

# PRISM 신뢰성 예측규격서를 이용한 전자부품(PCB) 신뢰도 예측

이승우\* · 이화기\*\*

\*한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부 · \*\*인하대학교 산업공학과

## - Reliability prediction of electronic components on PCB using PRISM specification -

Seung Woo Lee\* · Hwa Ki Lee\*\*

\*Intelligent Manufacturing Systems Research Division, KIMM

\*\*Department of Industrial Engineering, INHA University

### Abstract

The reliability prediction and evaluation for general electronic components are required to guarantee in quality and in efficiency. Although many methodologies for predicting the reliability of electronic components have been developed, their reliability might be subjective according to a particular set of circumstances, and therefore it is not easy to quantify their reliability. In this study reliability prediction of electronic components, that is the interface card, which is used in the CNC(Computerized Numerical Controller) of machine tools, was carried out using PRISM reliability prediction specification. Reliability performances such as MTBF(Mean Time Between Failure), failure rate and reliability were obtained, and the variation of failure rate for electronic components according to temperature change was predicted. The results obtained from this study are useful information to consider a counter plan for weak components before they are used.

Keywords : Reliability Prediction Specification, Reliability Prediction, Failure rate Model, Reliability Performances, Electronic components

### 1. 서론

우리나라는 2005년 기준 세계4위(130조원)의 전자제품 생산 국가이나 신뢰성이 요구되는 핵심부품은 대부분 수입에 의존하고 있거나, 개발된 제품의 신뢰성 확보에 많은 어려움을 가지고 있다.

신뢰성이란 장기간의 관점에서 측정·평가되어야 하는 품질로서 성능이라는 척도로 활용되었던 단기간의 품질과는 다른 접근방법을 요구한다. 이를 위해서는 설계단계에서부터 신뢰성 개념이 포함된 설계가 이루어

져야 하며, 이에 대한 결과가 설계 혹은 제조단계에 feed back되어야 한다[1]. 전자부품의 경우 신뢰성 예측에 대한 연구는 진공관시대부터 시작되어, 첨단 부품이 생산되는 지금까지도 많은 연구가 수행되고 있다.

전자부품은 부품(parts), 구성품(components), 유닛(units) 혹은 조립품(assembly) 및 시스템 등으로 구분되며, 기계류 부품에 비해 신뢰성 예측의 일반화(normalization)가 용이한 편이어서, 많은 예측 규격서들이 개발되어 사용되고 있다.

† 교신저자: 이승우, 대전시 유성구 신성로 104번지

M · P: 010-3462-7147, E-mail: lsw673@kimm.re.kr

2008년 7월 접수; 2008년 8월 수정본 접수; 2008년 8월 게재확정

이들 예측 규격서 들은 대부분 가속수명테스트(accelerating life test) 및 실제 현장(필드)에서의 운용데이터를 수집하여 분석결과를 모델화한 것이 대부분이다[4]. 신뢰성 예측은 특정시스템에 대한 설계 재심사(design review), 원가결정(trade-off for cost), 유지보수 활동 및 필드에서 요구하는 가용성 증대 수준을 맞추기 위해 설계단계에서부터 요구되는 매우 중요한 신뢰성 향상방법으로 신뢰성 예측 결과의 중요성도 중요하지만 얼마나 빠르게 신뢰성을 예측하여 적용하는 것도 매우 중요한 척도이다.

본 논문에서 전자부품의 신뢰성 예측에 많이 사용되는 신뢰성 예측 규격서인 PRISM을 분석하고, 공작기계에서 고장빈도수가 높은 CNC 장치의 인터페이스 카드에 대한 신뢰성 예측을 PRISM 예측 규격서를 활용하여 결과를 분석하였다.

## 2. 전자부품 신뢰성 예측

### 2.1 이론적 고찰

전자부품은 많은 부품들이 존재하며 신뢰성 예측에 대해서도 많은 연구들이 수행되었다.

Palo(1983)은 SSI, MSI, LSI-device 등의 전자부품 신뢰성예측모델을 개발하였다[10]. 여기에서는 purely multiplicative 계산법을 바탕으로 기존의 모델에서 고려하지 않은 device scaling factor와 field experience factor를 추가하여 통신용 전자부품에 대한 고장률을 산출하는 방법을 제시하였다.

