

MIL-HDBK-217을 이용한 형광등용 전자식 안정기의 신뢰성 모형

A Reliability Model of Electronic Ballasts for the Fluorescent Lamp using MIL-HDBK-217

전 태 보
Jeon, Tae Bo

강원대학교 공과대학 산업공학과

Abstract

A study to build a reliability model of electronic ballasts for the fluorescent lamp has been performed in this paper. We selected the widely being used specification, MIL-HDBK-217 for the study. We briefly reviewed the basic concepts of the electronic ballast with the selected reliability specification. We then developed a reliability model for the ballast using MIL-HDBK-217 and predicted the reliability.

keywords: ballast, reliability prediction, MIL-HDBK-217

많이 이용되는 규격이다. 이 규격은 본래 미국방성의 MIL-HDBK-217[5,6]을 기반으로 민수용 제품을 대상으로 한 자사의 전문 규격 제정을 위하여 출발하였으며 1984년 제시된 이래 여러 차례 수정 보완되었다.

본 연구에서는 MIL-HDBK-217을 이용하여 저출력(low wattage) 안정기 신뢰성 예측 모형을 수립하고자 한다. 본 연구수행을 위하여 형광등용 전자식 안정기에 대한 내용을 간단히 고찰한다. 그리고는, 신뢰성의 예측 모형인 MIL-HDBK-217의 주요 내용 고찰과 전자식 안정기 회로를 구성하는 부품 및 전체 시스템에 대한 신뢰성 예측 모형을 수립한다. 마지막으로, 연구의 결론과 향후의 방향에 대한 제언을 한다.

1. 서론

제품의 품질과 신뢰성의 중요성이 매우 강조되고 있으며 우리 생활 속에 오랜 동안 함께 하는 형광 램프의 경우 에너지 절감, 효율성 증대, 수명보장 등의 차원에서 한 단계 성숙된 기술의 정착이 요구되고 있다. 핵심 구성품인 안정기(ballast)의 경우 그간 많은 노력을 통하여 기술 및 품질상의 진전을 이루었으나, 중소기업 전용 업종으로서 다소 열악한 환경 및 전문 기술인의 부족, 기타 문제의 복잡성으로 개선의 여지가 많으며, 신뢰성 분야의 연구 결과는 매우 미미한 편이다.

안정기에 대한 그간의 신뢰성 분석은 시스템 전체 회로 보다는 캐패시터(capacitor)나 코일(coil) 등 주요 단위 부품의 가속 수명 시험(accelerated life test)을 통하여 시스템에 대한 신뢰성을 대변하여 예측하고자 하였다[1,2]. 안정기 전체의 신뢰성 예측모형이 최근 Telcordia의 SR-332[3] 규격을 이용하여 수립되었으며, 수명 및 시간에 따른 신뢰도가 도출되었다[4]. Telcordia는 민수용 전자통신 부품 및 제품의 신뢰성 수립에 있어서 세계적으로

2. 형광등 안정기

본 연구에서는 전자식 안정기(electronic ballast)를 고려하며 그림 1이 선정된 회로도도 도시한다. 그림의 왼쪽 부분은 교류 전원(AC 60Hz)이 입력되는 부분으로 퓨즈(fuse)가 연결되어 있다. EMI (electromagnetic interference) filter 회로는 발생하는 전자파 장애를 억제하여 다른 전자기기에 미치는 영향을 최소화한다. 정류(rectify) 회로는 교류전압을 직류전압으로 변환된다. 역률 보상(PFC: power factor correction) 회로는 순간적인 누출이 우려되는 전력을 조절하여 다른 부품들에게 안정적인 전류 공급을 하는 역할을 한다. 인버터(inverter) 회로는 DC를 다시 AC로 바꾼다. 즉, 전압을 캐패시터(C)와 코일(L)을 가지고 전하가 충전과 방전을 되풀이하게 만들어 공진하게 해 교류전압으로 바꾸어주는 것을 말하며, 이 인버터의 동작 주파수가 바로 램프에 인가되는 AC 전원의 주파수로 20-60KHz가 된다. 본 연구에서는 트랜스포머(transformer)를 사용하는 자력식(self-oscillation)을 고려한다.

