년 “부품·소재전문기업 등의 육성에 관한 특별조치법”을 제정·공포하여 신뢰성향상사업의 제도적 지원근거를 마련하였으며, 기술표준원을 총괄기관으로 하여 기계류부품, 자동차부품, 전기부품, 전자부품, 기초금속, 가공금속, 화학, 섬유소재 등 8개 분야 18개 신뢰성평가센터에 정부예산을 투입하여 신뢰성평가 기반구축을 지원함으로써 국가적 신뢰성평가 네트워크를 구축하고 있다. 또한 국산 부품·소재를 대상으로 신뢰성평가를 실시하고 신뢰성인증(R Mark)을 부여함으로써 신뢰성 제고와 신규 시장진입 촉진을 위해 Fig. 1와 같은 추진체계로 사업을 수행하고 있다.

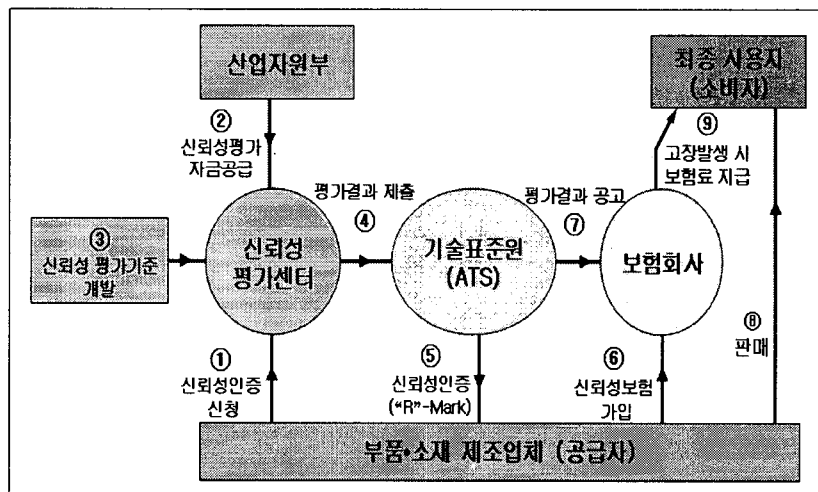


Fig. 1 Reliability assessment & certification activities, driven by government

또한 전 세계에 어느 나라에도 우리나라처럼 정부가 주도하여 수행하는 신뢰성사업은 존재하지 않으며, 외국의 신뢰성 전문가들이 이러한 사업을 극찬하며 부러워하고 있다.

2.2 기계류부품의 신뢰성평가 추진업무

기계류부품분야 신뢰성평가센터에서는 기계류부품의 신뢰성향상을 위해 대표적으로 신뢰성평가기준 개발, 신뢰성평가 장비 개발, 신뢰성평가 및 인증 등의 업무를 Fig. 2과 같은 절차에

의해 추진하고 있다.



Fig. 2 Procedure for reliability assessment

2.3 한국적 신뢰성 인증체계 개념정립

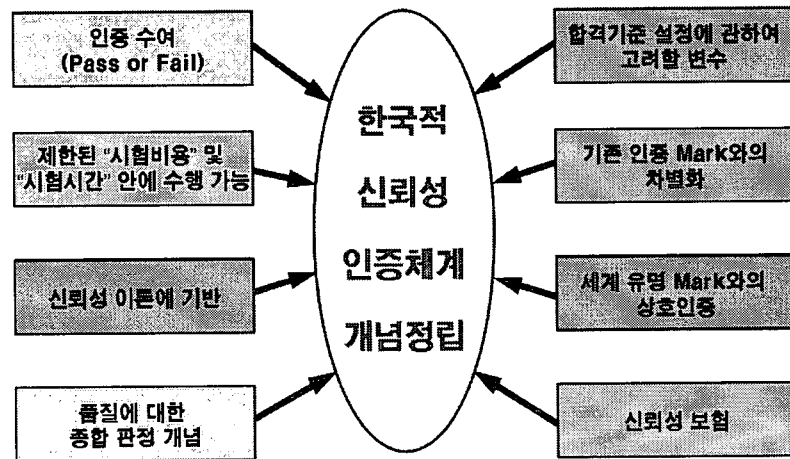


Fig. 3 Korea Concept for the Reliability Certification System

2.3.1 합격기준의 설정에 관한 고려 사항

제품에 대한 합격기준의 설정은 제품의 성능 및 국제 기준에 근거한 판정기준과 더불어 국내 실정과 수준에 맞게 고려되어야 한다. 한국기계연구원 신뢰성평가센터에서의 각 분야별 신뢰성 척도 수준을 table 1 과 같이 결정하고 있으며, 향후 그 분야를 세분화하면서 좀 더 확대할 예정이다.

Table 1. Reliability Measure of the Industrial

No	분야	신뢰성보증척도
1	농기계	B ₂₀
2	건설중장비	B ₂₀
3	군용장비	B ₁₀
4	자동차	B ₅
5	제철 생산설비	B ₅
6	원자력 발전설비	B ₁
7	철도차량	B ₁
8	항공기	B ₁

또한 미국, 일본, 독일 등 선진국의 기술수준을 고려하여, 한국산업계의 기술 수준에 맞는 합격기준 설정에 대해서도 고려해 보아야 한다.

2.3.2 기존 인증 Mark와의 차별화

신뢰성 R Mark는 세계적으로 최초이며, 유일한 정부주도형 신뢰성인증 Mark 이다. 인증 수여 과정에서도 업계 및 학계의 전문가들로 구성된 Working Group, 기술위원회에서 검토되고 전문위원회를 거쳐 심의되어지는 과정을 통해 발급이 되는 가장 체계적인 인증 Mark 라 할 수 있다. 또한, 제 3자에 의해 수행된 실험결과에 기반을 두고 있기 때문에 국내의 기존 Mark보다 믿을 수 있다.

2.3.3 세계 유명 Mark 와의 상호인증

세계 유명 인증업체와 상호 인증을 통해 한국의 R Mark 에 대한 국제적 위상을 높임과 동시에 R Mark를 수여받은 업체에 대해 수출지역에서의 광고홍보효과 증대로 매출을 증대할 수 있다. 현재 한국기계연구원 신뢰성평가센터에서는 “국제 상호인증 신청” 제도를 운영중에 있으며, 이는 당 센터에서 수행하여 신뢰성 R Mark를 획득한 품목에 대하여 국내 업체가 국

제 인증을 요구시 신뢰성평가 결과보고서만을 검토하여 해당 국가의 유명 인증마크를 획득할 수 있도록 하는 상호인증 제도이다. 현재 Tuv, BV에 대해 5건의 상호 인증이 추진되었으며, CE에 대해서도 7건이 진행 중에 있다.

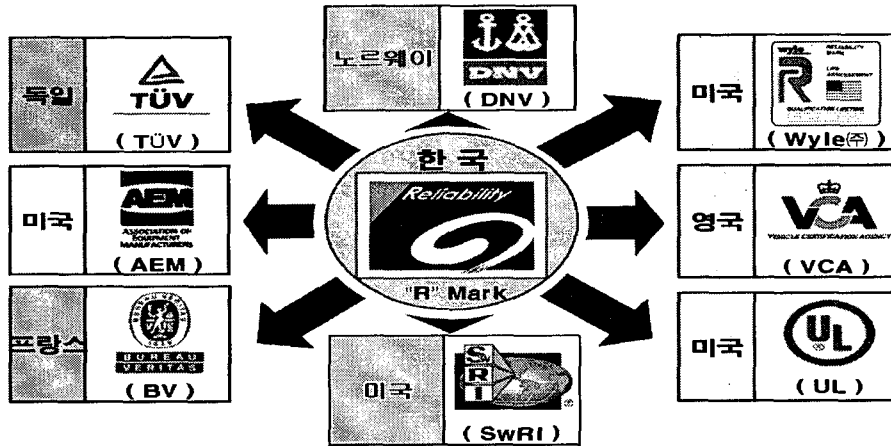


Fig. 4. International Mutual Certification

2.3.4 신뢰성 보험

신뢰성 보험은 국산 부품·소재를 사용하는 국내 또는 해외수요기업에게 부품·소재의 신뢰성을 보증하고 신뢰성상실로 인한 수요기업의 손해를 보상하는 손해보험의 일종으로, 부품·소재 자체의 손해 및 부품·소재의 결함으로 인한 제3자의 물적·인적 손해 등을 포괄적으로 담보함으로써 국산 부품·소재의 판매를 촉진코자 하는 정책으로 현재 산업자원부가 수출 보험 공사에 100억을 출자하여 운영하고 있다.