O'Connor(1985)는 digital micro electronics system의 고장률 예측을 MIL-HDBK-217D 방법에 대한 제약에 대해 연구하였다[9]. 이 연구에서는 사용된 예측규격서가 최신 전자부품에 대한 신뢰성 정보의 부재와 부품 레벨 및 시스템 레벨에 대한 구분이 애매모호하여 신뢰성 예측의 한계가 있음을 정의하였다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 level I, II로 단계를 구분하여 level I에서는 원가와 개략적 시스템에 대한 예측을 하고, level II에서는 상세한 시스템에 대한 안전도와 신뢰성을 예측하는 방법을 제안하였다. Black(1989)는 Bellcore 예측 규격서를 이용하여 통신용 장비에 대한 신뢰성 예측을 실시하였으며, 이를 위해서는 유사부품의 신뢰성과 신뢰성 모델에 대한 중요성을 주장하고 있다[5]. Valisena(1995)은 MIL-HDBK -217 예측 규격서를 이용하여 규격에 상응하는 부품과 아닌 부품의 적용을 통하여 신뢰성의 차이를 비교/분석하였다[13].

이는 다른 환경에서 사용되는 유사한 부품 및 시스

템의 고장률 정보를 사용하여 신뢰성을 예측하는 방법을 제안하였다. Foucher(2002)는 전자부품에 대한 신뢰성 예측방법을 통계적 방법을 기초로 한 고장률 모델, 고장률 데이터베이스를 이용한 방법 및 physics-of-failure 모델을 이용한 수명예측 등으로 구분하여 각각의 모델의 적용에 대한 다른 조건들을 분류하였다[8].

Cassanelli(2005)는 실제 산업현장에서 적용할 수 있는 전자부품 신뢰성 예측 방법에 대해 제안하였다[6].

경험적 데이터의 수집과 유사부품의 신뢰성 정보를 활용하여 새로운 제품에 대한 신뢰성 평가 방법을 제시하였다. 사용되는 예측모델은 통계적 방법을 기반으로 한 고장률 모델이다. Petch(2002)는 IEEE 1413 standard를 바탕으로 한 전자부품의 신뢰성 예측에 대한 program을 소개하였다[11]. 이 규격서에서는 직렬, 병렬, redundant and complex system에 대한 신뢰성 모델과 FTA, repairable system, Monte Carlo simulation에 대한 내용도 소개하고 있다.

### 2.2 신뢰성 예측 방법의 종류

신뢰성 예측방법으로는 통계적인 방법을 이용하여 고장률 모델을 구성하는 방법, 고장률 데이터베이스를 이용한 유사비교방법 및 전자재료의 물성을 기반으로 고장물리(PoF, physics of failure) 모델을 이용한 방법 등이 있다.

통계적 방법을 이용한 고장률 모델 구성 수집된 고장데이터를 기반으로 통계적 방법을 이용한 방법이다.

이 방법들은 고장데이터를 기반으로 고장률 모델을 구성하고 각 부품에 대한 입/출력 값을 지정한 것이다.

고장률 데이터를 이용한 방법은 전에 제작되었던 시스템 혹은 서브시스템의 신뢰도를 이용하여 데이터베이스화 한 것이다. 이 방법은 일반적으로 장시간의 데이터 수집기간이 필요하여 전자부품의 고장률을 포함한 모든 고장원인이 파악되어야 한다.

고장물리 모델식을 이용한 방법은 전자부품을 구성하는 재료의 열적(thermal), 기계적(mechanical), 전기/화학적(electrical and chemical) 물성이 필요하다. 이를 위해서는 재료에 대한 많은 실험과 분석이 이루어져야 하며, 구축된 데이터를 활용할 수 있는 데이터 관리프로그램도 필요하다.

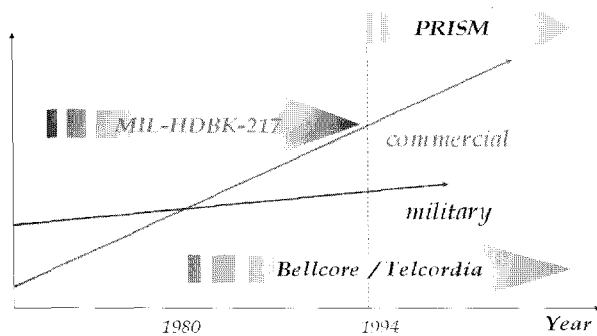
[표 1]은 전자부품 신뢰성 예측에 사용되는 방법, 예측규격서 및 입/출력 값을 정리한 것이다.