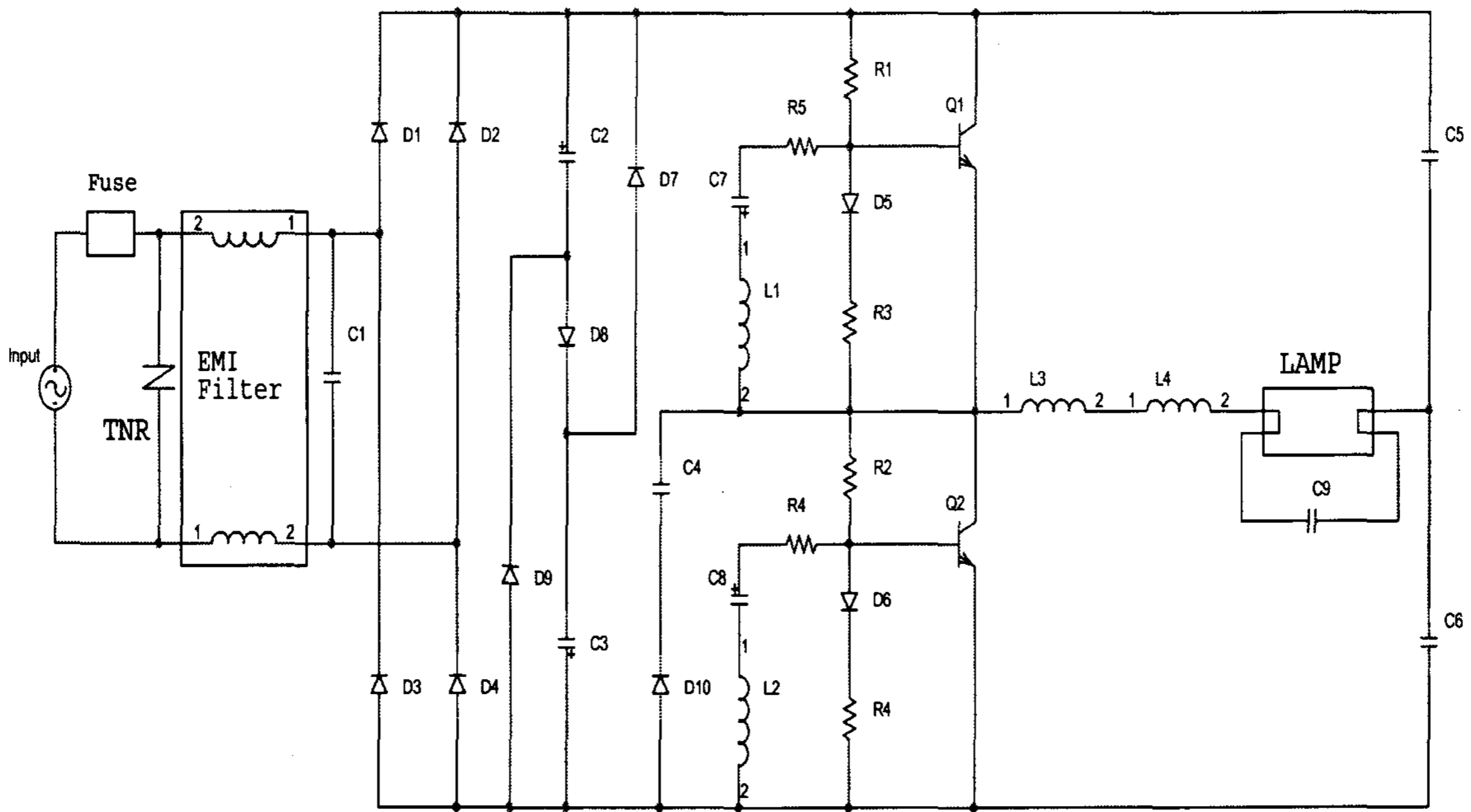


그림 1 안정기 회로도

3. MIL-HDBK-217 개요

MIL-HDBK-217은 미 국방성의 전자통신 관련 군수산업 제품을 대상으로 제정된 신뢰성 규격이다. 처음 제안된 이래 여러 차례 개정을 거듭하였으며 현재 적용되는 것은 1995년의 version F, notice 2인 MIL-HDBK-217FN2이다(이후, 편의상 MIL-217로 표기). 1995년 이후 추가적인 노력이 이루어지지 않는 관계로 이후의 버전은 존재하지 않지만 세계적으로 전자통신 관련 분야 신뢰성 규격들의 중심적인 역할을 해오고 있다.

