

## 《主 題》

# 通信部品の品質特性과 信賴性

## Reliability and Quality Characteristics of the Components for Telecommunications

조희작·고재상  
(한국전자통신연구소 응용기술개발부,  
시험분석실)

## ■ 차 례 ■

- |                |                |
|----------------|----------------|
| I. 序 論         | III. 通信部品の 信賴度 |
| II. 通信部品の 品質特性 | IV. 結 論        |

## 要 約

통신 장비 및 시스템의 개발 단계에서 신뢰성 개선을 위한 신뢰도 예측을 수행하고자 할 때, 통신 부품의 품질 특성을 올바로 이해하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 고에서는 통신 부품의 척도로서 부품 고장율, 부품 고장에 영향을 주는 인자, 부품의 적용시 부하와 온도에 대한 고장율과의 관계를 제시하고 있다.

## ABSTRACT

To perform reliability prediction during the development phase of a particular telecommunications equipment or system, it is very important to correctively comprehend the quality characteristics of the applied parts.

In this paper, part failure rate as the quality measure, various factors affected to part failure and effects on the temperature and load stress are discussed.

## I. 序 論

통신 장비 및 시스템의 다중화와 대용량화 기술발전 에 따라, 통신부품의 소형화, 고성능화와 더불어 고 신뢰성이 요구되고 있다.

한편, 통신 시스템의 고장이 미치는 영향도 사업자 통신 장비로부터 이용자 통신 장비 및 가정용 단말 기기에 이르기까지 그 범위가 다양하고, 사용환경에 따른 영향이 다양해짐에 따라 고장발생 요인의 증가

를 가져오게 되므로써, 통신시스템의 최적 신뢰성을 경제적으로 실현하기 위한 신뢰성 활동이 더욱 중요 하게 인식되고 있다. 통신 장비의 신뢰성은 실장된 통신 부품의 신뢰성 및 안정성에 의해 크게 좌우된다고 할 수 있는데, 통신 장비 및 시스템의 대규모화는 구성 부품수의 증가를 초래하게 되어 신뢰성 설계를 위해서는 부품 고장율의 개선에 대한 중요성이 부각되고 있다

본 고에서는 통신 시스템의 개발단계에서 시스템

의 신뢰도 예측시 가장 기본이 되는 통신 부품의 일반적인 품질 개념과 신뢰성 개념을 이해하는 데 필요한 통신 부품의 품질특성, 품질결정요소, 고장율과 신뢰성과의 관계를 기술하였다.

## II. 通信部品の品質特性

통신 장비에 사용되는 동조 회로, 발진 회로등과 같은 회로에서는 통신 부품의 경시적 안정성이 요구되는 경우가 많다. 이렇게 부품의 안정성에 대한 품질 특성으로서 신뢰성이 자주 대두되고 있다. 극심하게 변화하는 온도, 습도, 진동 등과 같은 환경 스트레스와 전기적 특성 변화라는 운용조건하에서 성공적으로 그 기능을 수행할 수 있는 통신 시스템을 경제적, 기술적, 시간적 제약조건하에서 설계 제작하여야 하는 어려움 때문에 통신 부품의 품질 특성을 올바르게 이해하는 것이 무엇보다 중요하다.

### (1) 품질의 정의

품질의 정의는 관리의 대상에 따라 여러 측면에서 기술되고 있는데, 궁극적으로는 제품 또는 서비스가 규정된 요구조건을 만족하고 있는가의 여부를 평가할 수 있는 모든 특성 및 성능을 포함하는 것으로 정의된다. 바꾸어 말하면 제품 또는 서비스가 사용목적 을 충족시킬 수 있는지 결정하기 위한 평가의 대상이 되는 고유의 성질 및 성능의 총체라 할 수 있다.

통신 부품에 있어서는 통신 시스템의 설계에 요구되는 기능을 주어진 운용조건하에서 적절히 수행하는데 필요한 용도의 적합성(Fitness for use)으로서 품질을 정의할 수 있다.

