

MIL-HDBK-217F와 Telcordia SR-332를 이용한 Touch-Machine Control Panel의 신뢰도 예측 사례 연구

이국진¹⁾ 김상부^{2)*} 박우재¹⁾ 오극기³⁾ 박진환³⁾ 이동건³⁾

1) 창원대학교 산업시스템공학과, 2) 창원대학교 산업조선해양공학부,
3) I FAC Co., Ltd.

Reliability Prediction of Touch-Machine Control Panel Using MIL-HDBK-217F and Telcordia SR-332 : Case Study

Guk Jin Lee¹⁾, Sang Boo Kim^{2)*}, Woo Jae Park¹⁾, Keuk Ki Oh³⁾,
Jin Whan Park³⁾, Dong Geon Lee³⁾

1) *Department of Industrial and Systems Engineering, Changwon National University*
2) *School of Industrial Engineering and Naval Architecture, Changwon National University*
3) *I FAC Co., Ltd.*

Abstract : Machine switch type control panel is widely used for machine tools in Korea. They, however, have some difficulties in identifying the current operating status of machine tools especially when exposed to cutting oil. And also they have quality problems of operating failures. A new capacitor touch type machine control panel is developed and its reliability is predicted. MIL-HDBK-217F and Telcordia SR-332 are used for its reliability prediction and the prediction results are compared.

Key Words : Touch-Machine Control Panel, Reliability Prediction, MIL-HDBK-217F, Telcordia SR-332

Received: July 10, 2016 / **Revised:** July 12, 2016 / **Accepted:** December 14, 2016

* 교신저자 : Sang Boo Kim, sbkim@cwnu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

CNC 공작기계는 다양한 산업분야에서 사용되고 있으며 공작기계 조작을 위해서는 Machine Control Panel이 필요하다. 현재 여러 종류의 Machine Control Panel이 사용되고 있으나, 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 Machine Control Panel은 방수용 기계식 스위치형이다. 그러나 Machine Control Panel의 경우 공작기계의 사용 환경 및 운용 특성으로 인하여 여러 가지 문제점이 발생하고 있다. 방수용 기계식 스위치형 Machine Control Panel은 절삭유 등에 노출되는 경우 운전상태 식별이 용이하지 못할 수 있으며, 단순한 회로 구성으로 이루어져서 입·출력 오류 진단 및 보정 기능을 수행할 수 없고, 기능의 확장 및 변경이 매우 어렵다. 이러한 방수용 기계식 스위치형 Machine Control Panel의 문제점들을 극복하기 위하여 Touch-Machine Control Panel이 개발되었다.

공작기계에 사용되는 Machine Control Panel을 포함하여 거의 모든 제품은 제품 자체의 성능과 품질 뿐만 아니라 신뢰성도 매우 중요하다. 따라서 제품의 개발 초기부터 신뢰성을 고려하게 되며 이를 정량적인 측도로 평가하게 된다. 제품의 개발 초기에는 완제품의 형태가 충분하지 않으며 시험을 통한 신뢰도 예측이 어려운 관계로 대부분 신뢰도 예측 규격을 사용하여 개발 제품의 평균수명 등을 예측하게 된다.

현재 일반적으로 가장 널리 사용되는 전자 장비의 신뢰도 예측 규격인 MIL-HDBK-217F (N2)는 1965년 발간 이후 1995년 개정을 마지막으로 현재까지 개정되지 않고 있다. 최근 많이 사용되는 민간 규격인 Telcordia SR-332는 2001년 Issue 1 개정 후 2016년 초 Issue 4까지 개정되었다. 따라서 Telcordia SR-332가 부품에 대한 최신 정보를 상대적으로 많이 반영하고 있으며 특히 전자 장비의 신뢰도 예측에 많이 사용되고 있다. MIL-HDBK-217F와 Telcordia SR-332는 모두 전자 장비의 신뢰도를 예측하는 규격에 포함되지만 예측