MIL-217에서 제공되는 신뢰성 지표는 고장률(failure rate)이, 고려되는 부품의 수명은 지수분포(exponential distribution)를 가정한다. 즉, 임의 고장률(random failure rate)을 가정하며, 고장률은 10^6 (백만) 시간을 단위로 정의된다.

MIL-217에서는 각 부품의 고장률 산정에 있어 기본 고장률(basic failure rate)을 정의하고 이에 추가로 제조조건, 사용중 부품에 인가되는 동작온도, 전기적 스트레스, 사용환경 및 기타 여건 등을 보정 팩터(factor: Π)들로 고려한다. 따라서, 특정 부품의 고장률은 기본 고장률에 여러 팩터 값을 곱한 형태로 정의된다. 고장률 공식과 적용되는 팩터들은 부품별로 다르며 동일 부품에 대해서도 범주 및 타입별로 팩터의 적용 값들이 다르다.

최종적으로, 전체 시스템의 고장률은 부품별 고장률을 계산한 뒤 개별 부품들이 서로 독립임을 가정하여 이들의 합으로 정의한다.

4. MIL-HDBK-217에 의한 신뢰성 예측

본 연구에서 고려하는 안정기의 동작환경은 가정이나 사무실 등 쾌적하고 안정된 경우를 가정할 수 있다. 그러나 형광등은 부정저항(negative resistance) 특성으로 인해 점화가 불안정해지거나 그 자체로 램프가 파손될 수 있다. 즉, 램프 점화시 순간적인 필라멘트의 예열과정과 매우 높은 부하가 수반되며 이후 정상상태로 지속되다 소등시 다시 높은 전기적인 부하가 수반된다.

램프는 독립적인 연구를 요하는 전기적 특성 규명과정이 복잡하며, 여기서는 명시적으로 고려하지 않는다. 대신 램프가 구성 부품에 미치는 영향을 고려함이 필요하다. 램프의 변동성이 부품들에 미치는 영향은 부품별로 다르며 안정기 후반부로 갈수록 심해진다. 이러한 측면에서 총 14가지로 정의되는 환경팩터(π_E) 값을 중심으로 적절히 다르게 가정한다.

품질팩터(π_Q)는 부품들의 제조과정과 품질관리를 위한 시스템화와 관련을 가진다. 일반적으로, MIL-217은 군용부품으로 납품되는 제품 및 품질을 기반으로 정의되었고 이에 따라 매우 높은 수준의 시스템화 및 품질을 요구한다. 국내의 경우 제조과정 및 품질상의 시스템화가 다소 열악한 중소기업을 가정하여 낮은 품질수준인 commercial 이나 lower를 적용한다.

이제 각 구성 회로별로 신뢰도를 계산한다. 계산 과정에서 이미 언급한 부품이 반복되는 경우는 세부적인 내용은 생략하고 공식과 결과만 보인다.

4.1 Fuse

MIL-217에서 퓨즈의 교체회수와 실제 퓨즈의 고장회수 간에는 관련이 없다는 고려이며, 고장률 공식은 다음과 같다.

$$\lambda_p = \lambda_b \Pi_E \quad (FIT/10^6 hrs)$$

단, λ_b - 기본고장률(basic failure rate)
 Π_E - 환경팩터 (environment factor)

퓨즈의 기본고장률(λ_b)은 모든 경우 10^6 시간당 0.010회로 주어진다. 환경팩터(Π_E)는 G_F 를 가정한 2로 정의하였다. 따라서, 퓨즈의 고장률은

$$\lambda_{Fuse} = 0.010 \times 2.0 \quad (1)$$

$$= 0.02$$

로 주어진다.

4.2 EMI filter 회로

이 회로는 60KHz 교류전기의 노이즈를 제거하는 부분으로, 2개의 코일(coil)과 1개의 캐패시터(capacitor)로 구성되어 있다.