### (2) 품질의 결정요소

부품의 고유의 성질 또는 성능을 결정하는 주요소의 인식과 수준은 부품을 사용하는 측과 제조 공급하는 측에서 공히 중요한 점이라 할 수 있다. 통신부품의 품질을 결정하는 주요소로는

첫째, 환경 특성으로서 스트레스(Stress)에 대한 내환경성이다. 부품이 실장되는 통신 시스템의 환경조건은 온도, 습도, 진동, 충격, 전자파등 여러가지 운용환경하에서 주어진 기능을 수행해야 하므로, 실장된 부품도 그러한 환경에 대한 내구성이 요구된다. 즉, 부품의 전기적, 기계적 파라미터와 같은 고유 특성이 여러가지 환경의 정해진 수준에서 유지되어야 함을

의미하는데, 이러한 요소는 실장 및 조립조건을 고려하여 설계과정에서 부품의 적용시 검토되어야 한다. 예를 들면, Polystyrene 컨덴서는 매우 안정도가 높다. 또 전기적 특성도 좋아 통신시스템에 많이 이용되지만 내습성이 약하므로 Hermetic Seal Type을 사용하는 것이 좋다.

둘째, 수의 특성으로서 균일성(Consistency)이다. 제조공정에 있어서 작업조건, 공정능력 및 검사활동 등과 같은 제조활동에 따라 부품특성의 변동이 크게 달라진다.

셋째, 시간 특성으로서 수명(Life)이다. 통신 시스템의 수명, 즉 시스템의 신뢰도 요구 수준에 따라 그 시스템을 구성하는 부품의 충분한 수명이나 고장율이 요구된다. 이것은 부품 원재료의 특성이나 가공처리 에 크게 영향을 받는다.

이와 같이 주된 세가지 품질 결정요소에 의해 부품의 품질 특성이 달라진다고 할 수 있다. 이와 함께 부품의 품질 수준은 전기적 파라미터와 기계적 파라미터가 정해진 허용차 범위내에 있고, 그러한 파라미터들이 규정된 시간까지 열화되지 않으면서 특성을 유지하고, 그리고 온도, 습도, 진동, 충격 등의 환경 스트레스의 어느 수준까지 특성치가 변화없이 정상적으로 유지되느냐에 따라 품질 수준이 결정되는데 시스템의 사용 목적, 사용 조건, 기능/성능 및 경제성에 의해 부품의 품질 수준을 달리 적용하고 있다.

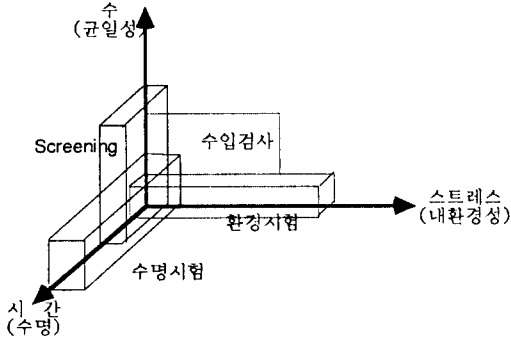
### (3) 품질 결정요소와 시험의 관계

부품의 내환경성 평가에 중점을 두는 환경시험에서는 열충격, 습도, 진동 등에 대해 부품 사용시 환경조건에 따른 여러가지 스트레스 수준에서 부품의 특성을 확인한다.

부품의 균일성 평가에 중점을 두는 시험으로서 Screening이 있다. Screening은 불량 또는 결함이 있는 부품의 조기고장을 제거하기 위해 정해진 시간동안(예, 168시간, 250시간 등) 전기적, 기계적 스트레스의 최대 정격에서 수와 시간의 영역에서 실시되어 전체 시료에 대해 평가된다. 이와 함께 수입검사는 부품의 파라미터가 운용환경 스트레스하에서 규정된 허용오차 범위를 벗어나지 않는 지를 평가하는 것으로 샘플링에 의해 수와 스트레스의 영역에서 평가한다.

부품의 특성에 대한 경시적 변화를 확인하고 부품의 고장율을 결정하기 위한 시험으로 수명시험이 실시된다. 이 시험에서는 부품의 특성이 시간에 대해 연

제까지 유지되는가 또는 고장이 발생한 부품의 고장 형태나 고장 물성(Failure mechanism) 등을 명확히 파악할 수 있다. (그림 1)은 부품의 품질 결정요소와 시험과의 관계를 설명하고 있으며, 축을 따라 긴 쪽이 시험의 주제를 나타내고 있다.