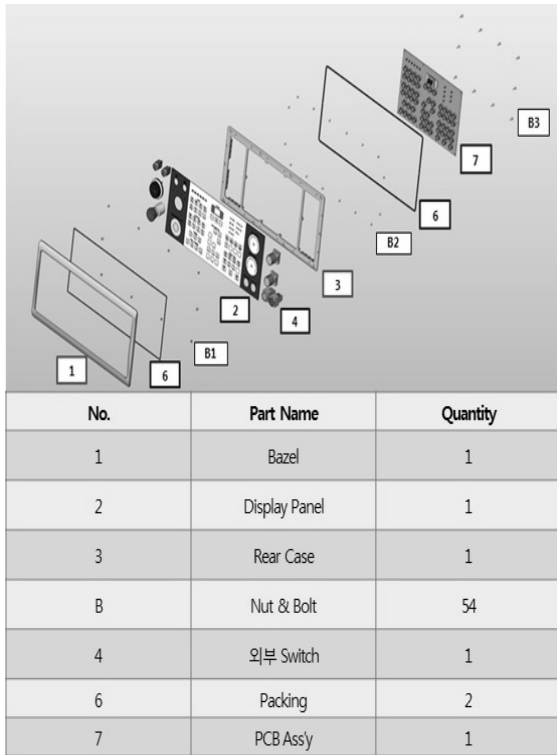
모형은 서로 차이가 난다. 전통적으로 산업계에서 전자 장비 신뢰도 예측에 MIL-HDBK-217F(N2)를 사용해 왔으나 최근에는 Telcordia SR-332의 사용이 늘어가고 있는 추세이다. 이에 따라 전자 장비의 신뢰도 예측에 두 가지 규격을 모두 사용하여 예측하고 비교하는 경우가 많다. Jeon (2007)은 저출력 형광등용 전자식 안정기의 일부 소자들에 대해 MIL-HDBK-217F(N2)와 Telcordia SR-332를 활용한 예측 결과를 비교하였고, Byun et al. (2009)은 지상 및 항공 무기체계에 적용되는 가스터빈 엔진을 제어하는 전자제어장치에 대해 MIL-HDBK-217F(N2)와 Telcordia SR-332를 이용한 신뢰도 예측 문제를 다루었고, Lee and Shim (2010)은 철도의 승강장 스크린 도어 시스템에 대해 MIL-HDBK-217F(N2)와 Telcordia SR-332를 이용하여 신뢰도를 예측하였다. Jo et al. (2016)은 Tablet PC에 대해서 MIL-HDBK-217F(N2)와 Telcordia SR-332를 이용한 신뢰도 예측을 수행하였다.

2. Touch-Machine Control Panel의 장비 개요 및 신뢰도 예측 대상 범위

Touch-Machine Control Panel은 현재 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 방수용 기계식 스위치형 Machine Control Panel의 문제점을 보완할 뿐만 아니라 높은 신뢰도를 갖도록 개발되었다. 이를 위하여 Touch-Machine Control Panel은 방수용 기계식 스위치형의 푸시 버튼과 같은 외장부품 대신 터치 센서 스위치 모듈 (Touch Sensor Switch Module) 기술을 적용하였다. 입·출력 표시 Symbol을 투명 Panel 후면에 인쇄하여 마모에 따른 내구성 문제를 보완하였으며, Symbol의 인쇄 수정만으로 입·출력 기능의 추가에 따른 확장, 변경을 가능하게 설계하였다.

Touch-Machine Control Panel의 하드웨어적인 구조는 Figure 1과 같다.

이 연구에서는 Figure 1의 구조 중 7번 PCB Ass'y에 대해서 신뢰도 예측을 수행하였다. (PCB



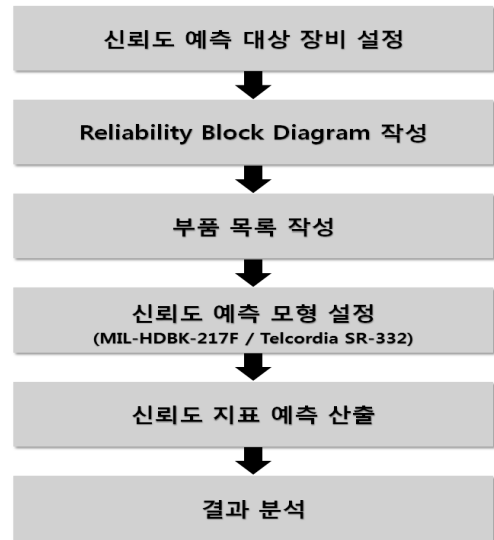
[Figure 1] Structure of Touch-Machine Control Panel

Ass'y 이외의 구성품은 제품의 고장에 거의 영향을 주지 않는다.) PCB Ass'y에 사용된 전자 부품은 총 41종 352개로 구성되어 있다.