인증 후 제품에 대한 사후관리를 위한 방안으로 ISO 9000 Series 선 인증 획득을 전제로 5년 주기마다 새롭게 사후관리를 하는 등의 제도적인 개선과, 보험의 적용시 실험 결과에 기반을 두고 적용범위와 정해진 신뢰수준의 범위안에서 보증하는 등의 조건이 필요하다.

2.3.5 품질에 대한 종합 판정 개념

신뢰성 평가시험은 소비자의 신뢰성 요구조건 및 기대의 충족함을 보장하기 위한 것으로 신뢰성 보증(R-Mark 인증)을 위하여 실시되며 성능시험, 내환경성시험, 신뢰성입증(수명)시험, 안전성시험을 모두 포함하는 시험을 의미하며, Fig. 5과 같이 제품이 요구하는 기능 및 성능을 만족하는지를 평가하는 기존의 품질인증 시험에 수명(가속수명시험)평가와 내환경성 평가가 좀 더 보강된 형태의 종합품질인증 시험이라 할 수 있다.

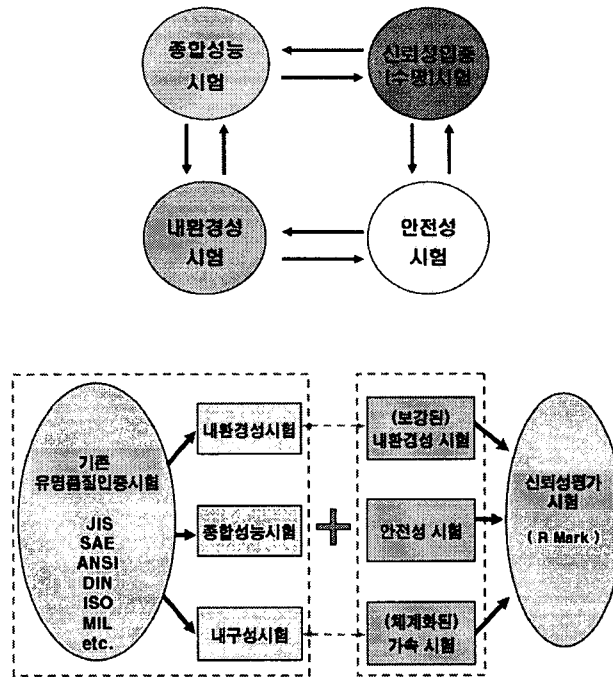


Fig. 5 Reliability assessment test of mechanical components

신뢰성 평가시험은 제정된 신뢰성평가기준에 의하여 종합 성능시험, 내환경성시험, 신뢰성 입증(수명)시험, 안전성시험을 Fig. 7와 같은 순서로 수행하며 각각의 시험항목에 대하여 신뢰성평가기준의 합격 판정기준을 만족하여야 한다.

종합성능시험은 평가기준에 명시된 각각의 성능시험 항목을 시험하여 제품이 가지고 있는 고유의 성능을 만족하는지 평가하는 시험이다. 초기 성능평가 데이터는 내환경성 시험 종료 후 측정된 성능시험 데이터와 수명시험 후 측정된 성능시험 데이터와 비교·검토를 통하여 성능의 열화(degradation)를 평가하는 중요한 지표가 된다.

내환경성시험은 종합 성능시험을 모두 만족한 시료를 가지고 평가하며, 시료의 환경조건에 따라 선정된 각종 내환경성 시험(고온, 저온, 습도, 가진 시험 등)을 실시한다. 내환경성 시험의 순서는 Step 12의 Table 6의 MIL-STD-810F의 순서를 따르는 것을 원칙으로 하며, 각각의 내환경성 시험이 종료된 후에는 종합 성능시험 항목 중 시료의 대표적인 성능을 측정할 수 있는 대표 성능시험 항목을 평가하여 만족하여야 한다.

신뢰성 입증(수명)시험은 각각의 내환경성 시험을 모두 만족한 시료를 바탕으로 수행되며, 시험시간의 단축을 위해 가속수명시험이 행해지는 품목도 있다.

또한 수명시험 중 Fig. 14의 (b)와 같이 각각 5회(수명시험 전, 시험기간의 25%, 50%, 75%, 100%)에 걸쳐 종합 성능시험 항목 중 대표 성능시험 항목을 실시하여 성능열화를 확인한다.

고장이 시스템 및 인체에 치명적인 영향을 주어 안전성 확보가 필요한 부품에 대하여는 안

전성 시험을 실시한다. 안전성 시험은 시료의 성능 및 기능에 치명적 영향을 주는 시험이므로 모든 시험항목의 평가가 완료된 후 실시한다.

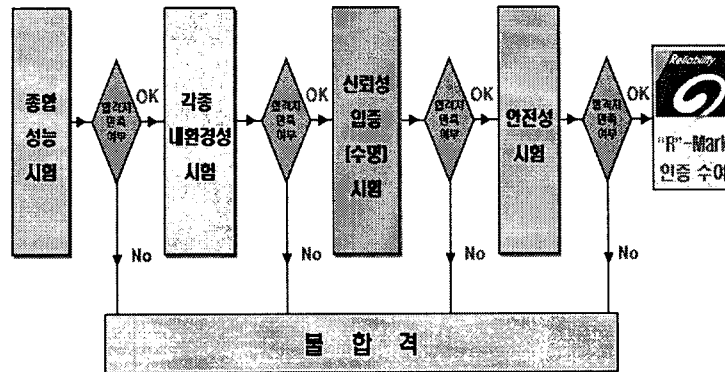


Fig. 6 Procedure for reliability assessment test of mechanical components

이러한 일련의 신뢰성평가가 완료되고 신뢰성평가기준에 명시된 판정기준을 만족하면, 평가 결과 보고서를 작성하여 위원회의 심의를 거친 후 기술표준원 원장 명의로 신뢰성인증서가 수여되며, 인증을 받은 업체는 저렴한 비용으로 신뢰성 보험에 가입할 수 있고, 각종 정부의 지원정책에 의한 혜택을 받을 수 있다.

2.3.6 신뢰성 입증시험

신뢰성 이론에 기반한 인증체계 구축 과정에서 현실적으로 몇가지 어려움이 앞선다. 높은 샘플 비용 때문에 적은수의 샘플로 시험을 함에 따라 신뢰성 방법 적용에 한계가 있으며, 신뢰성 예측 확인 시험에 많은 시간과 노력이 소요되고, 또한 시험비용과 신뢰성 활용 Data 부족으로 인하여 현실적인 한계에 부딪히게 된다. 이러한 어려움의 해결을 위해 신뢰성 입증시험에 대한 방법론적 대안을 제시하고자 한다.

신뢰성 입증시험(Reliability Substantiation Test)은 모집단의 수명분포 및 모수, 신뢰 수준에 대한 정보를 기초로 하여 아이템의 특성 또는 성질이 기술된 신뢰성 요구조건(Target Valve; B100p 수명, MTTF 등)을 만족하는지 평가하는 시험으로, 고장 데이터를 관측하여 모집단의 수명분포 및 수명을 예측하기 위한 신뢰성시험과 차별화 되며, 이러한 시험에 비해 시험시간을 대폭 줄일 수 있는 장점이 있다. 신뢰성 입증시험에 대한 방법론적 접근은 Fig 7.으로 12단계에 걸친 자세한 언급은 다음 장에서 하고자 한다.



Fig. 7 Procedure for reliability substantiation test of mechanical components

3. 기계류부품의 신뢰성 입증시험

기계류부품의 수명분포는 마모나 열화특성이 잘 반영되는 와이블 분포가 가장 적합한 것으로 알려져 있다. 따라서 기계류부품의 신뢰성 입증시험 기법에 대한 이론적 배경은 와이블 분포를 바탕으로 기술하였으며, 와이블 분포의 함수들은 다음과 같다.

1) 확률 밀도 함수

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t-\gamma}{\beta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\theta}\right)^\beta} \quad \beta > 0, t \geq \gamma, \theta > 0$$

γ : 위치 모수(location parameter)

β : 형상 모수(shape parameter)

θ : 척도 모수(scale parameter)

2) 분포함수(불신뢰도 함수 및 신뢰도 함수)

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\theta}\right)^\beta},$$

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\theta}\right)^\beta}$$

3) 고장률 함수

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t-\gamma}{\theta}\right)^{\beta-1}$$

3.1 Step 1 : 세계유명 품질인증규격 조사

신뢰성평가기준(Reliability Standard)을 작성하기 위한 준비 작업으로 평가 대상품에 대하여 기계류부품 관련 국제규격(ISO, IEC 등), 지역규격(EN, CEE 등), 국가규격(ANSI, BS, DIN, JIS, NF 등), 단체규격(SAE, NFPA, ASME, AGMA 등) 등을 조사하고 분석하여, Table 2과 같은 시험항목 및 시험방법에 대한 조사표를 작성한다. 또한 평가 대상품의 현장 작동조건, 환경조건, 주요 고장모드 등을 분석하여 작성된 세계유명 품질인증 규격 조사표와 비교·검토하는 과정을 거쳐 신뢰성 평가 시험항목 및 시험조건을 결정한다. 따라서 기계류부품의 신뢰성평가기준은 Fig. 8과 같이 세계 유명 품질인증 규격이 종합적으로 반영되어지고 내 환경성시험 및 수명시험이 보장된 시험규격이라 할 수 있다.