[표 1] 전자부품신뢰성 예측 방법 및 입/출력값

방법	예측규격서	입/출력값
통계적 방법	MIL-HDBK-217 PRISM Bellcore 등	In: 부품종류, 품질, 환경, 구성요소 Out: 고장률
고장률 Database	HIRAP REMM TRACS	In: 부품, 생산특징, 동작환경 등 Out: 고장률, MTBF
고장물리 (PoF)	Airbus-Giat CalceEP&PWA CADMP	In: 재료물성, 설계 특징, 환경부하 등 Out: 수명, 평균고장률

### 2.3 PRISM 예측규격서

고장률 모델에 의한 신뢰성 예측방법은 통계적 기법에 의거하여 산출된 모델식에 의해 비교적 빠른 시간 내에 고장률을 산출할 수 있는 장점이 있어 가장 많이 사용되는 예측방법이다. 전자부품의 신뢰성 예측을 위해 사용되는 예측규격서의 시작은 1956년 미국의 RADC (Rome Air Development Center)에서 출간된 RAC release TR-1100으로, 이는 미국의 GIDEP (Government Industry Data Exchange Program)에 의해 MIL-HDBK-217을 탄생시키는 기반이 되었다. MIL 규격은 계속해서 갱신되어 1995년 F 버전 Notice2가 발간되었다. 이 규격서는 전자부품의 신뢰성 척도와 계산방식을 보유하고 있으며, 근래의 모든 전자기술에 대한 신뢰성 평가방법은 가장 광범위하게 사용되는 규격서이다. 군사 분야에 특화된 MIL 규격 외에도 통신부품에 특화된 Bellcore/Telcordia, HRD-5, NTT procedure 등의 많은 규격서들이 개발되었다. 또한 MIL 규격을 기반으로 단점을 보충하고 상업용 부품에 특화된 PRISM 예측 규격서도 있다. [그림 1]은 가장 범용 적으로 사용되는 예측규격서의 적용범위를 나타낸 것이다.



[그림 1] 신뢰성 예측 규격서의 적용 영역

본 연구에서 사용된 예측규격서인 PRISM은 필드에 사용되는 전자부품의 신뢰성을 예측하기 위해 미국의 신뢰성분석센터(RAC, Reliability Analysis Center)에서 개발한 예측방법이다[7,12]. 기존의 MIL 규격이 지정하고 있지 않은 설계결함, 제조결함, 부적당한 조건, 유도고장 등의 외부환경 요인에 대한 것을 PRISM은 포함하고 있다. 시스템의 초기 설계단계에서 부품정보, 운용프로파일, 스트레스에 대한 기본 값을 기반으로 신뢰도 추정이 가능하고 실험을 통한 결과와 필드에서 수집한 데이터를 가공하여 입력할 수 있다. 즉 PRISM은 신뢰성 예측에 있어 발생할 수 있는 실제 필드 데이터의 누락을 보완시켜줄 수 있는 예측방법이다. [그림 2]는 PRISM에서의 고장률 기본 계산식을 나타낸 것이다. 계산식에서는 part, design, manufacturing, system management, wear out, no defect, induced, software 등 8가지의 다른 고장원인에 대한 프로세스 등급(grade)을 신뢰도 예측 모델식에 적용한다. 가장 큰 특징은 설계와 제조에서 이용되는 프로세스 승수 값을 적용하는 것이다. 또한 신뢰도 성장 특성을 평가하는 팩터를 갖고 있다. 이는 필드에서의 존재하거나 존재하지 않는 시스템의 신뢰도 성장에 기여하는 공정을 있음을 의미한다.

$$\lambda_F = \lambda_{IA} (\Pi_P \Pi_D \Pi_E + \Pi_D \Pi_G + \Pi_M \Pi_{PR} \Pi_E \Pi_G + \Pi_S \Pi_G - \Pi_I + \Pi_N + \Pi_W) + \lambda_{SW}$$