3. Touch-Machine Control Panel의 신뢰도 예측

3.1 신뢰도 예측 절차

Touch-Machine Control Panel의 신뢰도 예측 절차는 다음과 같다. 먼저 신뢰도 예측을 수행하고자 하는 장비의 신뢰도 블록 다이어그램 (RBD : Reliability Block Diagram)을 작성하고, 작성한 신뢰도 블록 다이어그램을 바탕으로 구성 부품을 기능별 또는 형태별로 구분하여 목록을 작성한다. 이때 장비의 BOM (BOM : Bill of Material)을 활용하기도 한다. 그리고 신뢰도 예측 규격을 결정하고 선정된 신뢰도 예측 모형을 통해 부품, Unit 또는 System의 신뢰도 지표를 산출한다. 이 연구에서는 신뢰도 예측 규격으로 MIL-HDBK-217F (N2)



[Figure 2] Equipment Reliability Prediction Process

와 Telcordia SR-332를 모두 사용하였다. 신뢰도 예측 규격을 이용하여 산출된 신뢰도 지표를 바탕으로 결과를 분석한다. (Figure 2 참조)

3.2 MIL-HDBK-217F의 신뢰도 예측 절차

MIL-HDBK-217는 1965년에 처음으로 발간된 이후 1991년 MIL-HDBK-217F로 개정되었으며, 1995년에 MIL-HDBK-217F (N2)로 개정되었다. MIL-HDBK-217F (N2)는 현재 일반적으로 가장 널리 사용되는 전자 장비의 신뢰도 예측 규격이며 부품의 고장 분포는 지수분포를 가정하고 있다. 고장률의 단위는 백만 시간당 고장횟수 (Failures/10⁶ Hours)로 나타낸다. 예측 모형으로 부품 수량 분석법 (Parts Count Analysis)과 부품 부하 분석법 (Parts Stress Analysis)이 있다.

이 사례 연구에서는 MIL-HDBK-217F (N2)의 부품 부하 분석법을 사용하여 Touch-Machine Control Panel에 대한 신뢰도 예측을 수행하였다. MIL-HDBK-217F (N2)의 부품 부하 분석법은 실제 하드웨어 및 회로가 설계되었을 때 적용 가능한 방법이며, 부품의 신뢰도에 영향을 미치는 여러 인자들을 고려하여 신뢰도를 분석하는 방법이다.

MIL-HDBK-217F (N2)에서 제시한 부품 부하 분석법의 일반적인 수학적 모형은 다음 식 (1)과 같다.

$$\lambda_i = \lambda_{ib} \pi_{iT} \pi_{iA} \pi_{iR} \pi_{iS} \pi_{iC} \pi_{iQ} \pi_{iE} \quad (1)$$

여기서 λ_i 는 부품 i 의 예측 고장률이며 λ_{ib} 는 부품 i 의 기본 고장률이고 $\pi_{iT} \pi_{iA} \pi_{iR} \pi_{iS} \pi_{iC} \pi_{iQ} \pi_{iE}$ 은 부품의 고장률에 영향을 미치는 인자들이다. 위 식 (1)은 부품 고장률에 대한 일반적인 수학적 모형이며, 전자 부품 종류에 따라 적용되는 인자는 달라진다. 주요 인자에 대한 설명은 다음과 같다.

① 기본 고장률 (Base Failure Rate : λ_{ib})

부품에 대한 기본 고장률을 나타내며, MIL-HDBK-217F (N2)는 각 부품마다 기본 고장률을 제시하고 있다.

② 온도 인자 (Temperature Factor : π_{iT})

온도 인자는 주로 장비의 접합 온도 (Junction Temperature)를 기초로 하며, 접합 온도는 전자 장비의 동작 중 허용되는 접합부의 평균 온도를 말한다. Transistors (High Frequency)의 경우는 Channel Temperature를 기초로 하며, Resistor (Network, Fixed, Film)의 경우는 Ambient Temperature를 기초로, Microcircuits (Magnetic Bubble Memories)의 경우는 Case Temperature를 기초로 하기도 한다.

③ 스트레스 인자 (Stress Factor : π_{iS})

스트레스 인자는 부품에 따라 다르게 적용되며 부품에 가해지는 전압이나 전류에 대한 스트레스 값을 나타낸다.

④ 품질 인자 (Quality Factor : π_{iQ})

품질 인자는 부품의 품질 등급에 따라 정해진 값을 가지게 된다. 부품의 품질 등급은 부품이 해당 품질 규격에 따라 제작될 때 결정된다.

⑤ 환경 인자 (Environment Factor : π_{iE})

장비가 운용되는 환경 조건을 규정하는 인자로 MIL-HDBK-217F (N2)에서는 환경 조건을 14

가지로 분류하고 있다.

⑥ 기타 인자

π_{iA} , π_{iR} , π_{iC} 는 부품의 종류에 따라 다르게 적용되는 인자이다. 예를 들어 π_{iC} 인자는 Diode (Low Frequency)의 경우 Contact Construction Factor로 사용되고, Capacitor의 경우 Capacitance Factor로 사용된다.

Unit을 구성하는 부품의 고장률이 구해지면 해당 부품을 포함하는 Unit에 대한 고장률은 다음의 식 (2)와 같다.

$$\lambda_{Unit_i} = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i \quad (2)$$

여기서, λ_{Unit_i} 는 n 개의 서로 다른 부품으로 이루어진 Unit i 의 고장률을 나타내며 λ_i 는 부품 i 의 고장률, N_i 는 부품 i 의 개수이다.