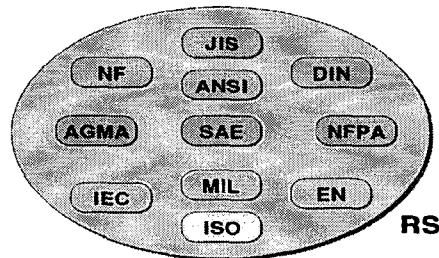


Fig. 8 International standard v.s. Reliability assessment standard

Table 2. Research table on International standard test items(ex: Coupling)

No	시험항목	세계 유명 품질인증 규격											신뢰성 평가 기준
		KS	JIS	AG MA	EN/ ISO	BS	AN SI	JG MA	API	SAE	AS ME	MIL 810F	
1	평행변위시험	△	△	○	○	○	○	×	△	×	○	×	○
2	각도변위시험	△	△	○	○	○	○	×	△	×	○	×	○
3	축변위시험	△	△	○	○	○	○	×	△	×	○	×	○
4	백래시시험	△	×	△	△	△	△	△	×	×	△	×	○
5	최대토크시험	△	△	○	○	△	△	○	○	△	△	×	○
6	최대화전수시험	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	×	○
7	가진시험	×	×	△	△	×	×	△	×	×	×	○	○
8	저온시험	×	×	×	△	×	×	×	×	×	×	○	○
9	고온시험	×	×	×	△	×	×	×	×	×	×	○	○
10	습도시험	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
11	수명시험	×	×	△	△	△	×	×	×	×	×	×	○

○ : 직접인용, △ : 간접인용, × : 관련 없음

*JGMA : Japan Gear Manufactures Association
 **API : American Petroleum Institute

3.2 Step 2 : 보증수명(Qualification Life) 결정

보증수명이란 10년/10만 km, 2,000시간, 100만 Cycle 등으로 생산업체가 소비자에게 보증할 수 있는 수명을 의미한다.

하지만 국내 대부분의 기계류부품은 수명예측을 위한 데이터가 전무한 실정으로 보증수명에 대한 명확한 기준이나 자료가 없어 외국의 유명 생산업체의 기준을 따르고 있는 실정이다. 따라서 기계류부품 신뢰성평가기준에서는 국내 실정에 맞는 보증수명을 결정하기 위하여 현장 작동조건 및 기술수준, 업체의 보증(Warranty)기간, 세계유명 품질인증 규격의 내구성 시험조건 등을 조사·분석하고, 세계 기술수준 및 국내의 기술수준을 고려하여 생산자와 수요자의 협의에 의해 최종 보증수명을 결정하고 있다. Table 3는 소형 디젤 차량의 현장의 사용조건, 업체의 보증기간과 부품의 사용빈도 등을 분석하여 핵심 부품인 수동변속기의 보증수명을 산출한 예이다.

3.3 Step 3 : 신뢰성 척도(Reliability Measure) 결정

신뢰성 척도란 신뢰성을 정량적으로 표현하고 측정하기 위한 척도를 말한다. 예를 들면 “우리 회사 제품의 보증수명은 1,000시간이다” 라고 말한다면 1,000시간 동안 고장이 하나도 발생하지 않는 것을 의미하는지, 아니면 평균수명이 1,000시간이라는 것을 의미하는지 알 수 없을 것이다. 이 때 이것을 명확히 해주는 역할을 하는 것이 신뢰성 척도라 할 수 있다.

Table 3. Qualification life determination

(ex: Manual transmission for small diesel vehicle)

<p>1) 소형 디젤차량의 연중 작동거리 계산</p>	<ul style="list-style-type: none"> •휴가 및 주말 제외 출퇴근 : 35 km 35 km/일 × 5 일/주 × 50 주/년 = 9,000 km/년 •휴가 및 주말 사용거리 : 60 km (주말 52 주/년 × 2 일/주 + 휴가 13일) × 60 km/일 = 약 7,000 km/년 •연중 작동거리 : 16,000 km/년
<p>2) 소형 디젤차량의 작동거리</p>	<ul style="list-style-type: none"> •보증수명 : 10년(160,000 km) (16,000 km/년 × 10년)
<p>3) 소형 디젤차량용 수동변속기의 보증수명</p>	<ul style="list-style-type: none"> •차량의 작동거리 : 160,000 km(10년)□ •차량의 작동거리와 등가 되는 수동변속기의 작동거리 : 160,000 km (10년)

통상 기계류부품의 신뢰성 척도는 B10 수명이 널리 사용되어지고 있다. 하지만 고장의 치명도와 신뢰성 보증수준 등에 따라 B1, B5 수명 등도 사용되어지며, 고장률, MTTF(Mean Time To Failure), MTBF(Mean Time Between Failure) 등도 사용된다. 이러한 신뢰성 척도는 시험 가능한 샘플수, 시험평가에 소요 비용, 가용할 수 있는 평가 장비, 고장의 치명도(안전, 경제·시간적 손실 등), Duty Cycle, 시험시간 등의 고려에 의해 결정된다.

3.4. Step 4 : 고장분석 및 시험항목 도출

고장분석은 물리적, 화학적 분석기술을 이용하여 고장발생 후 고장모드 또는 메커니즘을 밝히기 위한 것으로 FTA, FMMA, CMA, FMECA 등의 분석기법이 있다. 이러한 기법들은 고장이 제품 및 시스템에 미치는 영향을 분석하여 고장 치명도를 분석하고, 주요 고장모드를 찾는 데 목적이 있다.

또한 이렇게 분석한 고장분석 자료는 주요 시험항목을 결정하는 중요한 척도로도 제공된다. Fig. 9은 시험 유효성분석(Test Effectiveness Analysis) 기법을 바탕으로 고장분석 기법과

QFD Level 1 & 2를 이용하여 주요 고장모드와 제품의 신뢰성 요구조건과의 상관관계를 분석하고, 고장모드와 시험항목간의 시험효과를 분석하여 주요 시험항목을 결정하는 추진체계를 설명하고 있다. 또한 이를 요약하면 시험항목 결정절차는 FTA → FMMA → FMECA → QFD Level 1 → QFD Level 2 순으로 추진되어 진다.

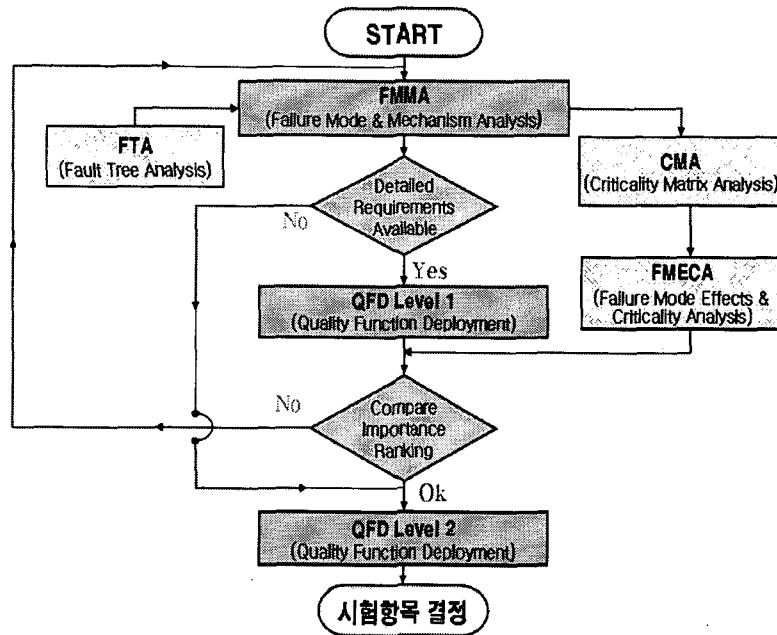


Fig. 9 Determination of test items using Test Effectiveness Analysis

3.5 Step 5 : 형상모수값 결정(가정)

기계류부품의 수명분포는 와이블 분포가 주로 사용되고 있으며, 와이블 분포는 분포의 형태를 결정하는 형상모수와 수명을 반영하는 척도모수를 갖는다. 이중 고장특성이나 재료특성에 따라 결정되는 모수로서 동일한 유형의 부품일 경우 유사한 값을 갖는 형상모수는 신뢰성 입증시험의 시험시간 설계에 있어서 매우 중요한 요소 중의 하나이다.

