

# Telcordia를 이용한 형광등용 전자식 안정기의 신뢰성 모형 수립

## Reliability Modeling of Electronic Ballasts for the Fluorescent Lamp Using Telcordia

전 태 보  
Jeon, Tae-Bo

강원대학교 공과대학 산업공학과

### Abstract

As the level of technology and the standard of living improve, product reliability plays an increasingly significant role. This study has been performed to build a reliability model of electronic ballasts for the low wattage fluorescent lamp. Telcordia SR-332, one of the most widely used reliability specifications, was selected for the model development. We briefly reviewed the basic concepts of the electronic ballast. We then developed a reliability model for the ballast using SR-332 concepts and the reliability has been examined.

**keywords:** ballast, reliability prediction, MIL-HDBK-217, Telcordia, SR-332

### 1. 서론

기술수준의 향상 및 웰빙 문화의 확산과 더불어 제품의 안정성과 신뢰성의 요구가 근래 매우 강조되는 추세이다. 오랜 전통을 가진 형광등으로서 품질 및 성능상의 정착이 이루어졌다고 생각되나 특별히, 에너지 절감, 효율성 증대, 수명보장 등의 차원에서 한 단계 성숙된 기술의 정착이 요구되고 있다.

안정기(ballast)의 경우 신뢰성 분석은 전체 회로 보다는 내부의 특정 주요 부품(들)에 대한 가속 수명 시험(accelerated life test)을 통한 신뢰성 예측에 초점을 가진다. 박태근 등 [1]은 자기식 고압 방전램프용 안정기의 신뢰도 모형을 수립하려 노력하였다. 이들은 안정기의 신뢰도 저하는 온도에 의한 부품의 누적 열화가 가장 큰 요인이라는 판단에, 권선(coil)은 온도에 따른 부품 수명을 반영하는 아레니우스(Arrhenius) 곡선으로, 그리고 캐패시터(capacitor)는 온도와 인가전압을 복합한 함수 형태에 기반을 둔 가속 수명 시험 방법을 통

하여 신뢰성 예측을 수행하였다.

보다 체계적이고 포괄적인 안정기의 신뢰성 예측(reliability prediction) 모형 수립이 필요하며 이를 통한 학문적, 실무적 기반으로서의 역할이 기대된다. 세계적으로 널리 알려진 전기전자 부품에 적용 가능한 신뢰성 모형들은 미 국방성의 MIL-HDBK-217[2,3], Bellcore/Telcordia[4,6], 그리고 RAC(reliability analysis center)의 PRISM [5] 등이 고려된다. 이들 중 본 연구에서는 Telcordia의 SR-332[4] 모형을 고려하며 이를 통한 저출력(low wattage) 안정기 신뢰성 예측 모형을 수립하고자 한다.

본 연구수행을 위하여 형광등용 전자식 안정기에 대한 개괄적인 내용을 고찰한다. 그리고는, 신뢰성의 예측 모형인 Telcordia SR-332의 주요 내용 고찰과 전자식 안정기 회로를 구성하는 부품 및 전체 시스템에 대한 신뢰성 예측 모형을 수립한다. 마지막으로, 연구의 결론과 향후의 방향에 대한 제언을 한다.

### 2. 형광등 안정기

안정기는 크게 자기(회로)식 안정기(magnetic ballast)와 전자식 안정기(electronic ballast)로 분류된다. 자기식 안정기는 전류를 제한하는 안정기의 역할을 위해 L 즉, 철심에 동선을 권선한 철심 초크 또는 변압기 형태로 역할개선 또는 잡음방지 등을 위한 콘덴서와 같이 사용하여 램프를 적절하게 점화시키는데 사용되는 것을 말한다. 반면, 전자식 안정기는 코일 대신 반도체 부품과 수동전자 부품으로 구성된 전자회로를 사용하여 교류 50Hz/60Hz의 전원을 주파수 변환회로를 이용하여 고주파(20kHz~100kHz)로 변환 후 램프전원으로 사용, 램프를 점화시킨다. 전자식 안정기는 자기식 안정기와 비교하여 발광효율이 향상되며, 반도체소자를 사용하므로 초크코일에서의 자체 발열로 인한 손실을 줄일 수 있어 자기식 안정기에 비해 큰 절전효과를 얻을 수 있다.