(1) 코일(coil)

코일의 고장률은 다음 식으로 주어진다. 즉,

$$\lambda_p = \lambda_b \Pi_T \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 hrs)$$

단, Π_T - 온도팩터
 Π_Q - 품질팩터

코일의 범주(category)는 inductive device이며 세부범주(sub-category)는 코일이다. 타입(type)은 fixed inductor or choke이며 기본 고장률은 0.000030으로 주어진다.

코일의 동작온도는 $40^\circ C$ 로 가정되며 $\Pi_T = 1.2$ 이다. 품질수준은 Lower를 가정한 $\Pi_Q = 3.0$, 환경팩터는 G_M 를 가정하며 $\Pi_E = 6$ 으로 정의된다. 따라서, 코일 2개에 대한 고장률은 다음으로 주어진다.

$$\lambda_p = 2 \times 0.000030 \times 1.2 \times 3.0 \times 6.0$$

$$= 0.001296 \quad (FIT/10^6 hrs)$$

(2) 캐패시터(Capacitor: C1)

캐패시터의 고장률은 다음 식으로 정의된다. 즉,

$$\lambda_p = \lambda_b \Pi_T \Pi_C \Pi_V \Pi_{SR} \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 hrs)$$

단, Π_C - 용량팩터 (capacitance factor)

Π_V - 전압 스트레스 팩터(voltage stress factor)

Π_{SR} - 직렬저항 팩터 (series resistance factor)

이 부품은 세부분류가 CHR(Fixed, Metalized Paper, Paper Plastic Film or Plastic Film Dielectric)으로 용량(C)이 $0.1 \mu F$ 이다. 이를 기준으로 각 팩터 값 및 고장률 다음과 같다. 즉,

$$\lambda_b = 0.00051 \quad (\text{CHR})$$

$$\Pi_T = 1.3 \quad (40^\circ C)$$

$$\Pi_C = 0.8128 \quad (\text{용량 } C=0.1 \mu F \text{이며, } \Pi_C = C^{0.09} \text{이다.})$$

$$\Pi_V = 5.214 \quad (S = \frac{220}{275} = 0.8 \text{이며,}$$

$$\Pi_V = (\frac{0.8}{0.6})^5 + 1 \text{ 이다.})$$

$$\Pi_{SR} = 1 \quad (\text{CHR 경우는 } 1)$$

$$\Pi_Q = 10 \quad (\text{Commercial/ unknown screening level})$$

$$\Pi_E = 20 \quad (G_M \text{을 가정})$$

$$\lambda_p = 0.00051 \times 1.3 \times 0.8128 \times 5.214 \times 1.0 \times 10 \times 20$$

$$= 0.56195$$

이제 EMI 필터 회로의 고장률은 이들의 합으로 식 (2)와 같다.

$$\lambda_{EMI} = 0.001296 + 0.56195 = 0.56325 \quad (2)$$

4.3 정류(rectifying) 회로 (D1-D4)

노이즈가 여과된 전류를 직류로 전환하는 이 회로는 4개의 동일한 다이오드(diode)로 구성된다. 다이오드의 고장률 공식은 다음과 같다.

$$\lambda_p = \lambda_b \Pi_T \Pi_S \Pi_C \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 hrs)$$

단, Π_S - 전기적 스트레스 팩터 (electric stress factor)

Π_C - 접촉부 처리 팩터(contact construction factor)

정류회로 다이오드들의 범주는 LOW FREQUENCY이고, 타입은 “fast recovery power rectifier”이며 기본고장률 및 팩터 값들은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\lambda_b &= 0.025 \text{ (fast recovery power rectifier)} \\ \Pi_T &= 2.2 \quad (\text{동작온도 } 50^\circ\text{C}) \\ \Pi_S &= 0.054 \left(\frac{V_{operated}}{V_{rated}} = \frac{110}{700} \leq 0.3 \text{에 해당} \right) \\ \Pi_C &= 1.0 \quad (\text{Metallurgically bonded}) \\ \Pi_Q &= 5.5 \quad (\text{Lower를 가정}) \\ \Pi_E &= 9 \quad (G_M \text{을 가정})\end{aligned}$$

즉, 정류회로의 고장률은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned}\lambda_{Rectify} &= 4\text{개} \times 0.025 \times 2.2 \times 0.054 \times 1.0 \times 5.5 \times 9 \\ &= 0.58806\end{aligned} \quad (3)$$

4.4 역률보상(power factor correction) 회로
역률보상 회로는 2개의 캐패시터(C2,C3)와 3개의 다이오드(D7,D8,D9)로 구성된다.