Unit의 경우와 마찬가지로 n 개의 Unit으로 구성되어 있는 System에 대한 고장률은 다음의 식 (3)과 같다.

$$\lambda_{SYS} = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{Unit_i} \quad (3)$$

여기서, λ_{SYS} 는 System의 고장률이고, λ_{Unit_i} 는 Unit i 의 고장률을 나타내며, N_i 는 Unit i 의 개수이다.

3.3 Telcordia SR-332의 신뢰도 예측 절차

Telcordia SR-332는 전자 장비의 신뢰도 예측 규격으로, AT&T 연구소에서 자체 품질 평가용으로 개발된 Bellcore TR-332에서 발전되었다. MIL-HDBK-217F을 보완하여 이를 부분적으로 수정하면서 2001년 Telcordia SR-332 Issue 1로 개정되었고, 2016년 Telcordia SR-332 Issue 4까지

개정되었다.

MIL-HDBK-217F는 System의 고장률이 지수 분포를 따른다고 가정하지만, Telcordia SR-332는 System의 고장률이 System 수명주기 전체에 걸쳐 욕조 곡선(Bathtub Curve)을 따른다고 가정하고 있다. 초기 수명(Early Life) 단계에서는 고장률이 높으나 급격하게 감소하므로 와이블 분포를 따른다고 가정하며, 번인(Burn-in)의 정도에 따라 번인이 없거나 번인이 제한적일 때와 번인이 클 때로 분류한다. 일정 상태(Steady State) 단계에서는 고장률이 일정하여 지수 분포를 따른다고 가정하며, 부품에 관한 신뢰성 데이터가 전혀 없는 경우, 규격에 있는 일반 데이터를 기초로 부품의 고장률을 예측하는 방법을 Method I이라고 한다. Method I에 실험 데이터를 고려한 것이 Method II이고, Method I에 필드 데이터를 고려한 것이 Method III이다. 마모(Wearout) 단계에서는 고장률이 급격하게 증가하므로 와이블 분포를 따른다고 가정한다.

Telcordia SR-332의 고장률의 단위는 십억 운용 시간당 고장횟수(Failures/10⁹ Operating Hours)로 나타낸다. 부품에 대한 고장률 예측은 Black Box 방법을 사용하며, Unit과 System의 고장률 예측은 부품 수량 분석법(Parts Count Analysis)을 이용한다.

Touch-Machine Control Panel에 대한 신뢰도 예측의 경우 실험 데이터나 필드 데이터가 아직 충분하지 않은 관계로 Method I을 사용하였다.

부품에 대한 일정 상태 고장률 예측은 부품의 종류에 따라 일정 상태 고유 고장률을 근거로 하고 있으며, 다음의 식(4)과 같다. (Black Box 방법)

$$\lambda_{SSj} = \lambda_G \pi_Q \pi_S \pi_T \quad (4)$$

여기서, λ_{SSj} 는 부품 j 의 일정 상태 고장률이며, λ_G 는 부품 j 의 일정 상태의 고유(Generic) 고장률이고, π_Q 는 부품 j 의 품질 인자, π_S 는 부품 j 의 전기적 스트레스 인자, π_T 는 부품 j 의 온도 인자이다.

Telcordia SR-332에서는 부품의 일정 상태 고

장률의 90% 백분위수 값으로 예측하며, 상위 백분위수 비율은 사용자가 따로 정할 수 있다. 부품 고장률에 영향을 주는 인자들은 다음과 같다.

① 일정 상태 고유 고장률 (Generic Steady State Failure Rate : λ_G)

부품이 일정 상태에서 가지는 고유 고장률을 나타낸다.

② 품질 (Quality : π_Q)

Telcordia SR-332에서는 부품의 품질에 대하여 품질 수준 0부터 III까지 4등급으로 구분하고 있으며, 각 품질 수준은 0 수준을 제외하고 제조자가 등급 판단을 수행 한다.

③ 전기적 스트레스 (Electrical Stress : π_S)

정격 전압(전력)에 대해 실제로 인가되는 전압(전력)의 백분율로 나타내며 부품 유형과 스트레스에 따라 인자 값이 주어진다. 스트레스를 알 수 없는 경우에는 스트레스를 50%로 가정하며 이때 스트레스 인자 값은 1을 가진다.

④ 작동 온도 (Operating Temperature : π_T)

작동 온도는 고장률에 미치는 온도의 영향을 나타내며 부품 유형과 온도에 따라 인자 값이 주어진다. 만약 작동 온도를 알 수 없는 경우에는 온도를 40°C로 가정하고 이때 온도 인자 값은 1을 가진다.