형상모수값을 획득하기 위한 방법은 참고문헌의 조사, 기계류부품에 대한 field data나 기존의 시험자료의 분석을 통한 산출, 수명시험의 설계·실시·분석을 통한 산출 등이 있다.

현재 신뢰성평가센터에서는 일부 수명시험에 의해 산출한 형상모수를 사용하는 경우도 있지만, 대부분 문헌조사를 통해 획득한 형상모수값을 이용하여 신뢰성 입증시험을 설계하고 있다.

또한 이렇게 가정(Assumption)한 형상모수값은 Fig. 10과 같은 검증절차에 의해 신뢰성인증과 별도로 고장이 발생할 때까지 시험을 추가로 실시하여, 시험데이터에 의한 형상모수값과 가정한 형상모수값을 비교·검토하는 과정을 수행하고 있다. 또한 데이터를 축적하여 형상모수에 대한 데이터베이스를 구축할 예정이다.

하지만 기계류부품의 형상모수 도출을 위한 시험데이터 획득은 앞서도 언급했듯이 제한된 시료와 긴 시험시간, 가속수명시험 방법에 대한 자료부족 등으로 많은 어려움이 있고, 참고자료가 매우 미흡한 실정을 감안할 때 현재와 같은 정부지원이 장기간 지속적으로 필요한 실정이다.

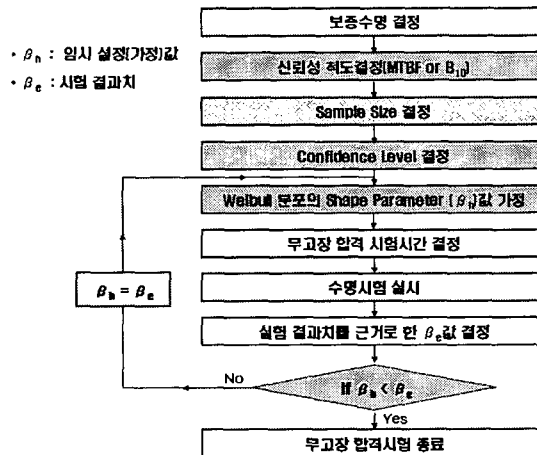


Fig. 10 Determination of shape parameters with reliability test data

3.6 Step 6 : 샘플수의 결정

시험 샘플수는 수명분석 결과의 정확도와 관련되는 문제로 샘플수가 많으면 분석결과가 정확하지만 시험비용이나 시험시간이 증가하는 문제가 발생할 수 있다. 최적 시험 샘플수 결정은 시험비용, 시험시간, 샘플의 가격, 샘플의 크기, 시험 가능한 시험장비의 수 등의 현실적 기준에 따라 다르게 설정되어야 할 것이다.

따라서 기계류부품의 신뢰성 입증시험을 위한 샘플수는 아래의 이론적 공식에 의해 구하기가 매우 어려운 경우가 많으며, 대부분의 기계류부품의 수명시험은 경제적·시간적 제약으로 인하여 불가피하게 소수의 시료만으로 한정된 시간 동안에 시험을 종료해야 하는 것이 현실이다.

다음은 이론적으로 샘플수를 결정하는 방식을 몇 가지 소개하고자 한다.

3.6.1 보증수명과 시험시간에 따른

샘플수의 결정방법

$$n \geq \left[\frac{B_{100p}}{t_n} \right]^\beta \cdot \left[\frac{\ln(1-CL)}{\ln(1-p)} \right]$$

3.6.2 Bogey Testing Method에 의한 샘플수 결정

위의 3.6.1에서 시험시간을 보증수명과 동일하게 시험을 설계할 경우의 샘플수는 아래와 같이 구한다.

$$n \geq \left\lceil \frac{\ln(1-CL)}{\ln(1-p)} \right\rceil$$

3.6.3 와이블 확률지를 이용한 분석에서의

중앙순위법에 의한 샘플수 결정

와이블 확률지를 이용하여 수명데이터를 분석하는 경우 고장확률이 10%인 시점, 즉 B10 수명 이전에 고장 데이터를 1개 이상 얻기 위한 최소 샘플수이다.

와이블 확률지는 중앙순위법(Median Rank Method)을 이용하여 i 번째 고장시간(t_i)과 불신뢰도($F(t_i)$)로 타점할 점들을 구한다. 불신뢰도는 다음과 같이 추정된다.

$$F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4}$$

따라서 최초($i=1$)의 고장시간(t_1)에서의 불신뢰도 추정값이 10% 이하가 되기 위한 샘플수를 구하기 위한 식은 다음과 같다.

$$F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4} < 0.1$$

여기서 $n > 6.6$ 이 되므로 최소 샘플수가 7개 이상이 되어야 한다.

3.7 Step 7 : 신뢰수준의 결정

신뢰성평가센터에서 신뢰성 입증시험 설계를 위해 고장분석 분석 절차를 응용하여 개발한 신뢰수준을 결정하기 위한 방법 및 절차에 대하여 소개하고자 한다. 신뢰수준을 결정하는 절차는 Fig. 11와 같이 첫째 신뢰수준을 결정하기 위한 조건(고려사항)을 결정하고, 둘째 기준의 발생빈도 및 심각도의 수준 조사, 셋째 발생빈도 및 심각도의 상관관계에 의한 치명도(중요도) 분석, 넷째 치명도의 정량적 분석, 다섯 번째 치명도의 누적 점수에 따른 신뢰수준의 결정의 순서로 진행되며, 세부적인 절차는 아래와 같다.


1) 신뢰성평가지 신뢰수준(Certainty Level ; CL)을 결정하기 위한 4개 항목의 조건(고려사항)을 고려한다.

- (1) 샘플비용(Sample cost) : 업체가 제공할 수 있는 샘플 가격 및 샘플수 고려
- (2) 시험비용(Test money) : 시험에 소요되는 동력 및 전기소모량을 고려

- (3) 경제적 손실(Economical damage effect) : 부품의 고장이 발생했을 경우 시스템에 미치는 영향 고려
 - (4) 안전성(Safety) : 고장이 발생했을 경우 사람의 생명에 미치는 위험성 고려
- 2) 신뢰수준을 결정하기 위한 기준(Criteria)의 발생빈도(Frequency) 및 심각도(Severity)의 수준을 정성적으로 Fig. 11의 (a)과 같이 평가한다.
- 3) 2)에서 평가한 발생빈도 및 심각도를 바탕으로 CMA(Criticality Matrix Analysis)를 이용하여 치명도(Criticality) 분석한다.
- 4) 2)와 3)을 바탕으로 결정조건에 대한 치명도를 고장분석기법 중의 하나인 FMECA 기법을 이용하여 정량적으로 Fig. 11의 (c)과 같이 분석한다.
- 5) 4)에서 분석한 치명도의 누적점수를 바탕으로 누적점수에 따른 신뢰수준의 지표(Guideline)를 바탕으로 해당 부품의 신뢰수준을 결정한다. 기계류부품의 신뢰수준에 대하여 대부분의 수요 업체 또는 시스템 제조업체의 경우는 대부분 80~95%의 높은 수준을 요구하고 있다. 우리나라의 대표적인 부품 수요기업인 D기계는 신뢰수준을 70%, S전자는 신뢰수준을 60%를 사용하고 있으며, MIL-STD-690C에서는 60%와 90%, 독일의 자동차 업체에서는 90%를 사용하고 있다.

No	결정조건 (Criteria)	치명도(중요도)	
		발생빈도	심각도
1	샘플 비용	중	중
2	시험 비용	중	중
3	경제적 손실	중	하
4	안전성	상	중

(a) Evaluation of Criteria v.s. criticality
(FMMA method)



	상 III	중 II	중 I	중 I
심각도 (Severity)	중 IV	중 III	1 2	중 II
	하 V	중 IV	3	중 III
		하 중	하	
		발생빈도(Frequency)		

(b) Criticality Matrix Analysis
(MIL-STD-882D-Table A-III)

↓

No	결정조건 (Criteria)	치명도(중요도)		
		발생빈도	심각도	치명도
1	샘플 비용	중	중	5
2	시험 비용	중	중	5
3	경제적 손실	중	하	3
4	안전성	상	중	7

(c) Criticality evaluation of components reliability(FMECA method)

↓

등급	누적점수	신뢰수준
I : 9점	≥ 30	95 %
II : 7점	≥ 25	90 %
III : 5점	≥ 20	80 %
IV : 3점	≥ 15	70 %
V : 1점	< 10	60 %

- 치명도 누적점수 : 20 점
- 신뢰수준 결정 : 80 %

(d) Confidence Level(CL) determination

Fig. 11 CL determination using failure analysis method

누적점수에 따른 신뢰수준의 지표(Guideline)를 바탕으로 해당 부품의 신뢰수준을 결정한다.