(그림 1) 품질 결정요소와 시험의 관계

통신 부품의 개발시 신뢰성 시험이 초기부터 계획되어 실시되는 것이 결과적으로는 개발기간의 단축 및 개발비용의 절감에 크게 기여한다. 개발초기에 있어서 신뢰성 시험은 재료평가와 구조 평가가 중심이 되고 시험조건은 스트레스 수준이 높은 가속시험이 실시된다.

설계가 확정되는 단계에서 MIL, IEC, KS 등 규격에 규정된 시험이 행해지지만 동시에 실제 사용수준에서의 시험이 실시된다. 이때 실제 사용수준의 조건에서 시험을 실시하는 데는 많은 시험 시간을 필요로 하기 때문에 시험 시간과 시료 비용에 따른 경제성을 고려하여 고장 물성을 변하지 않는 조건에서 가속수명시험을 실시한다. 일반적으로 전압, 전류 등의 스트레스 수준을 실제 사용조건으로하고, 온도, 습도 등 환경 스트레스를 가속조건으로 병행하고 있다. 초기 단계에서 실시한 신뢰성 시험에서는 개방, 단락 등의 돌발고장이 많다가 설계가 진행됨에 따라 열화고장이 차지하는 비율이 높아지는데 초기 고장의 특성을 파악하는 것이 중요하다.

Holcomb North는 개발제품의 설계, 제작, 신뢰성 시험 및 Screening계획을 관리하는데 필요한 부품 신뢰성 모델의 설정 및 고장율에 대한 추정방법을 제시하고 있다. 특히, 경시적 안정성이 요구되는 경우 수명시험에 의한 고장형태 및 영향분석이 수행 되므로

써 신뢰성을 확보할 수 있다. 이와 같이, 수명시험의 데이터는 신뢰성 보증 뿐만 아니라 비용 절감에 대한 중요한 정보를 제공한다.

### Ⅲ. 通信 部品の 信頼度

통신회로 및 시스템의 개발과정에서 신뢰도 예측을 수행하기 위해 부품고장율에 대한 모델에 대한 연구가 계속 진행되고 있다. 이러한 연구는 품질 결정요소에 따른 전기적, 기계적, 환경적 스트레스에 대한 부품의 감응도(Susceptibility)관계를 규명하는 고장물성분석을 통해 수행되고 있다.

#### (1)고장율과 신뢰도

부품의 품질개념을 기능수행에 따라 고장이 발생하는 시간적(Stochastic)관점에서 볼 때 부품 고장율은 중요한 품질 척도라 할 수 있다. 이것은 평균고장시간(MTBF: Mean Time Between Failures)과 함께 시간적 품질 특성을 확률로써 표현한 것으로 신뢰도와 함수 관계를 이루고, 통신 시스템의 신뢰도 예측을 수행하는데 가장 기본적인 데이터로 활용된다. 부품 고장율은 평균 고장율(Average failure rate)과 순간 고장율(Instantaneous failure rate or Harzard rate) 두 가지 개념이 적용되고 있다.

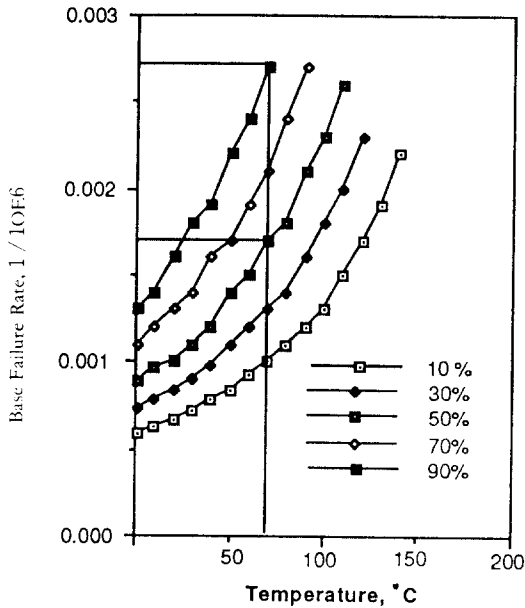
$$\text{평균고장율} : \lambda(ti-1, ti) = \frac{n(ti-1) - n(ti)}{n(ti-1)} \quad |T, 0 < ti < T$$

$$\text{순간고장율} : h(t) = \frac{(n(t) - n(t+\Delta t)) | n(t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)}, 0 < t < T$$