⑤ 환경 조건 (Environmental Condition : π_E)

Telcordia SR-332 Issue 3에서는 환경 조건을 6가지로 분류하고 있다. 환경 인자는 고장률에 미치는 환경조건의 영향에 대한 정량적인 표현으로 부품이 사용되는 환경 조건에 따라 인자 값이 주어진다.

Telcordia SR-332에서 Unit의 일정 상태 고장률은 부품 수량 분석법(Parts Count Analysis)을 사용하여 구하게 되며, Unit에 대한 고장률은 다음의 식(5)와 같다.

$$\lambda_{Unit_j} = \pi_E \sum_{j=1}^m N_j \lambda_{SS_j} \quad (5)$$

여기서, λ_{Unit_j} 는 Unit j 의 일정 상태 고장률이고, π_E 는 Unit에 적용되는 환경 인자이고, N_j 는 부품 j 의 개수를 나타내고, λ_{SS_j} 는 부품 j 의 일정 상태 고장률이고, m 은 Unit을 구성하는 부품의 종류 (개수)를 나타낸다.

System에 대한 고장률 예측 식은 다음의 식 (6)과 같다.

$$\lambda_{SYS} = \sum_{j=1}^m \lambda_{Unit_j} \quad (6)$$

여기서, λ_{SYS} 는 System의 일정 상태 고장률이고, λ_{Unit_j} 는 Unit j 의 일정 상태 고장률이고, m 은 System을 구성하는 Unit의 종류 (개수)를 나타낸다.

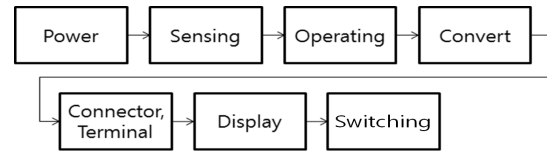
Telcordia SR-332는 Unit과 System의 일정 상태 고장률을 상위 90% 백분위수 값을 예측한다.

4. Touch-Machine Control Panel의 신뢰도 예측

이 사례 연구에서는 새로 개발된 CNC 공작기계 용 보급형 Touch-Machine Control Panel의 신뢰도 예측을 MIL-HDBK-217F (N2)와 Telcordia SR-332를 활용하여 수행하였다. Touch-Machine Control Panel의 신뢰도 예측은 두 규격을 모두 지원하는 Windchill Quality Solutions (WQS) 소프트웨어를 사용하여 수행하였다.

Figure 3은 Touch-Machine Control Panel의 구성을 신뢰도 관점에 따라 그린 신뢰도 블록 다이어그램 (RBD : Reliability Block Diagram)을 나타낸 것이다.

Touch-Machine Control Panel의 운용 환경은 CNC 공작기계와 동일한 환경인 Ground Fixed (G_p)를 고려하였고, 작동 온도는 25°C로 설정하여 신뢰도 예측을 실시하였다.



[Figure 3] Reliability Block Diagram of Touch-Machine Control Panel

Table 1은 Touch-Machine Control Panel의 각 기능별로 포함하고 있는 구성품과 수량을 나타낸 것이다.

<Table 1> Functional Unit Components of Touch-Machine Control Panel

기능(Unit)	구성품	수량
Power	Relay 외 15종	40
Sensing	Touch Sensor 외 2종	76
Operating	U-Processor 외 1종	2
Convert	Level Shift 외 5종	63
Connector, Terminal	Connector (MR-20RFD2+) 외 6종	13
Display	Ø5 고회도 LED (Green) 외 6종	156
Switching	DIP Switch 외 1종	2

Touch-Machine Control Panel의 신뢰도를 예측하기 위해서 먼저 RBD를 바탕으로 System Tree를 구성하였다. Figure 4는 WQS를 이용하여 작성한 System Tree의 화면을 보여준다.

Name	Part Number	System Tree Id...
Touch-Machine Control Pannel	System	System
Sensing#		System7
Touch Reflector sensor	ADL-17R	System11
Touch sensor IC	TS-20	System12
Touch sensor IC	TS-04	System13
전동부		System71
Relay	AGN2004H	System29
TR-PNP	MMBT4403L1G	System48
TR-NPN	Z5C2412KT346Q	System49
Power Inductor	SC12805-151M	System50
Power Inductor	RING COIL 15#(150UH)	System44
Power Inductor	SC12805-220M	System43
Schottky diode	RSK101VA-30 TR	System39
Rectifier diode	1SR154-400TE25	System40
Schottky Rectifiers	SS34-E3/S7T	System38
Capacitor (100uF/35V(p16))	EEE-FK1V101XP	System36
Capacitor (2200uF/10V(p16))	EEE-FK1A222AQL	System87
Capacitor (100uF/16V(p15.5))	EEE-FK1V101XP	System88
Capacitor (1000uF/10V)	EEE-FK1A1024P	System90
Fuse	01S4003.DRT	System99
buzzer	MT-GE09D	System113
Regulator		System138
전압부		System74
Convert#		System75
Connector, Terminal		System76
Display#		System77
스위칭부		System85
Dip Switch	KSD-02H	System114
Reset Switch	ITS-1105-5MM	System115