기계류부품의 신뢰수준에 대하여 대부분의 수요 업체 또는 시스템 제조업체의 경우는 대부분 80~95%의 높은 수준을 요구하고 있다. 우리나라의 대표적인 부품 수요기업인 D기계는 신뢰수준을 70%, S전자는 신뢰수준을 60%를 사용하고 있으며, MIL-STD-690C에서는 60%와 90%, 독일의 자동차 업체에서는 90%를 사용하고 있다.

3.8 Step 8 : 합격판정기준의 결정

신뢰성 입증시험은 양산되는 제품의 신뢰성을 보증하기 위한 시험으로 보증수명을 만족할 수 있는 시험시간 동안 시험을 수행하여 판정기준을 만족하느냐가 중요한 관건이 된다.

현재 대부분의 신뢰성평가센터에서는 시험시간 동안 고장의 발생이 하나도 없어야 합격시키는 무고장 합격판정기준에 의한 수명시험 방식을 사용하고 있다. 하지만 이 시험 방식은 불량품 등이 샘플에 혼입되었을 경우 신뢰성 입증시험에서 불합격되는 위험성이 매우 큰 단점이 있다. 이러한 위험성을 감소시키기 위하여 고장을 일부 허용하는 신뢰성 입증시험의 설계방법을 계속 연구 중에 있으며, 현재 참고문헌, 규격 등에 소개되어져 있는 시험설계 방법과 기계류부품 신뢰성평가센터에서 연구 중인 방법을 소개하고자 한다.

3.8.1 무고장 합격판정기준

무고장 합격판정기준(no failure acceptance rule)에 의한 신뢰성 입증시험 방법은 n개의 샘플을 무고장 시험시간까지 시험하여 고장이 한개도 발생하지 않으면 합격하는 방식이다. 현재 가장 많이 사용되어지고 있으며, 무고장 시험시간(t_{n0}) 계산식은 다음과 같다.

$$t_{n0} = B_{100p} \cdot \left[\frac{\ln(1-CL)}{n \cdot \ln(1-p)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

3.8.2 1개의 고장을 허용하는 합격판정기준

1개의 고장을 허용하는 합격판정기준(zero/one failure acceptance rule)에 의한 수명시험 방법은 n개의 샘플을 시험하여 1개의 고장을 허용하는 시험시간(t_{n1}) 동안 시험하여 고장이 1개 이하(무고장 또는 1개의 고장발생) 발생하면 합격하는 방식이다. 무고장 합격판정기준에 의한 수명시험 방법에 비해 시험시간이 증가하는 단점이 있지만 불합격에 대한 위험을 다소 감소시킬 수 있다.

1) 교과서적인 수명시험 시간 계산방법

교과서적인 방법은 Fig. 12의 (a)와 같이 n개의 샘플을 시험하여 시험시간(t_{n1}) 동안에 고장이 1개 발생하면, 고장이 발생하지 않은 (n-1)개의 샘플에 고장 발생으로 부족한 시험시간($t_{n1} - t(1)$)을 배분하여 총 시험시간을 동일하게 하는 방식이다. 또한 아래의 가정을 만족하여야 한다.

가정 1. 각 샘플의 총 시험시간 합계

(Total Test on Time; TTT)는 항상 같다.

$$TTT = n \cdot t_{n1} = t_{(1)} + (n-1) \cdot t'$$

여기서 $t(1)$: 고장발생 시간,

t' : Extension test time이며,

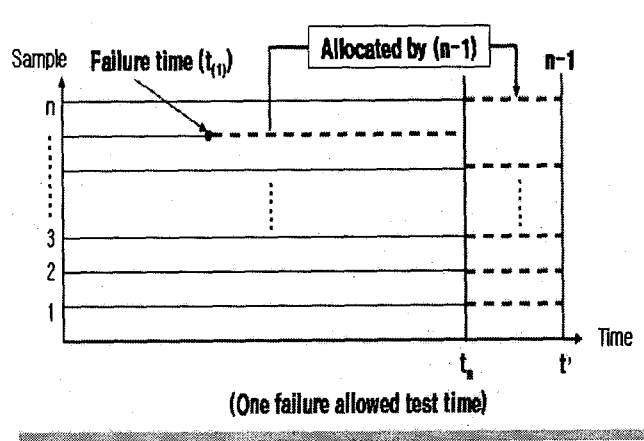
지수분포일 경우의 계산식이다.

가정 2. 고장시간($t(1)$)은 알고 있다.

가정 3. 비복원(Non-Replacement) 시험이다.

교과서적인 시험 시간 계산방법의 계산식(고장이 없거나 t_n 시점에서 고장이 발생한 경우의 가장 최소의 시험시간 계산식)은 다음과 같다.

$$t_{n1} = B_{100p} \cdot \left[-\frac{1}{\ln(1-p)} \cdot \frac{\chi_{(\alpha, 2r+2)}^2}{2n} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$