$\lambda_F$  = 시스템의 예측 고장률  
 $\lambda_{IA}$  = 초기 고장률 (이 고장률은 RAC에서 산출한 새로운 전자부품의 고장률 모델을 기본한 것이다.)  
 $\Pi_P$  = 부품 공정 승수 (Parts process multiplier)  
 $\Pi_M$  = 초기 고장 팩터 (Infant mortality factor)  
 $\Pi_E$  = 환경 팩터 (Environmental factor)  
 $\Pi_D$  = 설계공정 승수 (Design process multiplier)  
 $\Pi_G$  = 신뢰도 성장 팩터 (Reliability growth factor)  
 \* (필드에 존재하거나 존재하지 않는 시스템의 신뢰도 성장에 기여하는 공정)  
 $\Pi_S$  = 제조 공정 승수 (Manufacturing process multiplier)  
 $\Pi_N$  = 시스템 관리 과정 승수 (System management process multiplier)  
 $\Pi_I$  = 유발 과정 승수 (Induced process multiplier)  
 $\Pi_W$  = No-defect process multiplier  
 $\Pi_V$  = 마모 과정 승수 (Wearout process multiplier)  
 $\lambda_{SW}$  = 소프트웨어 예측 고장률 (Software failure rate prediction)

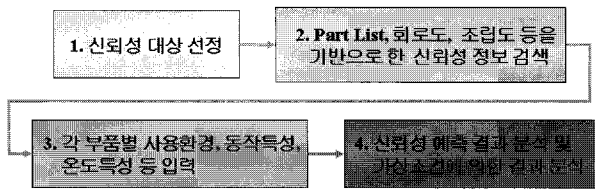
[그림 2] PRISM의 고장률 계산 기본 모델식

초기고장률(IA)은 기본 고장률(seed failure rate) 값으로 RAC의 부품신뢰도 예측 계산모델과 데이터베이스를 통해서 얻은 자료이다. 시스템 고장률은 시스템의 설계와 제조에서 사용되는 시방기준 공정을 설명하기 위한 파이( $\pi$ )팩터와 환경(environment), 신뢰도 성장(reliability growth), 초기 고장률(infant mortality)팩터를 수정한 고장률이다. 고장률( $\lambda_p$ )은 시스템의 총 고장률을 나타내고 유도(induced)와 무결점원인(no detect found)을 포함한다.

### 3. 적용연구

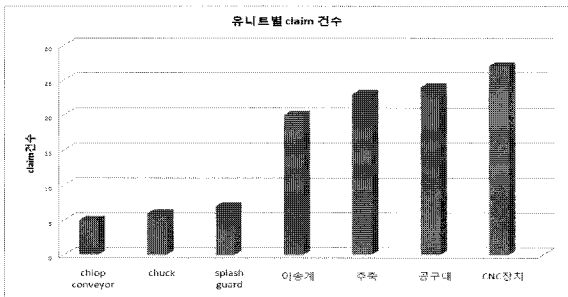
#### 3.1 신뢰성 예측 절차

신뢰성 예측절차는 신뢰성 대상을 선정하고, 선정된 대상에 대해 part list, 회로도, 조립도 등을 기반으로 한 신뢰성 정보가 검색되어야 한다. 다음은 각 부품별 사용 환경, 동작특성, 온도특성 등의 스트레스 데이터가 입력되어야 한다. 가능한 한 정확한 데이터가 필요하며, 데이터의 확보가 어려우면 일반적으로 기본 값을 사용한다. 다음은 신뢰성 예측결과를 산출하고 가상조건에 의한 신뢰성 예측 분석을 실시한다[2]. [그림 3]은 신뢰성 예측절차를 나낸 것이다.



[그림 3] 신뢰성 예측 절차

공작기계는 부품 및 제품을 절삭공정에 의해 생산하는 장치로서 구조물, 주축, 이송장치, 공구공급장치, 냉각장치, CNC 장치 등 약 2만여 부품으로 구성되어 있다. 공작기계가 운용되는 환경은 절삭에 의한 분진, 칩가루, 냉각수 등으로 인해 매우 열악하며, 이러한 환경에서 공작기계는 신뢰성을 유지할 수 있어야 한다. [그림 4]는 수직형 머시닝센터에서 단위 시간당 발생하는 고장 빈도수를 서브-어셈블리 단위로 나타낸 것이다[3].