[Figure 4] System Tree of Touch-Machine Control Panel

4.1 MIL-HDBK-217F (N2)를 이용한 신뢰도 예측

MIL-HDBK-217F (N2)를 이용한 신뢰도 예측을 위해 System 사용 환경 조건으로 G_F (Ground Fixed)와 작동 온도 25°C로 고려하였다. Figure 5는 위의 조건과 예측 규격을 WQS에 입력한 화면을 보여준다.

Table 1에 포함된 각 부품의 고장률을 추정하기 위하여 식 (1)을 사용한다. 이를 위하여 WQS 상에서 부품에 대한 정보를 입력한다. Figure 6은 Capacitor (EEE-FK1V101XP)에 대한 일반 정보 입력 화면이며, Figure 7은 해당 부품의 세부 정보를 입력한 WQS 대화상자 화면이다. 일반적으로 고장률 산출에 필요한 정보는 제조사에서 제공하는 Data Sheet에서 얻을 수 있다.

Prediction Data 대화 상자에 입력하는 정보들은 부품마다 차이가 있으며, 만일 WQS Data Base에

동일한 Part Number의 부품이 있다면 해당 부품의 정보를 활용하여 부품의 고장률 예측을 수행한다.

Figure 8는 MIL-HDBK-217F (N2)를 이용하여 구한 Capacitor (EEE-FK1V101XP)의 고장률 예측에 필요한 인자들의 값과 고장률 예측 값 0.010383 (Failures/10⁶ Hours)을 보여준다.

위에서 보인 Capacitor (EEE-FK1V101XP)의 고장률 예측 절차와 같이 Touch-Machine Control Panel을 구성하는 부품들의 고장률을 산출하고, 이를 바탕으로 각 Unit과 System에 대한 고장률을 예측하였다.

MIL-HDBK-217F (N2)를 이용한 Touch-Machine Control Panel의 System에 대한 고장률 예측 값은 11.46154 (Failures/10⁶ Hours)이며, 평균 고장 간격 (MTBF : Mean Time Between Failures) 예측 값은 87,248 Hours이다.

[Figure 5] Calculation Data Dialog Box of MIL-HDBK-217F

[Figure 7] Prediction Data Dialog Box of MIL-HDBK-217F

[Figure 6] General Data Dialog Box of MIL-HDBK-217F

Pi Factors	
Part Number	EEE-FK1V101XP
Temperature	25.000000
λ_B	0.000120
π_C	2.884032
π_E	10.000000
π_Q	3.000000
π_{SR}	1.000000
π_T	1.000000
π_V	1.000094
Model Failure Rate	0.010383
Failure Rate	0.010383

[Figure 8] Pi Factors and Predicted Failure Rate of EEE-FK1V101XP (MIL-HDBK-217F)

Calculation Data

Name: Touch-Machine Control Panel

Calculation model: Telcordia Issue 3

Method: Method I Case 3

Temperature: 25.00

Temperature delta: #.#

Environment, 217 / Telcordia: GF, GU - Ground Fixed, Uncontrolk

Environment, dormant:

Duty cycle: 100.00

[Figure 9] Calculation Data Dialog Box of Telcordia SR-332

Prediction Data

Quality Level: Level II

Capacitance: 100.000 Units: uF

Applied DC Voltage: 3.30

AC RMS Voltage: #.##

Rated Voltage: 16.00

Voltage Ratio: 20.6

Temperature Rise: #.#

Temp Override: #.#

[Figure 10] Prediction Data Dialog Box of Telcordia SR-332

4.2 Telcordia SR-332를 이용한 신뢰도 예측

Telcordia SR-332를 이용한 신뢰도 예측을 위해 System 사용 환경 조건으로 G_v (Ground Uncontrolled)와 작동 온도 25°C로 고려하였다. Figure 9는 위의 조건과 예측 규격을 WQS에 입력한 화면을 보여준다.

Table 1에 포함된 각 부품의 고장률을 추정하기 위하여 식 (4)를 사용한다. 이를 위하여 WQS 상에서 부품에 대한 정보를 입력한다. Figure 10은 Capacitor (EEE-FK1V101XP)에 대한 일반 정보 입력 화면이며, Figure 10은 해당 부품의 세부 정보를 입력한 WQS 대화상자 화면이다.