본 연구에서 고려하는 안정기는 전자식 안정기로 <그림 1>이 회로도이다. 이 그림의 전자식 안정기에 의한 램프점화 동작 프로세스는 다음과 같다. 그림의 왼쪽 부분은 교류 전원 (AC 60Hz)이 입력되는 부분으로 퓨즈(fuse)가 연결되어 있다. 다음은 라인필터 (EMI filter) 회로 부분으로 발생하는 전자파 방해(EMI: electromagnetic interference)를 억제하여 EMI 규정에 위배되지 않고 다른 전자 기기에 미치는 영향을 최소화한다. 노이즈 (noise)가 제거된 교류전압(220V 60Hz)은 정류(rectify) 과정을 거쳐 직류전압으로 변환된다. 이 경우 역률 보상(PFC: power factor correction) 회로가 추가되며 이는 전원장치에 전력효율을 향상시키기 위하여 절전 회로를 추가한 것으로 순간적인 누출이 우려되는 전력을 조절하여 다른 부품들에게 안정적인 전류 공급을 하는 역할을 한다. PFC는 수동형과 능동형이 있으며, 수동형은 수동소자와 다이오드(diode)만 사용하고, 능동형은 스위칭을 이용한 승압형(boost type)의 IC(integrated circuit)를 이용한다. 일반적인 전자식 안정기의 경우 역률(power factor)이 95%이상이다.

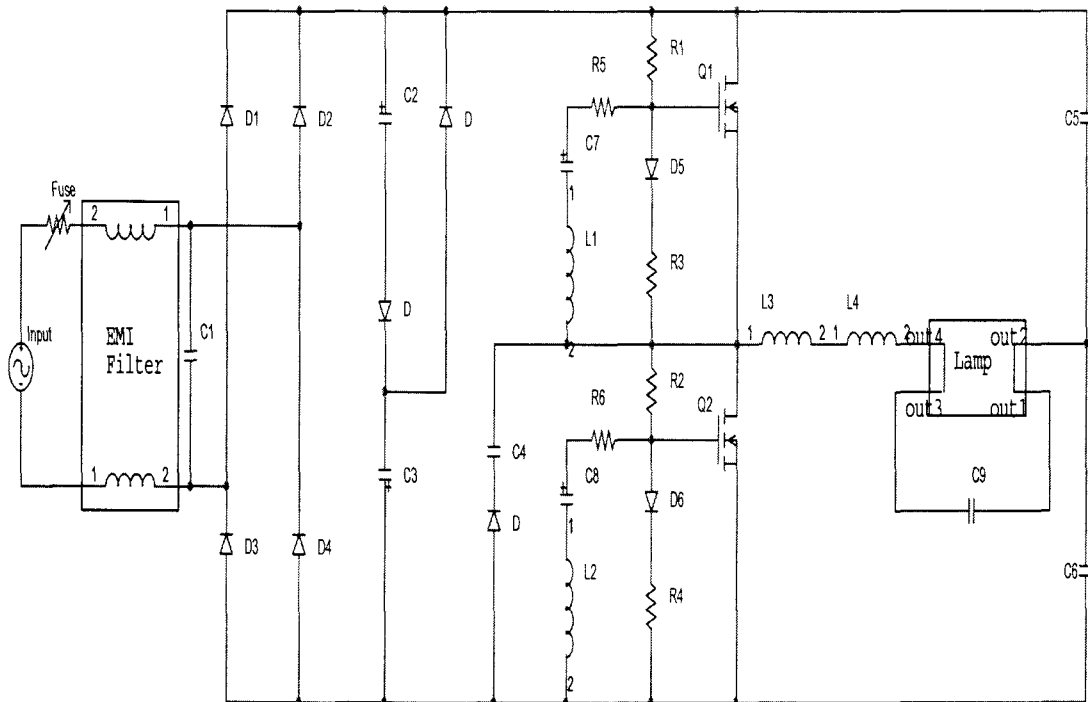
다음은, 공진 인버터(inverter)를 사용하여 DC를 다시 AC로 바꾼다. 인버터란 직류전압을 캐패시터(C)와 코일(L)을 가지고 전하가 충전과 방전을 되풀이하게 만들어 공진하게 해 교류전압으로 바꾸어주는 것을 말하며, 앞의 경우와 달리 이 인버터의 동작 주파수가 바로