(a) Classical method

Number of Test Units(n)	Test confidence (lower bound limit)	Test length/B ₂₀ goal ratio	Test length/B ₁₀ goal ratio
2	70	4.042	6.666
2	90	5.599	9.235
~~~~~			
5	70	1.052	1.735
5	90	1.621	2.637
10	70	1.098	1.811
10	90	1.503	2.479

(b) ISO method(β=1.5)

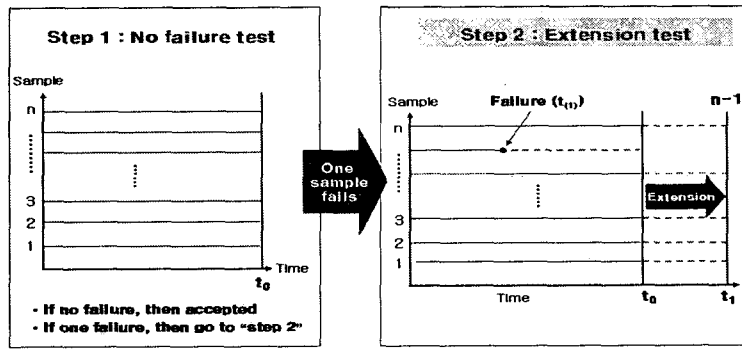
Fig. 12 Test time of zero/one failure acceptance rule

2) ISO 신뢰성 규격의 시험시간 계산방법

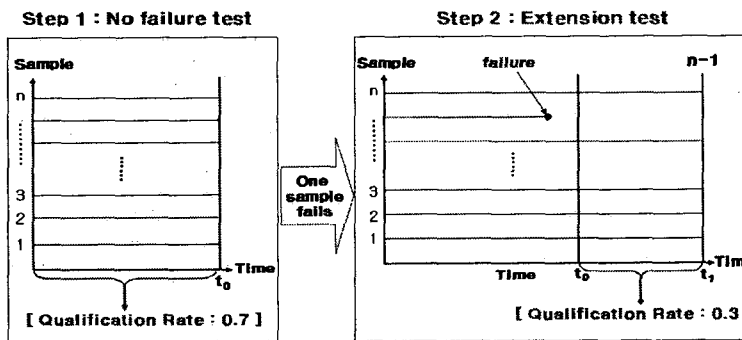
ISO 방법은 n개의 샘플을 시험하여 시험시간(t_{n1}) 동안에 고장이 1개 이하 발생하면 합격하는 시험방식이다. n개의 샘플을 바탕으로 시험시간을 계산하였으므로 9개의 샘플만 가지고 시험하여 고장이 발생하지 않으면 나머지 1개에 대한 시험은 수행하지 않아도 되는 장점이 있다. 계산식은 아래와 같으며,  $R(t_{n1}) = e^{-\left(\frac{t_{n1}}{\theta}\right)^\beta}$  은 신뢰도를 나타내고 보증수명, 시료수, 신뢰수준을 알고 있을 경우 Fig. 12의 (b)의 시험시간 비율표를 이용하여 시험시

간을 계산한다.

$$(1 - CL) = R^n + n \cdot [R^{(n-1)} \cdot (1 - R)]$$



(a) Test time of method 1



(b) Test time of method 2

Fig. 13 Test time of failure acceptance switching rule

### 3.8.3 2단계 합격판정기준

2단계 합격판정기준 (failure acceptance switching rule)에 의한 수명시험 방법은 1단계로 무고장 합격판정기준에 의해 시험을 시작하여 고장이 발생하지 않으면 무고장 시험시간으로 합격시키고, 만일 고장이 1개가 발생하면 2단계 시험방식으로 전환하여 연장시험 시간까지 시험을 실시하여 추가 고장이 발생하지 않으면 합격시키는 방식이다. 이 방법을 채택 할 경우는 합격 기회가 한 번 더 주어지는 장점이 있지만 시험시간이 많이 증가한다는 단점이 있다.

방법 1은 Fig. 13의 (a)같이 기존의 무고장 수명시간 동안 시험을 수행하다 고장이 없으면 합격하고, 만일 고장이 1개 발생하면 2단계 시험으로 전환하여 부족한 시험시간 만큼 나머지 샘플로 연장시험을 하는 방식이다. 하지만 동일한 신뢰수준 안에서 기회가 1번 더 주어지므로 2단계 시험시간에서 합격한 제품은 설정한 신뢰수준이 미달되는 문제가 존재할 수도 있다.

방법 2는 Fig. 13의 (b)와 같이 1단계의 합격비율과 2단계의 합격비율을 미리 정해서 시험을 하는 방식으로 시험시간 계산 및 시험절차가 복잡하고, 신뢰성 시험시간이 방법 1에 비해 길어지는 문제점을 가지고 있다.

이러한 방법 1과 2의 계산식은 Table 4과 같으며 향후 2단계 합격판정기준에 의한 수명시험 방법을 현장 시험에 적용이 가능할 수 있도록 좀 더 많은 연구가 필요하겠다.

### 3.9 Step 9 : 가속수명시험 방법 결정

가속수명시험이란 시험시간을 단축하기 위한 목적으로 사용조건보다 가혹한 조건에서 실시하는 시험을 의미하며, 가속수명시험 데이터를 분석하여 수명-스트레스(Load, Temperature, Pressure, Voltage 등) 관계식을 이용하여 사용조건 수명, 분포의 모수, 신뢰성 척도 등을 추정하는데 목적이 있다.

기계류부품의 신뢰성 입증시험에서는 시험시간에 따른 시험비용 및 신뢰성향상사업의 일정으로 인하여 적절한 가속모델을 이용한 가속수명시험이 매우 중요하여, Table 5는 기계류부품의 가속수명시험에 사용되는 대표적인 가속모델이다.

Table 4 Test time calculation of failure acceptance switching rule

단계	방법 1
1 단계	$t_0 = B_{100p} \cdot \left[ -\frac{1}{\ln(1-p)} \cdot \frac{\chi^2_{(\alpha, 2r+2)}}{2n} \right]^{\frac{1}{\beta}}$
2 단계	$t_1 = \left[ \frac{\chi^2_{(\alpha, 4)}}{\chi^2_{(\alpha, 2)}} \cdot \frac{n \cdot t_0^\beta}{(n-1)} - \frac{t_{(1)}^\beta}{(n-1)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$
단계	방법 2
1 단계	$t_0 = B_{100p} \cdot \left[ \frac{-\ln((1-CL) \cdot \pi)}{n \cdot \ln(1-p)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$ * 인증비율 = 1단계(π) : 2단계(1-π)
2 단계	$t_1 = B_{100p} \cdot \left[ \frac{\ln \left( \frac{n \cdot \left( 1 - e^{-\left(\frac{t_0}{\theta}\right)^\beta} \right)}{(1-CL) \cdot (1-\pi)} \right)}{(n-1) \cdot \ln(1-p)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$

### 3.10 Step 10 : 시험시간 계산

기계류부품의 신뢰성 입증시험에서의 시험시간(tn)은 다음과 같이 함수로 표현할 수 있으며, 많은 인자들에 의해 수명시험시간이 결정된다.

$$t_n = f(B_{100p}, \beta, n, CL, r, AF)$$

기계류부품 신뢰성 입증시험에서의 시험시간 설계는 아래의 제약조건들을 만족할 수 있도록 신뢰성척도 및 신뢰수준을 현실에 부합되도록 조정하여 결정하고 있다.

- 1) 정부가 추진하는 인증사업기간 제약(평가기준개발→장비구축→시험시간)
- 2) 신뢰성평가센터 내에 설치된 수명시험장비 보유대수
- 3) 업체 측에서 제공 가능한 Sample수(단가가 고가인 경우 숫자가 제약 됨)
- 4) 세계품질인증 규격에 명시된 “내구성 시간(수명시간)” 보다는 보다 많은 시간을 시험하여 “신뢰성인증시험의 수명시험시간 결과치”에 대한 높은 신뢰도 제공한다.

### 3.11 Step 11 : 시험 유효성 분석

시험 유효성 분석(Test Effectiveness Analysis : TEA)은 엔지니어가 신뢰성평가를 하기 위하여 시험전략을 선택하거나 또는 생산품 및 시스템을 대상으로 평가계획 및 일반적인 시험 항목을 개발하려 할 때, 이를 뒷받침하기 위하여 설계된 하나의 Reliability Engineering Tool이다.

Table 5. Typical Acceleration Life Test(ALT) Model

No	품목명	No	품목명
1	유압실린더	43	로드 셀(Load Cell)
2	공기압실린더	44	열 교환기
3	유압밸브	45	산업용 노즐
4	공기압밸브	46	산업용 댐퍼(Damper)
5	변속기	47	로터리 액추에이터
6	기어박스	48	척(Chuck)
7	방진마운트	49	산업용 리프트(Lift)
8	오일펌프	50	산업용 프로펠러 샤프트
9	유압모터	51	진공펌프
10	초음파부품	52	리니어 모터(Linear Motor)
11	클러치	53	볼 스크류(Ball Screw)
12	베어링	54	고소작업차용 사다리
13	산업용 Brake	55	미니굴삭기용 메인펌프
14	미케니컬스프링	56	소형 Breaker
15	Flexible Hose & Fitting	57	Transaxle용 HST
16	셀 & 패킹	58	농기계용 Filter
17	주축유니트	59	공작기계 Turret용 공구대
18	비례제어밸브	60	공장기계용 ATC
19	착압기	61	무단변속기
20	디젤엔진	62	Cartridge 밸브
21	Oil Cooler	63	냉동공조용 콘덴싱유니트
22	산업용 초고압펌프	64	플랫형 진공패드
23	주행구동 유니트	65	셀프 센터링 수동척
24	산업용 초고압압력조절밸브	66	공압 Filter
25	HST(정유압식 변속기)	67	윈치(Winch)
26	선회구동 유니트	68	볼밸브
27	탠덤펌프(Tandem Pump)	69	Butterfly 밸브
28	Accumulator(축압기)	70	공압 서보밸브
29	산업용 무단속도변환기	71	롤러체인
30	서보 액추에이터	72	와이어로프
31	루브리케이터	73	캠(Cam)
32	서보 밸브	74	기어모터
33	다기능 제어밸브	75	동력전달용 체인
34	압축공기 압력조정기	76	동기식 위치제어형 액추에이터
35	유압필터	77	이송펌프
36	컴프레서	78	중속기
37	원심펌프	79	내연기관 고온작동용 스프링
38	메커니컬 셀	80	텔레스코픽(Telescopic) 실린더
39	차동 액슬(Axle)	81	철도차량용 브레이크
40	산업용 솔레노이드	82	철도차량용 댐퍼
41	압력센서	83	원자로 개폐형 2단 액추에이터
42	커플링(Coupling)	84	연료펌프



대표적인 가속수명시험 모델
아레니우스모델 $L(V) = C e^{\frac{B}{V}}$ L : 수명척도(B100p 수명, 평균수명 등) V : 스트레스 수준(절대온도) C, B : 결정해야 할 모델의 모수