Prediction Data 대화 상자에 입력하는 정보들은 부품마다 차이가 있으며, 동일한 부품이라도 MIL-HDBK-217F와 Telcordia SR-332에서 고장률 예측에 사용하는 정보들도 차이가 있다.

Figure 11은 Telcordia SR-332를 이용하여 구한 Capacitor (EEE-FK1V101XP) 관련 인자들의 값

Pi Factors	
Part Number	EEE-FK1V101XP
Temperature	25.000000
λG	0.730000
σG	0.170000
πE	2.000000
πELF	11.883853
πQ	1.000000
πS	0.493812
πT	0.474142
Model Failure Rate	0.341840
Failure Rate	0.341840

[Figure 11] Pi Factors and Predicted Failure Rate of EEE-FK1V101XP (Telcordia SR-332)

과 고장률 예측 값 0.341840 (Failures/ 10^9 Operating Hours)을 보여준다.

동일한 방식으로 Touch-Machine Control Panel을 구성하는 부품들의 고장률을 산출하고, 이를 바탕으로 각 Unit과 System에 대한 고장률을 예측하되 앞서 설명한 바와 같이 일정 상태 고장률에 대한 상위 90% 백분위수 값으로 예측한다. (Capacitor EEE-FK1V101XP 경우 : 0.000447 Failures/ 10^6 Operating Hours)

Telcordia SR-332를 이용한 Touch-Machine Control Panel의 System 고장률 예측 값인 일정 상태 고장률에 대한 상위 90% 백분위 수 값은 2.507987 (Failures/ 10^6 Operating Hours)이며, 평균 고장 간격 (MTBF : Mean Time Between Failures) 예측 값은 398,726 Hours이다.

4.3 신뢰도 예측 결과

MIL-HDBK-217F(N2)와 Telcordia SR-332를 이용하여 Touch-Machine Control Panel의 각 Unit과 System에 대한 고장률 및 MTBF 예측 결과는 각각 Table 2와 Table 3에 있다. Telcordia SR-332의 예측 값은 해당 신뢰도 지표의 상위 90% 백분위수 값으로 예측한 결과이다.

Table 2에서 Touch-Machine Control Panel의 각 기능에 대한 신뢰도 예측 규격별 고장률 예측 결과를 보면 Display부의 고장률이 신뢰도 예측 규격

<Table 2> Predicted Failure Rates of Each Unit

기능 (Unit)	MIL-HDBK-217F (Failures/10 ⁶ Hours)	Telcordia SR-332 (Failures/10 ⁶ Operating Hours)
Power	0.858465	0.530075
Sensing	0.333866	0.048356
Operating	0.256486	0.021597
Convert	1.588119	1.559957
Connector, Terminal	1.653092	0.247338
Display	6.140286	0.059374
Switching	0.631226	0.010422

간에 약 103.42배로 가장 큰 차이를 보이고 있으며, Convert부의 경우는 약 1.02배로 신뢰도 예측 규격 간에 거의 비슷한 예측 결과를 보이고 있다. 한편 Touch-Machine Control Panel의 System에 대한 고장률 예측 결과는 (Table 3 참조) MIL-HDBK-217F (N2)를 이용한 예측 값이 Telcordia SR-332를 이용한 예측 값보다 높음을 보여준다.

기존의 방수용 기계식 스위치형 Machine Control Panel에 대한 MIL-HDBK-217F(N2)와 Telcordia SR-332를 이용하여 고장률과 MTBF를 예측한 결과는 Table 4와 같다. 기계식 스위치형 Machine Control Panel의 PCB Ass'y는 총 30종 269개의 부품으로 구성되어 있으며, 신뢰도 예측 규격 적용을 위한 환경 조건과 작동 온도는 Touch-Machine Control Panel과 동일한 조건으로 설정하였다.

위의 결과로부터 새로 개발한 Touch-Machine Control Panel이 기존의 방수용 기계식 스위치형 Machine Control Panel보다 신뢰도 측면에서 향상되었음을 알 수 있다. MIL-HDBK-217F (N2)를 사용한 경우 신뢰도 예측 값은 약 1.88배로 향상되었고, Telcordia SR-332를 사용한 경우에는 약 1.04배로 향상되었다.