$n(t)$  : t 시각에서 정상갯수

평균고장율은 총 동작시간동안 고장수를 단위시간으로 환산한 것이며, 순간고장율은 미소 단위시간의 구간초에 정상동작하던 부품의 몇%가 그 구간내에서 고장나는가를 나타낸다. 이로부터, 신뢰도함수,  $R(t)$ 는 고장율함수에 의해 설명될 수 있다.

$$R(t) = \text{Exp} \left( - \int_0^t h(x) dx \right)$$



(그림 2) 온도와 부하에 따른 기본고장율 곡선(금속피막 저항기)

(그림 2)에서 보면 100°C 이상 고온과 50% 이상의 전기적 부하율에서는 곡선의 기울기가 급격히 증가함을 볼 수 있다. 25°C에서 정적이 40 mW인 금속피막 저항기가 주위온도 70°C일 때 두 가지 부하 36 mW = 90%와 20 mW = 50%에서 동작되는 경우 기본고장율은 (그림 2)에서 보면 90%인 경우가  $0.0027 \times 10E^{-6}$ 이다. 70°C에서 36 mW = 90% 부하율이 최대 허용전력임을 알 수 있다. 그러나 50%의 부하율만 걸린다면 기본고장율은  $0.0017 \times 10E^{-6}$ 까지 급격하게 떨어진다. 즉, 약 2배의 신뢰성 향상을 얻을 수 있다. 이와 같은 정격절하는 아래와 같이 부품 종류 및 형식에 따라 대상 부하의 종류가 다르게 적용된다.

반도체: 접합온도(Junction Temperature)

- 저항: 전력
- 컨덴서: 전압
- 코일, 초크, 변압기, 개전기: 전류
- 커패시터: 전압, 전류(RF동축 케이블 커패시터)

일반적으로 신뢰도 예측에서 적용되는 부품 고장율은 순간 고장율 개념이며, 전형적으로 감소형, 일정형, 증가형으로 나타나는 욕조곡선(Bathtub curve) 형태를 갖는다.

부품 고장율은 FIT(Failure-In-Time: 고장수 / 10<sup>9</sup> 시간)라는 단위를 사용하는데, 시간개념이 도입된 것

으로서, 불량율 단위인 ppm(parts per million) 또는 % 불량율과 구별된다. 여기서 신뢰도 예측시 한 가지 중요한 점은 고장밀도함수(Failure density function)로 지수분포(Exponential distribution)의 적용성이 밝혀졌는데, 주요특성을 살펴 보면 다음과 같다.

○ 시간에 독립적으로 일정하다.

○ 여러개의 부품으로 구성된 장비에서, 각 부품의 고장이 통계적으로 독립적인 경우, 어느 하나의 부품이 고장나면 장비의 고장을 초래한다는 조건하에서 부품수가 많아짐에 따라 기기의 고장율도 일정값에 접근한다.(Drenick 정리)

○ 일성고장율은 데이터 해석상 취급이 용이하다.

고장 밀도 함수가 지수 분포인 경우 평균고장시간 MTBF = 1/로 정의되고, 평균고장시간까지 신뢰도는  $Exp(-1)$ 로 거의 0.37(37%)이 된다.

(2) 온도와 부하의 영향

부품의 품질 특성중 고장을 유발하는 주된 요인은 시간과 스트레스이다.

회로를 구성하는 부품의 전기적 스트레스, 기계적 스트레스, 열 스트레스 등 세가지 스트레스 그룹이 고장에 큰 영향을 주지만 습도, 염분 등 환경적 스트레스도 있으며, 스트레스 그룹간에 상호작용도 있다. 예를 들면, 열 스트레스인 온도는 전기적 스트레스인 소모전력에 종속적이다. 부품의 고유 신뢰도를 향상시키기 위해서 고장 분석 등 통째로 이러한 스트레스에 대한 영향을 개선해 나가야한다. 그리고 이러한 스트레스에 대한 영향은 통신시스템의 운용환경을 파악하여 이에 적합한 부품의 선택과 적용시 고려되어야 한다.