(1) 캐패시터 (C2,C3)

PFC 회로의 캐패시터는 알루미늄 전해컨덴서로 discrete 및 고정형(fixed)이며 타입이 CE (fixed electrolytic)로 분류되며 기본고장률은 0.00012이다. 이의 고장률 산출 과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\lambda_p &= \lambda_b \Pi_T \Pi_C \Pi_V \Pi_{SR} \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 \text{hrs}) \\ &= 2\text{개} \times 0.00012 \times 3.5 \times 1.6982 \times 1.0394 \times 1.0 \\ &\quad \times 10.0 \times 20 \\ &= 0.2965\end{aligned}$$

(2) 다이오드(D7,D8,D9)

PFC 회로 다이오드의 범주는 LOW FREQUENCY이고 타입은 정류회로에서와는 달리 기본 고장률 0.0038의 “general purpose”로 고장률은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}\lambda_p &= \lambda_b \Pi_T \Pi_S \Pi_C \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 \text{hrs}) \\ &= 3\text{개} \times 0.0038 \times 2.2 \times 0.06 \times 1.0 \times 5.5 \times 9 \\ &= 0.0745\end{aligned}$$

즉, 역률보상회로의 고장률은 다음 식 (4)와 같다.

$$\lambda_{PFC} = 0.371 \quad (4)$$

4.5 인버터(inverter) 회로

인버터 회로는 직류를 교류로 변환하는 회로로 펄스(pulse) 발생 및 스위칭을 포함한다. 우선, 전원 작동(power on)때 스위치를 위해 펄스를 발생시키는 부분은 캐패시터(C4)와 다이오드(D10)으로 구성되며, 스위치 on/off를 위한 교대신호를 발생시키는 부분은 캐패시터(C7,C8), 다이오드(D5,D6), 레지스터(resistor; R1-R6), 그리고 transformer (L1-L3) 등으로 구성된다.

이들에 대한 고장률 계산은 다음과 같다.

(1) 캐패시터(C4)

C4는 필름컨덴서로 EMI filter의 C1과 동일한 discrete 및 고정형(fixed)으로 타입이 CHR이다. 이의 용량은 10uF이고 고장률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\lambda_p &= \lambda_b \Pi_T \Pi_C \Pi_V \Pi_{SR} \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 \text{hrs}) \\ &= 0.00051 \times 1.3 \times 1.23 \times 1.0668 \times 1.0 \times 10 \times 20 \\ &= 0.17399\end{aligned}$$

(2) 다이오드(D10)

다이오드 소자 D10은 PFC의 D7-D9 경우와 동일하게 low frequency이고, 타입은 “general purpose”이며 고장률은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}\lambda_p &= \lambda_b \Pi_T \Pi_S \Pi_C \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 \text{hrs}) \\ &= 0.0038 \times 1.6 \times 0.054 \times 1.0 \times 5.5 \times 9 \\ &= 0.01625\end{aligned}$$

(3) 캐패시터(C7,C8)

알루미늄 전해컨덴서로 C2,C3의 경우와 동일한 타입인 CE(fixed electrolytic)으로 용량은 1uF이고 정격전압이 50V이다. 고장률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\lambda_p &= \lambda_b \Pi_T \Pi_C \Pi_V \Pi_{SR} \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 \text{hrs}) \\ &= 2\text{개} \times 0.00012 \times 2.9 \times 1.0 \times 1.0394 \times 1 \times 10 \times \\ &= 0.14468\end{aligned}$$

(4) 다이오드(D5,D6)

D7-D9와 동일한 low frequency용이며 타입은 general purpose이다.

$$\begin{aligned}\lambda_p &= \lambda_b \Pi_T \Pi_S \Pi_C \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 \text{hrs}) \\ &= 2\text{개} \times 0.0038 \times 1.6 \times 0.054 \times 1.0 \times 5.5 \times 9 \\ &= 0.0325\end{aligned}$$

(5) 저항(resistor: R1-R6)