램프에 인가되는 AC 전원의 주파수로 20-60KHz가 된다. 이때 동작주파수인 20KHz 이상의 주파수를 만들어 내는 방식에서 자려식 (self-oscillation)과 타려식(external oscillation)이 있다. 자려식은 트랜스포머(transformer)를 사용하는데 3개의 권선을 하나의 코어에 감아서 1차측, 2차측, 3차측으로 만든다. 그리고는 램프로 흐르는 전류를 1차측에 흘리고 이로인해 2, 3차측에 인가되는 전압 및 그로 인해 흐르는 전류를 이용해서 스스로 20KHz 이상으로 스위칭 한다. 마지막으로, 그림의 우측 부분은 램프(lamp)의 점화(ignition)을 위한 회로부분이다.

### 3. Telcordia 개요

1984년 AT&T사의 분할과 함께, 지역별 벨 운영 회사들이 자체의 필요성으로 연구 기관인 Bellcore (Bell Communications Research, Inc.)를 설립하였다. 이후 1997년 SAIC이 매입함에 따라 1999년 Telcordia Technologies로 개명되었다.

Bellcore는 초기 자신의 신뢰도 예측에 미국방성의 신뢰성 예측 규격인 MIL-HDBK-217 [2,3]을 사용했다. 그러나 회사 제품에 적용할 전문적인 자신의 신뢰성 규격의 제정 필요성으로 MIL-HDBK-217 모형을 수정 및 단순화함으로써 Bellcore 신뢰성 예측절차를 개발하였다. 이후 1997년 Bellcore (TR-332)



<그림 1> 전자식 안정기 회로도

Issue 6 [6]까지 여러 차례 수정·보완되었다. 2001년의 Telcordia document SR-332, Issue 1 [4]는 TR-332, Issue 6의 수정·보완된 버전으로 공식 이름은 "Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment" (document number SR-332, Issue 1)이다. 많은 민수용 전기부품회사들은 Bellcore/Telcordia 규격서를 자신들의 신뢰성 예측에 적용한다.

Telcordia의 접근 방식은 MIL-HDBK-217과 유사하나, 기본적으로 군수산업보다는 통신업체 및 상업용 시스템에 활용된다. Telcordia SR-332의 신뢰성 분석 결과는 고장률이나 MTBF (mean time between failures)의 형태로 제공되며, 고려되는 부품의 고장률 관련 분포는 지수분포(exponential distribution)를 가정한다. 고장률의 기본 단위는  $10^9$  (10억) 시간으로 정의된다.

SR-332에서는 전자 장비를 3개의 계층적 구성품으로 간주하고 있다. 이중, 부품(device)은 전기전자 기본 구성품들을 말한다. 유니트(unit)는 부품들의 집합체로 보통 수리불가능한 형태로 사용자가 직접 교체할 수 있는 단위를 말한다. 그리고 시스템(system)은 유니트들의 집합체로 하나의 유니트 고장으로 시스템 고장의 유발이 가능한 것을 말한다. SR-332에서는 세 가지 레벨이 이루는 대상들을 기준으로 신뢰성을 예측하는 방법을 설명하고 있으며 공통적으로 다음의 팩터(factor)들을 신뢰성 예측에 고려한다.

#### ① 품질팩터(quality factor)

고장률 예측과정에 있어 SR-332에서는 부품 납품업체(supplier)에 대한 4가지 품질레벨을 사용하고 있다. 각 품질레벨에 대한 부품 제공자의 품질 개선 활동에 대해서는 독립적인 표로 제공되며, 기본고장률에 대한 곱셈 인자로 활용된다.