실제로 정격보다 낮은 부하량에서 부품을 동작시키면 부품의 고장율은 대체로 감소하는 경향이 있다. 이러한 특성을 이용한 부품의 신뢰성 설계가 정격절하(Derating)방법인데, 최저 정격절하는 부하-온도곡선에서 온도나 부하가 조금 변화할 때 고장율이 크게 증가하는 점이나 그 점보다 아래에서 결정된다.

부하/온도 관계를 설명하기 위해 MIL-HDBK-217에서 금속피막 저항기의 기본고장율(Base failure rate) 모델을 살펴보면 다음과 같다.

$$\lambda_b = 3.25 \times 10^{-4} \text{Exp}\left(\frac{T+273}{343}\right)^3 \text{Exp}\left[s\left(\frac{T+273}{273}\right)\right]$$

T: 주위온도(Ambient Temperature)

S: 전력(Power)에 대한 정격부하 대 적용부하의 비율

기본 고장율 모델의 유일한 변수는 온도(T)와 전기적 부하량 비율(S)인데, 이들 관계는 (그림 2)와 같다.

(3)MIL-HDBK-217F

고장율은 수명시험 데이터이나 현장 고장 데이터에 의해 통계적 분포를 활용하여 추정하는 것이 일반적이다. 그러나 부품산업의 기술발전과 신뢰성 활동에 의해 고장율이 매우 낮아지면서 수명시험에 의한 고장율 추정은 수와 시간의 한계에 부딪히게 된다. 이를 해결하기 위한 방안으로 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 신뢰성 데이터 교환체계를 갖추고 고장율 모델에 대한 연구를 수십년동안 계속 진행하고 있다.

최초로 부품고장율 계산에 데이터 베이스를 도입하여 컴퓨터 계산이 가능하도록 USAF Rom Air Development Centre(RADC)에서 개발되어 세계적으로 널리 이용되고 있는 것이 MIL-HDBK-217F이며, 주요 특징은 다음과 같다.

◦일반적으로 MIL-HDBK-217F의 고장율 모델에서는 대부분이 온도, 전기적 스트레스, 부품제조특성, 시스템 운용환경과 같은 변수들에 영향을 받는 신뢰성 인자들을 갖는다. 이러한 인자들은 환경 인자, 품질 인자와 같이 모두 부품에 적용되는 공통 인자와 부품 종류 및 형식에 따라 개별적으로 적용되는 개별 인자로 구성되어 있다.

◦부품의 고장율 계산방식은 부품수 산정 방식(Part count method)과 부품 스트레스 분석 방식(Part stress method) 두 가지를 제시하여 개발초기에 설계 데이터가 충분치 않은 경우에는 전자를 적용하여 신뢰도를 고려한 시스템 설계대안 결정에 활용할 수 있도록 하고, 상세 설계 데이터가 확보되면 부품의 스트레스를 분석하여 후자를 적용하여 신뢰성 개선에 활용할 수 있도록 하고 있다.

◦계속적인 개정을 통해 1991년 12월에 MIL-HDBK-217F, 1992년 6월에 217F version에 대한 Notice 1이 완성되었는데, Bipolar와 MOS 60,000가지 이상의 게이트 수를 갖는 VLSI microcircuit, 3,000개의 TR로 구성된 Linear microcircuits, Bipolar와 MOS digital micro-processors, 32bit이상의 Coprocessors, 100만 bit이상의 메모리, 1,000개의 능동소자를 갖는 GaAs MMIC, 10,000개 이상의 TR로 구성된 GaAs digital IC에 대한 새로운 고장율예측 모델을 제공하고 있다.