이 회로에서의 저항 타입은 RL(fixed, film, insulated)이며, 전력정격 1/4W, 동작전력 0.05-

0.1W로 정의된다. 저항의 고장률 공식은 MIL-217F까지는 범주별 공식이 달랐으나 MIL-217FN2에서 다음과 같이 한가지로 통일되었다.

$$\lambda_p = \lambda_b \Pi_T \Pi_P \Pi_S \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 hrs)$$

단, Π_P - 전력팩터 (power factor)로 소비전력(power dissipation)에 따라 다른 값을 가짐. 즉,

$$\lambda_b = 0.0037 \quad (\text{Fixed, film, insulated})$$

$$\Pi_T = 1.3 \quad (50^\circ\text{C})$$

$$\Pi_P = 0.4074 \quad (\text{소비전력}=0.1\text{W}, \Pi_P = 0.1^{0.39})$$

$$\Pi_S = 1.1024 \quad (S=0.1/0.25 = 0.4, \Pi_S = 0.71e^{1.1S})$$

$$\Pi_Q = 10.0 \quad (\text{Commercial/unknown})$$

$$\Pi_E = 16 \quad (G_m \text{을 가정})$$

$$\lambda_p = 6\text{개} \times 0.0037 \times 1.3 \times 0.4074 \times 1.1024 \times 10 \times 16 = 2.07385$$

(6) Transformer (L1,L2,L3)

1차, 2차, 3차 코일로 구성되는 transformer의 경우 범주는 inductive device이며, 세부범주는 transformer이다. 타입은 low power pulse (peak power <300W, average power <5W)이고, 고장률 공식은 코일의 경우와 동일하다. 즉,

$$\lambda_p = \lambda_b \Pi_T \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 hrs)$$

$$\lambda_b = 0.022 \quad (\text{low power pulse})$$

$$\Pi_T = 1.6 \quad (80^\circ\text{C})$$

$$\Pi_Q = 3.0 \quad (\text{Lower를 가정})$$

$$\Pi_E = 12 \quad (G_M \text{을 가정})$$

$$\lambda_p = 0.022 \times 1.6 \times 3 \times 12 = 1.2672$$

Inverter 회로의 마지막 부분은 캐패시터 (C5,C6), 트랜지스터(Q1,Q2), 코일(L4), 그리고 캐패시터(C9) 등으로 구성된다.

(7) 캐패시터(C5,C6)

필름 컨덴서로 EMI filter 회로의 C1, starter 회로의 C4와 동일하게 CHR (fixed metalized)으로 분류된다. 용량은 0.1uF이며 정격전압은 630V이다.

$$\begin{aligned} \lambda_p &= \lambda_b \Pi_T \Pi_C \Pi_V \Pi_{SR} \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 hrs) \\ &= 2\text{개} \times 0.00051 \times 2.2 \times 0.8128 \times 1.002 \times 1 \times 10 \times 40 \\ &= 0.7310 \end{aligned}$$

(8) 트랜지스터(Q1,Q2)

반도체 중 트랜지스터는 범주 low frequency, Bipolar로 분류되고, 타입은 NPN 또는 PNP (frequency < 200MHz)이다. 트랜지스터의 고장률 공식 및 고장률은 다음과 같다.

$$\lambda_p = \lambda_b \Pi_T \Pi_A \Pi_R \Pi_S \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 hrs)$$

단, Π_R - power rating factor

$$\lambda_b = 0.00074 \quad (\text{NPN and PNP})$$

$$\Pi_T = 3.3 \quad (85^\circ\text{C})$$

$$\Pi_A = 0.70 \quad (\text{switching-용})$$

$$\Pi_R = 9.1783 \quad (P_{rated} = 400\text{W}, \Pi_R = 400^{0.37})$$

$$\Pi_S = 0.29 \quad (V_s = 220/400 = 0.55, \Pi_S = 0.045e^{3.1 \times V_s})$$

$$\Pi_Q = 5.5 \quad (\text{Lower를 가정})$$

$$\Pi_E = 32 \quad (M_L \text{를 가정})$$

$$\lambda_p = 2\text{개} \times 0.0074 \times 3.3 \times 0.7 \times 9.1783 \times 0.29 \times 5.5 \times 32 = 1.6016$$

(9) 코일(L4)

EMI filter 회로의 코일과 동일하며, 범주는 inductive device, coil이다. 이의 타입은 fixed inductor or choke이다.