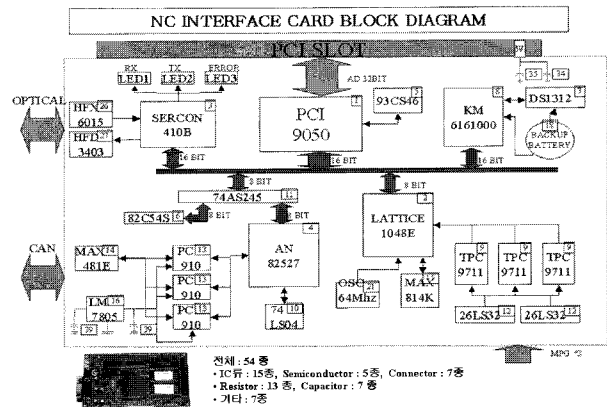


[그림 4] 수직형 머시닝센터에서의 고장발생 빈도

[그림 4]에서 보는바와 같이 CNC 장치가 가장 많은 고장이 발생하는 것으로 나타났다. 공작기계의 CNC는 사용자와 실제 공작기계를 연결시켜주는 중요한 역할을 하고 있으며, 최근에는 PC 기반의 NC 장치가 많이 적용되고 있다. 따라서 공작기계에서 가장 많은 고장이 발생하는 CNC 장치를 신뢰성 예측대상으로 하였다.

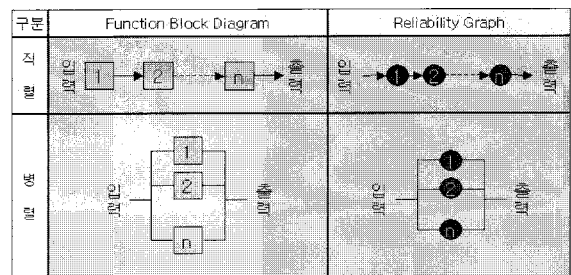
CNC 장치는 사용자와의 인터페이스 기능을 담당하는 LCD/Key부, 공작기계의 하위 구성 구성요소를 제어하는 CNC 유닛 및 드라이브 시스템, 그리고 Motion & I/O 카드(인터페이스카드)로 구성된다. 인터페이스카드는 각종 제어장치와 광통신 및 CAN으로 연결되어 운영되는 핵심부품으로 CNC 장치의 전체 신뢰도와 밀접한 관계가 있어 인터페이스카드를 대상으로 신뢰성 예측을 수행하였다.

인터페이스카드는 [그림 5]에서 보는 바와 같이 한 장의 PCB 위에 IC류 15종, Semiconductor류 5종, Connector류 7종, Resistor류 15종, Capacitor 7종 및 기타 부품 7종 등 총 54개의 부품이 회로로 구성되어 있다.



[그림 5] CNC 장치의 인터페이스카드 구성

시스템내의 기능을 표현하여 기능적 신뢰성을 예측하기 위해 구성부품을 기반으로 한 시스템 트리 인터페이스카드의 기능을 중심으로 신뢰성 블록다이어그램을 작성한다. 신뢰성 블록다이어그램에서의 각 블록은 물리적인 부품그룹 혹은 기능적인 개체(물질흐름, 구조, 에너지흐름, 정보흐름 등)와 일치하며 이들은 서로 독립적으로 고장이 발생한다고 가정한다. 일반적으로 신뢰성 블록다이어그램은 [그림 6]에 나타낸 것 같이 블록들의 상호관계(직렬구조 혹은 병렬구조)를 나타내기 위해 연결선을 사용하며, 왼쪽에서 오른쪽으로 직렬로 연결된 블록들과 작동순서가 일치되어야 한다.



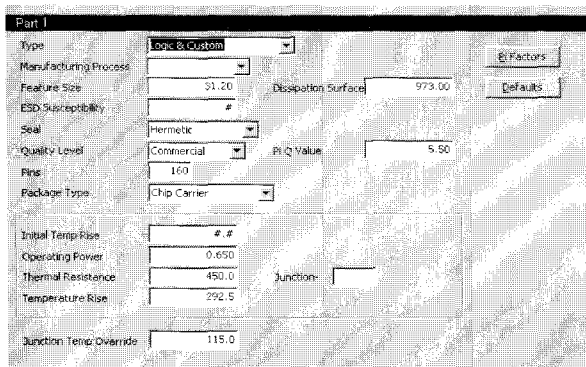
[그림 6] 신뢰성블록다이어그램의 구성

그러나 모든 시스템을 블록다이어그램으로 표현하기는 어려우며, 경우에 따라서는 시스템의 기능 혹은 상태만을 중심으로 표현하여 각 부품들의 고장률에 따른 시스템의 기능적 신뢰도를 예측할 수 있다. 인터페이스카드의 블록다이어그램은 [그림 5]의 회로 중앙에 나타난 부품들이 관계되어 기능을 수행하는 것으로 구성하였다.