새로 개발하고자 하는 통신 시스템에 대한 부품의 신뢰성 정보가 없을 때, MIL-HDBK-217F는 일관성

있는 정보를 제공해 주는데, 현장 운용시 수집된 고장 데이터를 분석한 평가고장율(Assessed failure rate)과 비교해 보면 10~30배까지 높은 경우가 있다. 이것은 장비가 설치운용되는 현장 운용조건(환경, 보전 등)과 RADC에서 고장율 모델 설정시 고려된 환경의 차이에서 나타난 결과이다. 이러한 이유로 인해 통신 시스템 개발 사업의 수행기관과 관리기관간에 부품고장율 모델에 대한 충분한 이해에 의해 결정되어야 한다.

집적회로(IC)의 고장율 모델은 다음과 같이 각 국의 통신업체 마다 적용하고 있는 인자가 다르며, 적용되는 값도 다르다.

- Bellcore(미국)

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_S \pi_T / 10^6$$

- $\lambda_b$  : 기초 고장율                                       $\pi_E$  : 환경 인자
- $\pi_Q$  : 품질 인자                                                     $\pi_T$  : 온도 인자
- $\pi_S$  : 스트레스 인자

- British Telecom(영국)

$$\lambda_p = \pi_T \pi_Q \pi_E \lambda_b / 10^6$$

- $\lambda_b$  : 게이트와 TR수의 함수                                       $\pi_E$  : 환경 인자
- $\pi_Q$  : 품질 인자                                                     $\pi_T$  : 온도 인자

- CNET(프랑스)

$$\lambda_p = \pi_Q (C_1 \pi_T \pi_i + (C_2 + \pi_P) \pi_E) \pi_T / 10^6$$

- $\pi_Q$  : 품질 인자                                                     $\pi_E$  : 환경 인자
- $C_1$   $C_2$  : 복잡성 인자                                                     $\pi_T$  : 온도 인자
- $\pi_i$  : 전압 인자
- $\pi_P$  : 핀 수에 따른 패키지 인자
- $\pi_L$  : 학습 인자

- Ericsson(스웨덴)

$$\lambda_p = (\pi_i \lambda_c + \pi_P \lambda_P) \pi_T \pi_Q \pi_E \pi_S \pi_F / 10^6$$

- $\pi_i$  : 칩크기 인자                                                     $\pi_E$  : 환경 인자
- $\lambda_c$  : 기초 기술 기본고장율                                       $\pi_T$  : 온도 인자
- $\pi_P$  : 핀 수에 따른 패키지 인자
- $\lambda_P$  : 패키지 기본고장율
- $\pi_Q$  : 품질 인자
- $\pi_S$  : 스트레스 인자
- $\pi_F$  : 제조 인자

- NTT(일본)

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_Q (\pi_T \pi_i + \pi_E) / 10^6$$

$\lambda_b$ : 기초 고장율	$\pi_E$ : 환경 인자
$\pi_Q$ : 품질 인자	$\pi_T$ : 온도 인자
$\pi_V$ : 전압 인자	

#### - MIL-HDBK-217E

$$\lambda_b = \pi_Q (C_1 \pi_T \pi_V + C_2 \pi_E) \pi_{L, 10^6}$$

$\lambda_b$ : 기초 고장율	$\pi_E$ : 환경 인자
$\pi_Q$ : 품질 인자	$\pi_T$ : 온도 인자
$C_1 C_2$ : 복잡성 인자	
$\pi_V$ : 기술 인자	
$\pi_L$ : 학습 인자	

이와 같은 여러가지 인자는 부품의 종류 및 형식에 따라 종류가 다양하고, 인자에 따라 적용 값도 적용 수준에 따라 다르므로 데이터베이스를 구축하여 활용되어야 한다. 이러한 노력의 일환으로 국가마다 또는 통신업체마다 스스로 데이터 교환 및 수집체계를 가지고 전산화를 해 나가는데, 대표적인 부품고장율 계산 프로그램으로 Bellcore의 ARPP(Automated Reliability Prediction Program), Ericsson의 THDA, Rockwell의 SEPP(Stress Evaluation and Prediction Program), ETRI의 FRCAL 등이 있다. 그리고 상용화된 부품고장율 계산프로그램은 MIL-HDBK-217을 기본으로 하고 있는데, 대표적으로 MSI의 PREDICTOR, T-Cubed의 Relcalc2, Item의 Milstress와 함께 회원제로 운영되는 RADC의 ORACLE이 있다.