Eyring 모델 $L(V) = \frac{1}{V} C e^{\frac{B}{V}}, (C = e^{-A})$ L : 정량적 수명척도 V : 스트레스 수준(온도) A, B : 결정해야 할 모델의 모수
역승모델 $L(V) = \frac{1}{KV^n}$ L : 정량적 수명척도 V : 스트레스 수준 K, n : 결정해야 할 모델의 모수
온도-습도 모델 $L(U, V) = A e^{-\frac{b}{U} + \frac{\phi}{V}}$ U : 상대습도(소수점 또는 %) V : 절대온도 A, b, $\phi$ : 결정해야 할 모델의 모수
온도-비열스트레스 모델 $L(V) = \frac{C}{U^n e^{-\frac{B}{V}}}$ U : 비열 스트레스 (전압, 진동 등) V : 절대온도 B, C, n : 결정해야 할 모델의 모수
NSWC-98/LE1 모델 $\lambda = \lambda_B C_P C_V C_W ITC_i$ $\lambda_B$ : 고장율 $C_P$ : Pressure Factor $C_V$ : Viscosity $C_W$ : Flow rate $C_i$ : Characteristic
Miner 선형손상 모델 $\sum N_i S_i = 1$
Coffin-Manson 모델 $N = \frac{C}{(\Delta T)^n}$
S-N Curve $N = CS^{-n}$

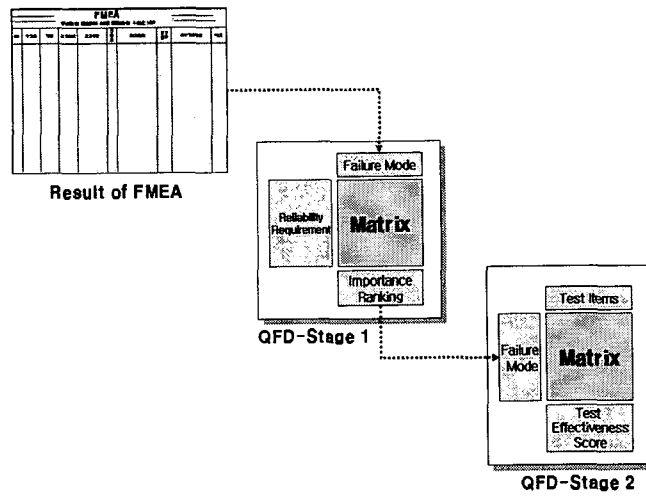
초기에 시험 유효성 분석은 JPL(Jet Propulsion Laboratory of California Institute of Technology)이 NASA 본부에서 자금을 받아 우주선 개발 시 위험을 줄이기 위하여 개발되었다. 지금은 혹성간의 우주 임무를 개발하는데 광범위하게 적용되고 있으며, 특히 비용한계

(cost limitations)와 신기술의 추가로 위험성이 높은 일을 분석하는 데 적용되고 있다.

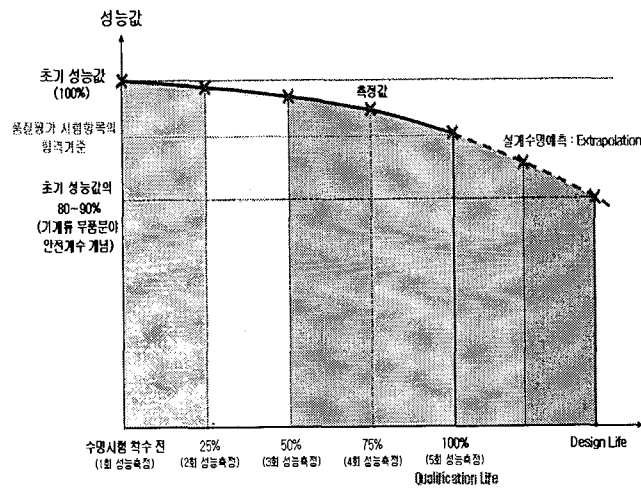
시험 유효성 분석의 개념은 부품에 포함되어 있는 고장모드 수(NF)에 대하여 시험에 의해 발견될 수 있는 고장모드 수(NFt)에 대한 비율로 효과성 척도(E)를 나타내며 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$E = \frac{NF_t}{NF}$$

또한 시험비용이 적게 드는 시험방법을 선택할 것인가, 시험시간이 짧은 것을 시험방법으로 선택할 것인가, 가장 중요한 고장원인을 찾을 수 있는가? 등의 시험목적에 따라 효과성 척도는 달리 한다.



(a) Procedure of TEA



(b) Characteristic data of performance degradation measurement method

Fig. 14 Test Effectiveness Analysis & Performance degradation measurement method



기계류부품의 신뢰성 입증시험에서는 이러한 시험 유효성 분석 개념을 이용하여 Fig. 14의 (a)와 같은 절차로 평가 대상품의 주요 고장모드를 분석하고 고장모드와 관련된 주요 시험항목에 대한 시험효과를 평가하여 시험을 수행하고 있으며, 시험의 유효성을 확인하기 위하여 Fig. 14의 (b)와 같이 수명시험시간 전체를 5개 구간(수명시험 전, 시험기간의 25 %, 50 %, 75 %, 100 %)으로 나누고, 각 시점에서 주요 성능을 측정하여 제품의 열화 특성을 확인하고 있다.

3.12 Step 12 : 내환경성 시험항목 결정

내환경성시험은 제품이 수송, 저장, 사용단계에서 어떠한 환경조건에 처하게 되고 그때의 스트레스 수준은 어느 정도인가를 판정한 후, 그 스트레스 조건에서 제품에 어떠한 고장형태가 나타날 수 있는지를 분석하고 그 환경요소에 대하여 시험하는 것을 의미한다.

Table 6 Research table on international standard on environmental test items

No	시험 항목	MIL-STD-810F	EN/IEC 60068	JIS C 0010	MIL-STD-883E	ISO 9022	MIL-STD-202F	M. Brno Gabarino	MIL-STD-461E	SAE	KIMM (applicable)	KIMM
1	저압 (고도) [Low Pressure (Altitude)]	○	○	○	○	○	○			○		○
2	고온 (High Temperature)	○	○	○	○	○	○			○		○
3	저온 (Low Temperature)	○	○	○	○	○	○			○		○
4	온도 충격 [Temperature Shock]	○	○	○	○	○	○			○		○
5	유체에 의한 오염 [Contamination by Fluids]	○	○		○	○	○				○	○
6	태양 복사 (일광) [Solar Radiation (Sunshine)]	○	○	○	○	○	○					○
7	강우 (Rain)	○	○	○	○	○	○			○		○
8	습도 (Humidity)	○	○	○	○	○	○			○		○
9	곰팡이 (Fungus)	○	○	○	○	○	○			○		○
10	염분 [Salt Fog]	○	○	○	○	○	○			○		○
11	모래와 먼지 (Sand and Dust)	○	○	○	○	○	○			○		○
12	폭발성 대기 [Explosive Atmosphere]	○	○	○	○	○	○					○
13	침적 [Immersion]	○	○	○	○	○	○			○		○
14	가속도 [Acceleration]	○	○	○	○	○	○			○		○
15	진동 [Vibration]	○	○	○	○	○	○			○		○
16	소음 [Acoustic Noise]	○	○	○	○	○	○			○		○
17	충격 [Shock]	○	○	○	○	○	○			○		○
18	열 충격 [Pyroshock]	○	○	○	○	○	○			○		○
19	산성 대기 [Acidic Atmosphere]	○	○	○	○	○	○					○
20	발포 진동 [Gunfire Vibration]	○	○	○	○	○	○					○
21	온도, 습도, 진동과 고도 [Temperature, Humidity, Vibration and Altitude]	○	○	○	○	○	○			○		○
22	냉빙 / 결빙 강우 [Ice/Freezing Rain]	○	○	○	○	○	○					○
23	탄도 충격 [Ballistic Shock]	○	○	○	○	○	○					○
24	진동, 소음, 온도 [Vibro - Acoustic/Temperature]	○	○	○	○	○	○					○
25	밀봉 [Sealing]	○	○	○	○	○	○					○
26	납땀 [Soldering]	○	○	○	○	○	○					○
27	절단점의 견고함 [Robustness of terminations]	○	○	○	○	○	○					○
28	오염과 태양 복사의 복합 [Combined contamination, solar radiation]	○	○	○	○	○	○					○
29	물리적 치수 [Physical dimensions]	○	○	○	○	○	○					○
30	광도 측정 [Photometry]	○	○	○	○	○	○			○		○
31	플라스틱에 의한 뒤틀 [Warpage on plastics]	○	○	○	○	○	○			○		○
32	전도 방사 [Conducted emission]	○	○	○	○	○	○					○
33	전도 민감도 [Conducted susceptibility]	○	○	○	○	○	○					○
34	복사 방사 [Radiated emission]	○	○	○	○	○	○					○
35	복사 민감도 [Radiated susceptibility]	○	○	○	○	○	○					○
36	결합 강도 측정 [Solder attach strength]	○	○	○	○	○	○					○
37	과도 시간 측정 [Transition time measurement]	○	○	○	○	○	○					○
38	고장 전압 [Breakdown voltage]	○	○	○	○	○	○					○
39	입력 전류, 저 수준 [Input current, low level]	○	○	○	○	○	○					○
40	입력 전류, 고 수준 [Input current, high level]	○	○	○	○	○	○					○
41	비틀림과 굽힘 [Torsion & Bending]	○	○	○	○	○	○					○
42	긁힘 [Scratch]	○	○	○	○	○	○					○
43	오존 저항 [Ozone resistance]	○	○	○	○	○	○					○
44	내전압 [Electric strength]	○	○	○	○	○	○			○		○
45	절연 저항 [Insulation resistance]	○	○	○	○	○	○					○
46	정전기 [Electrostatic Discharge]	○	○	○	○	○	○					○
47	전기적 과도 현상 [Electrical fast transient / burst]	○	○	○	○	○	○					○

현재 KIMM의 신뢰성평가센터에서는 내환경성 시험항목 및 시험조건에 대하여 Table 6와 같이 전 세계 유명 품질인증 규격(MIL, IEC, ISO, EN, DIN, JIS, SAE 등)을 조사하여, 각 시험규격들의 장단점을 평가하고 기계류분야에서 적용 가능한 시험항목을 선정하여 평가 대

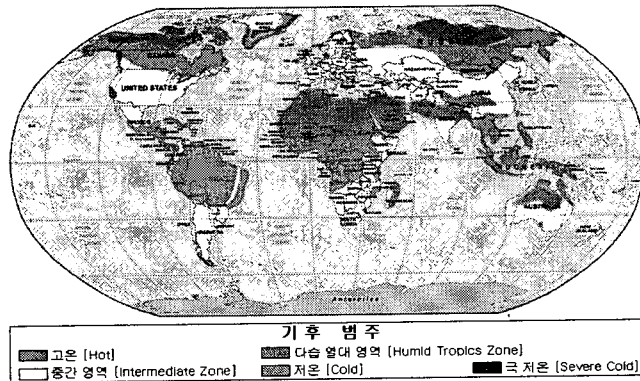
상품별 최적 내환경성시험 선정방안을 정립하였다.

Table 7 Procedure for environmental test classified by international standard