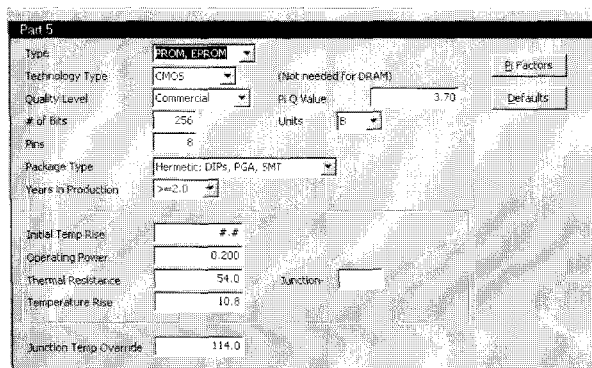
신뢰성 정보를 검색과 계산의 효율성을 위해 상용 신뢰성 평가 프로그램을 이용하였으며, 고장률 모델은 PRISM을 사용하였다.

전자부품에 대한 고장률은 사용되는 부품에 따라 고장률 산출을 위한 입력이 달라진다. [그림 3]에 나타난 PRISM 고장률 계산 기본 모델식을 바탕으로 IC, semiconductor, memory, resistor, capacitor 등의 입력 값이 달라지는 것은 물론이고 같은 IC류라도 세부종류에 따라 입력 값이 달라진다.

[그림 7]은 IC류의 VHSIC/VLSI CMOS에 대한 신뢰성 운용정보 입력을 나타낸 것이다. 신뢰성 예측에 필요한 정보로서 IC의 크기, 표면적, sealing 방법, 품질레벨, 핀 수 및 package type 등의 기본정보 입력과 동작전압, 열 저항, 온도상승 팩터 등의 스트레스 정보를 입력하게 되어 있다. 입력하지 않은 사항 등은 기본 값을 사용한다.



[그림 7] VHSIC/VLSI CMOS(IC류)의 운용정보



[그림 8] Memory-CMOS(IC류)의 운용정보

[그림 8]은 IC류의 Memory에 대한 운용정보를 나타낸 것이다. 메모리의 특성에 맞게 품질레벨, 비트 및 핀 수, package type 및 제조 년 수 등의 기본 값과 동작전압 등과 같은 스트레스 정보를 입력한다.

[그림 7]과 [그림 8]에서 보는 것과 같이 같은 IC류라도 종류가 틀리면 고장률 계산을 위한 입력 값들이 달라진다. 전자부품의 경우 열에 대한 신뢰도가 민감하므로 동작온도, 열 저항 등과 같은 스트레스 값을 실험실 혹은 설계목표에 따라 다른 값을 입력할 수 있다.

### 3.2 신뢰성 예측 결과 분석

이와 같은 과정을 통하여 인터페이스카드의 신뢰성을 예측하였으며 결과를 [표 2]에 나타내었다. 예측조건은 운용온도 30℃, 운용환경 지상운용(ground begin & fixed) 및 duty cycle 100% (24시간 운전)이다.

[표 2] 인터페이스카드의 신뢰성 예측 결과

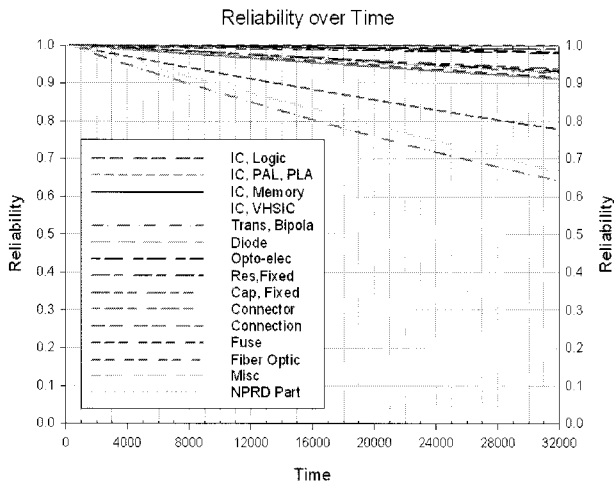
항목	결과	비고
고장률	31.43 failures/백만 시간	PRISM 온도:30℃ GB & GF Duty cycle 100%
MTBF	31,814 시간	
신뢰도	0.9968(MTBF 구간 내)	