5. 결론

이 연구에서는 장비의 신뢰도 예측 규격인 MIL-

<Table 3> Predicted Failure Rates and MTBF's of Touch-Machine Control Panel

	MIL-HDBK-217F (Failures/10 ⁶ Hours)	Telcordia SR-332 (Failures/10 ⁶ Operating Hours)
Failure Rate	11.46154	2.507987
MTBF	87,248 Hours	398,726 Hours

<Table 4> Predicted Failure Rates and MTBF's of Machine Control Panel

	MIL-HDBK-217F (Failures/10 ⁶ Hours)	Telcordia SR-332 (Failures/10 ⁶ Operating Hours)
Failure Rate	21.501623	2.614569
MTBF	46,508 Hours	382,472 Hours

HDBK-217F (N2)와 Telcordia SR-332를 이용하여 Touch-Machine Control Panel에 대한 신뢰도 예측을 수행하였고, Touch-Machine Control Panel과 방수용 기계식 스위치형 Machine Control Panel에 대한 신뢰도 예측 결과를 비교하였다.

Touch-Machine Control Panel에 대한 고장률 예측 값은 MIL-HDBK-217F (N2)를 이용하는 경우 11.46154 (Failures/10⁶ Hours)이고 Telcordia SR-332를 사용하는 경우 2.507987 (Failures/10⁶ Operating Hours)을 얻었다. MTBF 예측 값은 MIL-HDBK-217F (N2)를 이용하는 경우 87,248 Hours이고 Telcordia SR-332를 사용하는 경우 398,726 Hours로 예측되었다. 기존의 방수용 기계식 스위치형 Machine Control Panel의 경우, MIL-HDBK-217F(N2)를 이용한 예측 고장률과 MTBF는 각각 21.501623 (Failures/10⁶ Hours), 46,508 Hours이며, Telcordia SR-332를 이용하는 경우에는 각각 2.614569 (Failures/10⁶ Hours), 382,472 Hours의 예측 값을 구하였다.

Touch-Machine Control Panel과 기존의 방수용 기계식 Control Panel에 대한 MTBF 예측 결과는, MIL-HDBK-217F(N2)의 경우 큰 차이를 보

이는 반면 Telcordia SR-332의 경우 상대적으로 작은 차이를 보인다. Telcordia SR-332 신뢰도 예측 규격을 이용하여 Touch-Machine Control Panel에 대한 MTBF 예측 결과를 보면, MIL-HDBK-217F (N2)를 사용한 결과의 약 4.57배가 됨을 알 수 있다. 이와 같이 두 개의 서로 다른 신뢰도 예측 규격을 이용한 Touch-Machine Control Panel에 대한 신뢰도 예측 결과가 큰 차이를 보이는 원인은, 첫째 두 규격에서 사용하는 부품의 기본 고장률 값의 차이가 있고, 둘째 두 규격의 고장률 산출 방식이 다르며, 셋째 고장률 예측에 사용되는 인자의 값의 차이에 기인한다고 판단된다.

MIL-HDBK-217F(N2)와 Telcordia SR-332는 장비의 신뢰도 예측에 모두 사용할 수 있으나, 장비가 주로 전자부품으로 구성되어 있는 경우 전자부품에 대한 최신 정보를 반영한 Telcordia SR-332의 사용이 선호된다고 할 수 있다. 단, 장비 신뢰도 예측에 MIL-HDBK-217F(N2)를 사용하도록 지정되는 경우에는 MIL-HDBK-217F (N2)를 이용하여 예측하게 될 것이다.

두 신뢰도 예측 규격의 예측 정확도에 대한 검증은 실제 시험데이터나 현장의 수명 데이터 분석을 바탕으로 이루어져야 할 것이다. Touch-Machine Control Panel의 경우 신뢰도 예측 값의 정확도 검증을 위한 가속수명시험이 진행 중이다.

References

1. Tae Bo Jeon, Comparison of Reliability Prediction Specifications through Some Electronic Parts, Journal of Industrial Technology, Kangwon National University, No. 27 B, 255-261, 2007.
2. Kwang Sik Byun, Sang Boo Kim, Young Il Kim, Case Study of Reliability Prediction of ESU Using Telcordia SR-332, Proceeding of Joint Conference of the Korean Operations Research and Management Science Society and the Korean Institute of Industrial Engineers, 1237-1243, 2009.
3. Duck Kyu Lee, Jung Ho Shim, Reliability Prediction Using Telcordia SR-332 Issue 2, Journal of the Korean Society for Railway, 2242-2248, 2010.
4. Gang Hun Jo, Yeong Hyeon Jung, Jung Sun Jang, Sang Cheol Park, A Case Study of Tablet PC for The Reliability Prediction, Proceedings of The Korean Institute for Industrial Engineers 2016 Spring Annual Meeting, 5501-5506, 2016.
5. MIL-HDBK-217F (N2), Reliability Prediction of Electronic Equipments, Department of Defense(DoD), Washington, D.C, 1995.
6. Telcordia SR-332 Issue 3, Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment, Telcordia Technologies, 2011.