NO	KSC-STD-1848 (Kennedy Space Center)	NO	IEC 60068	NO	MIL-STD-810F
1	Electromagnetic interference	1	Cold	1	ACOUSTIC NOISE
2	Low temperature	2	Dry heat	2	VIBRATION
3	High temperature	3	Change of temperature	3	SHOCK
4	Temperature shock	4	Impact	4	IMMERSION
5	Acoustic	5	Vibration	5	LOW PRESSURE / ALTITUDE
6	Vibration	6	Air pressure	6	LOW TEMPERATURE
7	Humidity	7	Damp heat (cycle)	7	SOLAR RADIATION
8	Rain	8	Damp heat (steady state)	8	HIGH TEMPERATURE
9	Icing	9	Corrosion	9	TEMPERATURE SHOCK
10	Solar radiation	10	Dust and sand (Special application)	10	ACCELERATION
11	Fungus	11	Acceleration	11	RAIN
12	Salt fog	12	Mould growth	12	ICING / FREEZING RAIN
13	Sand and dust	13	Solar radiation	13	HUMIDITY
14	Explosion	14	Ozone	14	FUNGUS
15	Lift - off blast	15	Icing	15	SALT FOG
				16	DUST / SAND
				17	EXPLOSIVE ATMOSPHERE
				18	CONTAMINATION BY FLUIDS

• Remark : 특수한 경우에는 순서가 다소 바뀔 수 있음

기계류부품의 내환경성시험의 시험절차 및 방법은 순수 방산분야를 제외한 MIL-STD-810F를 기본 개념으로 활용하고 있으며, 각각의 시험항목별 시험조건은 평가 대상품의 환경조건에 따라 Tailoring하는 것을 원칙으로 하였다. 또한 내환경성시험의 각 시험항목별 시험순서는 Table 7과 같이 조사된 내용으로 시험을 수행하고 있다.



(a) Areas of occurrence of climatic categories

사용 장소		실내			실외		
		고온	저온	상대습도	고온	저온	상대습도
수출용	동남 아시아	30℃	0℃	95%	35℃	24℃	74~100%
	중국, 미국, 유럽	39℃	-5℃	95%	44℃	-32℃	14~100%
	중동	44℃	0℃	50%	43℃	31℃	8~59%
국내용		35℃	-5℃	95%	40℃	-32.6℃	89.2%
참고 규격		IEC 60721-3-1 Classification of groups of environmental parameters and their severities - Section 1: Storage IEC 60721-3-3 Classification of groups of environmental parameters and their severities - Section 3: Stationary use at weather protected locations IEC 60509-3-2 Equipment reliability testing - Part 3: Preferred test conditions - Equipment for stationary use in weather protected location - High degree of simulation			MIL-STD-883F Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests		
KIMM 신뢰성평가센터 결정 조건	실내			실외			
	고온	저온	상대습도	고온	저온	상대습도	
		45℃	-5℃	95%	50℃	-33℃	95%

※ 가장 가혹한 환경 조건을 선택하고, tailoring

(b) Environmental test condition

Fig. 15 Climatic category & Environmental test condition

내환경성 시험조건의 결정방법을 예를 들면 기계류부품의 저온, 고온, 습도 시험의 경우 Fig. 15의 (a)와 같이 전 세계의 기후범주를 조사하고, Fig. 15의 (b)와 같이 평가 대상품이 수출용이나 국내용이나, 실내에서 사용하느냐 실외에서 사용하느냐에 따라 가장 가혹한 내환경성 시험조건을 선택하고, 시험 대상품의 환경조건에 따라 시험조건을 Tailoring하여 온·습도 조건을 결정한다.

### 4. 결론

한국적 신뢰성 인증체계의 정착을 위해 신뢰성 입증시험을 통한 신뢰성 방법론을 제시하였다. 기계류부품의 신뢰성 입증시험을 설계하고 수행하는데 있어서의 애로점은 전기, 전자 분야 등 타 분야에 비해 상대적으로 선행연구나 참고자료가 매우 부족하고, 높은 시험비용과 함께 시험시간, 시료수에 대한 많은 제약이 따른다는 점이다. 따라서 기계류부품분야 신뢰성평가센터에서는 이러한 신뢰성평가의 어려움을 극복하는데 도움을 주고 시험의 설계 및 수행 지침을 마련하기 위하여, 체계적이고 효과적인 기계류부품의 신뢰성 입증시험 기법에 대한 방법과 절차를 12단계로 정립하고 설명하였다.

현재에도 이러한 절차와 방법으로 기계류부품의 신뢰성평가 품목을 지속적으로 발굴하여, 신뢰성평가기준 개발, 평가장비 구축, 신뢰성평가인증 업무를 수행하고 있으며, 신뢰성인증(R-Mark) 제품의 국제화 및 수출증대를 위하여 세계유명 품질인증기관과 신뢰성평가에 대한 상호인증을 추진하고 있다. (2006년 2월 현재 신뢰성 평가품목 84개 발굴, 신뢰성평가기준 124건 개발, 신뢰성평가장비 86종 구축, 신뢰성인증 69건 수여, 3개 유명기관[TUV(독일), Wyle Lab.(미국), BV(프랑스)]과 기계류부품의 신뢰성평가 상호인증 협약을 체결)

또한 구축된 인적·물적 인프라를 바탕으로 체계적인 자료의 수집과 분석을 통하여 좀 더 발전된 내용의 평가기법이 될 수 있도록 계속적으로 연구를 수행할 계획이다. 향후 국가 산업의 경쟁력은 제품 신뢰성이 수준이 좌우할 것이며, 이를 위해 한국적 신뢰성 인증 체계의 정립에 많은 노력이 있어야 하겠다.

## 참고문헌

- [1] Kececioglu, D., 1993, "Reliability Engineering Handbook", Volume 1, Prentice Hall, New Jersey.
- [2] Wasserman, G. S., 2003, "Reliability Verification, Testing, and Analysis in Engineering Design", Marcel Dekker, Inc., New York.
- [3] Hobbs, G. K., 2000, "Accelerated Reliability Engineering : HALT and HASS", John Wiley & Sons Ltd., New York.
- [4] Bloch, H. P., 1998, "Practical Machinery Management for Process Plants Volume 1; Improving Machinery Reliability Third Edition", Gulf, Texas.
- [5] Bloch, H. P., and Geitner, F. K., 1994, "Machinery Failure Analysis and Troubleshooting", Gulf Publishing Company, Texas.
- [6] Knezevic, J., 1993, "Reliability, Maintainability and Supportability: a Probabilistic Approach", McGraw Hill, London.
- [7] Evans, J. W., and Evans, J. Y., 2001, "Product Integrity and Reliability In Design", Springer, London.
- [8] NSWC, 1998, "Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment", Naval Surface Warfare Center Carderock Division, Maryland.
- [9] Abernethy, R. B., 2000, "The New Weibull Handbook", Florida.
- [10] Reliasoft Corporation, "Life Data Analysis Reference", Reliasoft Corporation, Arizona.
- [11] Reliasoft Corporation, "Accelerated Life Testing Reference", Reliasoft Corporation, Arizona.
- [12] Nelson, W., 1990, "Accelerated Testing; Statistical models, test plans, and data analysis", Wiley, New York.
- [13] Barringer & Associates, Inc., "Weibull Database, <http://www.barringer1.com/wdbase.htm>"

- [14] Nelson, W., 1985, "Weibull Analysis of Reliability Data with Few or No Failures", *Journal of Quality Technology*, Vol. 17, No. 3, pp. 140~146.