$$\begin{aligned} \lambda_p &= \lambda_b \Pi_T \Pi_Q \Pi_E \quad (FIT/10^6 hrs) \\ &= 0.000030 \times 1.9 \times 3.0 \times 12 \\ &= 0.002052 \end{aligned}$$

(10) 캐패시터(C9)

필름 컨덴서로 타입은 CHR이다. 이소자의 경우 기본 규격은 C4와 동일하나 순간부하가 무척 큰 것이 특징이다.

$$\begin{aligned} \lambda_p &= 0.00051 \times 1.8 \times 0.6382 \times 1.0466 \times 1.0 \times 10 \times 40 \\ &= 0.24547 \end{aligned}$$

인버터 회로의 전체 고장률은 이들의 합으로 계산된다.

$$\lambda_{Inverter} = 6.2886 \quad (5)$$

5. 안정기의 신뢰성

최종적인 안정기회로 전체에 대한 고장률은 식(1)-(5)의 합으로 다음 식과 같이 예측된다.

$$\lambda_{Balast} = 7.83 \quad (\text{회}/10^6\text{hrs})$$

MIL-217에서 고장률은 10^6 시간 단위를 기준하므로, 안정기 수명이 지수분포를 따른다는 가정하의 확률함수는

$$f(t) = \frac{7.83}{1000000} e^{-\frac{7.83}{1000000}t}, \quad t \geq 0$$

로 표현된다. 또한 시간에 따른 신뢰도, $R(t)$, 는 다음과 같다.

$$R(t) = e^{-\frac{7.83}{1000000}t}, \quad t \geq 0$$

이제, 안정기 수명의 기대치는

$$MTTF = \frac{1000000}{7.83 \times 8760} = 14.58(\text{years})$$

로 예측된다. 이들을 바탕으로 시간에 따른 안정기 신뢰도의 변화, 특정 신뢰도를 유지하기까지의 시간 등 다양한 분석 및 예측 등이 가능하다. 도출된 평균 수명은 실제 안정기의 수명(보통 5년 미만) 보다 높게 나타났으며, 램프를 명시적으로 고려하지 않은 것을 포함한 여러 요인에 기인한다. 동시에 MIL-217에서 고려하는 전자 부품들은 군납품들로 품질 수준이 매우 높다는 예측에서 가능한 결과이다. 그러나, 비록 본 연구의 결과가 실제 안전기의 수명 특성을 현실적으로 적절히 반영하지 못한다 하더라도 향후의 신뢰도 연구에 좋은 기준 역할을 할 수 있을 것이다.

6. 결론

본 연구에서는 저출력 형광등용 전자식 안정기 가운데 자려식에 대한 신뢰성 예측 모형을 MIL-217을 이용하여 수립하였다. MIL-217은 전기전자 부품의 신뢰성 예측에 널리 이용

되는 대표적인 모형으로서 안정기 제품 품질상의 중요한 기반을 제공한다. 안정기를 구성하는 소자 수는 매우 많으며 서로 종속적인 특성을 소유한다. 따라서, 실제 제품 신뢰도에 근접하는 모형의 수립이 어렵다. 이의 대안으로 일부 주요 소자들을 대상으로 연구를 수행함이 좋은 접근이 될 수 있다.

참고문헌

- [1] Ichirou Terayama, The Life of Ballast, *J. Illum. Enging. Inst. Jpn*, vol. 85, no. 9, pp. 757-759, 9, 2001.
- [2] 박태근, 이영주, 정희석, 김정수, 김진선, 천석희, 고압방전램프용 안정기의 신뢰도 모형과 분석, 2005 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, 2005년 5월 13일~14일, 충북대학교, pp. 669-673
- [3] Telcordia Special Report, *Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment (document number SR-332, Issue 1)*, Telcordia Technologies, 2001.
- [4] 전태보, *Telcordia를 이용한 형광등용 전자식 안정기의 신뢰성 모형 수립*, 2006 한국품질경영학회. 춘계학술대회, 인하대학교, pp. 69-75,
- [5] MIL-HDBK-217F, *Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment*, Department of Defense, 1991.
- [6] MIL-HDBK-217F Notice 2, *Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment*, Department of Defense, 1995.