[그림 9]는 신뢰성 예측결과에 따른 인터페이스카드의 취약부를 분석한 것이다. 각 부품별로 산출된 고장률 중 고장률이 1.0 failures/백만 시간 이상 되는 부품을 취약부로 판단하고 추후 설계 재검토 때 활용도록 하였다.

부품	고장율
IC, VHSIC/VLSI CMOS(PQFP)	2.725809
IC, VHSIC/VLSI CMOS(SMD)	1.289668
IC, VHSIC/VLSI CMOS(DIP)	1.711250
Ferrite Device, 3216 Chip Type	1.300000
Connection, Header/Straight	3.400000
Connection, 1 ROW(Pin Header)	1.360000
Capacitor, Chip Ceramic(CDR)	5.255971
Resistor, Film(2012)	2.068943
Resistor, Film(2012)	1.329285
Resistor, Film(2012)	1.183527
Resistor, Film(2012)	2.418399

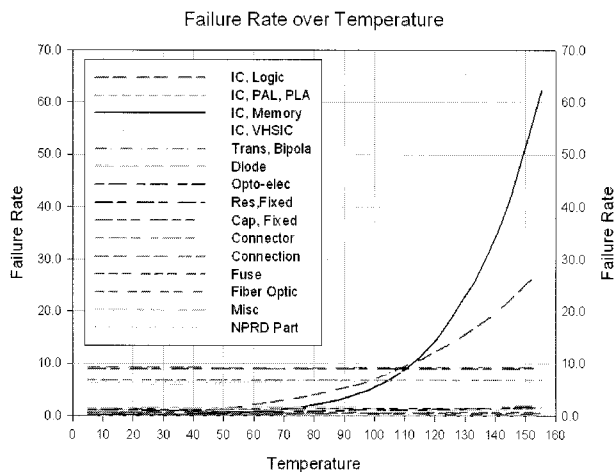
[그림 9] 인터페이스카드의 취약부 분석

[그림 10]은 시간변화에 따른 인터페이스카드에 사용되는 부품별 신뢰도 변화를 나타낸 것이다. IC류의 VHSIC 부품과 Connection 제품군의 신뢰도 저하가 다른 부품에 비해 빨리 발생되는 것으로 나타났다. 분석 결과 실제 PCB 단품에 대한 고장률은 아주 낮으며, 여기에 실장되는 부품들의 고장률이 인터페이스카드의 신뢰성을 결정짓는 요소로 분석된다.



[그림 10] 시간경과에 따른 각 부품별 신뢰도 변화

특정한 주위환경, 사용조건 등을 부하로 고려하여 평균고장간격시간을 산출한 것을 Mission MTBF라고 한다. 전자부품의 경우 열에 대한 취약성이 가장 큰 것으로 분석되어 온도의 변화(사용 환경 변화)를 사용조건으로 하여 Mission MTBF를 산출하였다. 산출된 Mission MTBF는 3,762시간으로 상온(30℃)에서 운용되어 산출한 MTBF와 약 8배의 차이가 나타나는 것으로 분석되어, 인터페이스 카드는 온도상승에 대한 고장률이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.



[그림 11] 온도변화에 따른 부품별 고장률 변화

[그림 11]은 열에 대한 인터페이스카드 구성 부품군과의 고장률 상관관계를 나타낸 것이다. 최고 상승온도를 150℃로 설정하고 온도변화에 따라 각 부품들의 고장률 변화를 분석하였다. 그림에서 보는 바와 같이 약 60℃에서부터 IC류의 Logic, Memory, VHSIC 부품의 고장률이 증가하기 시작하여 100℃가 넘어서면 고장률이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 부품들의 고장률을 감소시키기 위해서는 CNC 장치의 방열기능 향상과 해당부품들의 내열성에 대한 검토가 필요한 것으로 판단된다.