#### IV. 結 論

통신 장비 및 시스템을 개발할 때, 신뢰성 설계를 위해서는 통신 부품의 품질 특성을 정확히 파악하고 시스템의 운용환경을 고려한 부품의 선정 및 적용 방법이 가장 중요하다.

본 고에서는 통신 부품의 품질 선정요소를 정의하고, 이와 신뢰성 시험을 관련지어 품질 특성을 고찰하였다. 그리고, 이러한 품질특성에 대한 척도로서 고장율을 도입하여 신뢰성과의 개념을 살펴 보았고, 이를 바탕으로 부품의 적용시 신중히 검토해야 할 부하와 온도가 고장율에 미치는 영향을 제시함으로써 통신 부품의 신뢰성은 고유의 품질 특성도 중요하지만, 통신 시스템의 운용환경 파악과 이에 따른 부품의 적절한 적용이 신뢰성에 중요하다는 것을 제시하였다.

마지막으로, 통신부품의 고장율 모델과 관련 프로

그램을 제시함으로써 신뢰도 예측시 기본이 되는 부품의 고장데이터에 대한 중요성을 강조하였다. 고장 데이터를 수집시험에 의해 확보하는 데는 수와 시간의 한계가 있다. 그러므로 통신 업체 및 신뢰성 시험기관의 시험데이터와 현상운영 데이터의 지속적인 수집 분석체계를 통해 우리 환경에 적합한 인자를 도출하여 고장율 데이터베이스 구축 및 고장율 모델을 설정하고 Updating해 나가는 노력이 진실히 요구되고 있다. 이러한 노력에 의해서 만이 우리가 개발한 통신 시스템의 신뢰성이 정확히 예측되어 개선될 수 있게 되며, 국제 경쟁력을 갖는 설계품을 확보해 나갈 수 있을 것이다.

#### 參 考 文 獻

1. 고재상, 성철오외, "운용데이터에 의한 부품 고장율 분석 및 예측 고장율과의 비교분석," 전자통신, 제14권 4호, pp.97 ~ 105(1993.1.)
2. 신성문, 성철오외, "TDX IC신뢰도 검증," 전자통신, 제11권, 4호, pp.3 ~ 21(1990.1.)
3. J.E.Arsenault and J.A.Roberts, Reliability and Maintainability of Electronic Systems, Computer Science Press, Inc. 1980.
4. Bellcore, Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment, TR NWT-000332(1990)
5. Bellcore, Component Reliability Assurance Requirements for Telecommunications Equipment, TR-TSY-000357(Issue1, 1987)
6. D.P.Holcomb, J.C North, "An Infant Mortality and Long Term Failure Rate Model for Electronic Equipment," AT&T Technomical J., Vol.64, No.1, pp. 15 ~ 31(Jan. 1985)
7. ITT Research Institute, Reliability Design Handbook (1975)
8. R.Kaneoya, "Research of Component Reliability in Electrical Communication Laboratory," 研究實用化報告書, 第29卷 7號, pp.1193-1249(1980).
9. P.D.T. O'Conner, Practical Reliability Engineering, 3rd Ed., John Wiley & Sons Ltd., 1991.
10. RADC, Reliability Prediction of Electronic Equipment, MIL-HDBK-217E, 2 Dec. 1991.
11. D.P.Siewiorek and R.S. Swarz, The Theory and Practice of Reliable System Design, Digital Equipment Co.(1982).



趙喜作

- 1940년 9월 12일생
- 1964년 2월 27일 : 한양대학교 전기공학과 졸업
- 1978년 8월 ~ 1980년 7월 : 한국전자통신 주식회사  
(공무부장)
- 1980년 8월 ~ 1993년 현재 : 한국전자통신 연구소  
(응용기술개발부장)



高在相

- 1956년 8월 6일생
- 1980년 2월 : 고려대학교 산업공학과(학사)
- 1985년 8월 : 전남대학교 경영학과(석사)
- 1991년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 산업공학과 박사과정
- 1982년 3월 3일 : 한국전자통신연구소 입소
- 1991년 11월 11일 ~ 현재 : 시험분석실 실장