### 4. 결론

전자부품의 신뢰성 예측은 다양한 예측방법과 예측규격서가 개발되어 전자산업에 적용되고 있다. 신뢰성 예측은 예측의 정확도도 중요하지만 얼마나 신속하게 신뢰성을 산출하여 전자부품의 각 제조단계에 피드백하여 신뢰성을 향상시키는 것도 매우 중요하다.

본 연구에서는 전자부품에 대한 신뢰성 예측방법들을 고찰하고, 고장률 모델 기반의 PRISM 예측 규격서를 활용하여 전자부품의 신뢰성을 예측하였다. 신뢰성 예측은 공작기계의 CNC 장치의 일부분인 인터페이스카드를 대상으로 하였으며, 신뢰성 예측절차에 따라 신뢰성 예측정보를 수집하고 신뢰성 예측을 결과를 산출하였다. 이를 통해 신뢰성의 정략적 척도인 고장률, MTBF, 신뢰도를 산출하였으며, 전자부품의 취약부인 온도변화를 중심으로 한 Mission MTBF를 계산하였다.

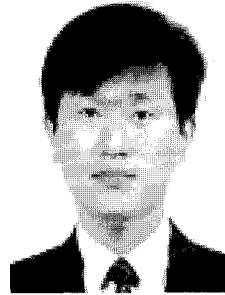
분석결과 인터페이스카드의 취약부가 기존의 자료를 바탕으로 분석된 PCB 자체(bare PCB)가 아니라 PCB에서 회로를 연결하고 있는 Connection부가 더 취약하다는 것을 알았다. 분석결과에서 나타난 취약부품과 열에 약한 취약부들을 검출하여 설계재검토(DR, Design Review) 자료로 활용하도록 하였다.

## 5. References

- [1] 김원경, "시스템 신뢰도 공학", 교우사, (1999).
- [2] 포아소프트, "신뢰성 예측 가이드", 교우사, (2002):12-176.
- [3] 이수훈, 김종수, 이승우 외, "머시닝센터의 고장모드 해석에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 18(6), (2001):74-79.
- [4] 이치우, 이성우, "응용신뢰성공학", 구민사, (1996).
- [5] Black, A.L., "Bellcore system hardware reliability prediction", Proceedings of a Reliability Maintainability Symposium, (1996):247-261.
- [6] Cassanelli, G., Nura, G., Cesaretti, F., Vanzi, M. and Fantini, F., "Reliability predictions in electronics industrial application", Microelectronics Reliability, 45(9), (2005):1321-1326.
- [7] Denson, W., "A tutorial: PRISM", Reliability Analysis Center, (1993):1-6.
- [8] Foucher, B., Boullie, J., Meslet, B. and Das, D., "A review of reliability prediction methods for electronics devices", Microelectronics Reliability, 42(8), (2002):1155-1162.
- [9] O'Connor, P., Head, M.G. and Joy, M., "Reliability prediction for microelectronics systems", Reliability Engineering, 10(3), (1984): 129-140.
- [10] Palo, S., "Reliability prediction of microcircuit", Microelectronics Reliability, 23(2), (1983):283-294.
- [11] Pecht, M., Das, D. and Ramakrishnan, A., "The IEEE standards of reliability program and reliability prediction methods for electronics equipment", Microelectronics Reliability, 42(9), (2002): 1259-1266.
- [12] Reliability Analysis Center, "PRISM & Failure Mode/Mechanical Distribution Document", RAC(USA), (1997).
- [13] Valsena, N., "The use of MIL-HDBK-217 with the SCC EEE components", Microelectronics Reliability, 34(4), (1994):711-719.

## 저 자 소 개

이 승 우



인하대학교에서 산업공학과 학사, 석사, 박사학위를 취득하였으며 현재 한국기계연구원 지능기계연구센터 선임연구원으로 재직하고 있다. 관심분야는 생산시스템 설계, 지능화 시스템, 디지털 팩토리 및 신뢰성 분야 등이다.

주소: 대전시 유성구 신성로 104

이 화 기



서울대학교 원자핵공학과에서 학사를 취득하고, 미 Texas A&M 대학교 산업공학과에서 석사와 박사를 취득하였다. 현재 인하대학교 산업공학과 교수로 재직 중에 있으며, 관심분야는 생산 및 물류분야의 일정계획, 시뮬레이션 등이다.

주소: 인천시 남구 용현동 253 인하대학교 기계공학부 산업공학 전공