#### ② 전기적 스트레스(electrical stress)

스트레스 팩터는 해당 부품에 인가되는 부하(stress)가 수명에 미치는 영향을 함수형태로 정량화 한 것이다. 전기적 스트레스는 정격전압(전력)에 대한 인가전압(전력)의 백분율로, 이를 고장률에 대한 스트레스의 영향을 정량적으로 표현한다. 전기적 스트레스 팩터( $\Pi_S$ )는 다음 식을 통하여 구한다.

$$\Pi_S = e^{m(p_1 - p_0)} \quad (1)$$

단,  $p_1$  - 인가된 스트레스 퍼센트(%)

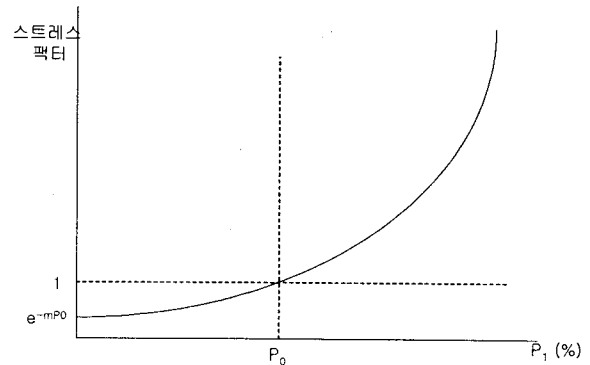
$p_0$  - 기준 스트레스

(reference stress, 50%)

m - 모수 값

m의 값에 따라 곡선 형태가 달라지며 총 11

가지로 분류한다. 이 팩터의 값은 공식을 사용하여 구하거나, 부품에 따라 스트레스 수준별로 제공된 도표 값으로 구한다. <그림 2>는 스트레스 팩터의 함수 모양을 도시한다.



<그림 2> 스트레스 팩터 함수

#### ④ 동작온도 (operating temperature)

온도는 전기전자부품의 신뢰도에 가장 큰 영향을 미치는 요인이다. 이 팩터의 값 역시 부품 및 온도별 표로 제공된다. 동작온도를 알 수 없는 경우, 40°C로 간주한다. 온도 조건에 따른 부품의 수명은 아레니우스 공식에 기반하며, 온도팩터는 다음 식으로 계산된다.

$$\Pi_T = e^{\frac{Ea}{k} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1} \right)} \quad (2)$$

단,  $T_0$  - 기준온도(°C+273),

$T_1$  - 실제 동작온도(°C+273)

Ea - 활성화 에너지(activation energy)

k - 볼츠만 상수 =  $8.62 \times 10^{-5}$

스트레스 팩터의 경우와 비슷하게 Ea의 값에 따른 10가지의 곡선형태를 가정한다.

#### ③ 환경조건(environmental factor)

실제로 제품이 사용될 때 노출될 수 있는 각 환경 조건마다 수명이 달라질 수 있으며, SR-332에서는 이러한 환경조건을 "Ground Fixed Controlled, Ground Fixed Uncontrolled, Ground Mobile, Airborne Commercial, Space-based Commercial" 등 5가지로 분류하며, 1-15까지의 다양한 값을 적용한다.

이상의 팩터들은 모두 부품의 안정상태 고장률(steady-state failure rate)에 영향을 주는 것이다. 안정상태란 부품의 신뢰도가 정착되어 시간에 따라 변동이 없는 상태를 의미하며, 욕조곡선(bath-tub curve) 상의 임의고장률(random failure rate) 기간에 해당된다[4].

고장률 및 육조곡선에 대한 기본 개념은 박경수[7], 김원경[8] 등을 참조할 수 있다. 이제, 특정 부품 i의 고장률은 일반 안정상태 고장률에 상술한 팩터 값들을 곱한 형태로 정의된다. 즉,

$$\lambda_{SS_i} = \lambda_{G_i} \pi_{Q_i} \pi_{S_i} \pi_{T_i} \quad (3)$$

단,  $\lambda_{G_i}$  - 부품 i의 일반 안정상태 고장률  
(generic steady-state failure rate)  
 $\pi_{Q_i} \pi_{S_i} \pi_{T_i}$  - 부품 i의 품질, 스트레스,  
온도 팩터 값

일반 안정상태 고장률( $\lambda_G$ )은 부품별로 다르게 정의되며 각 부품 및 분류 특성별로 도표 값으로 제공된다.

유니트 및 시스템의 고장률 계산은 원칙적으로 구성 부품들 및 이들의 구조형태에 따라 달라진다. SR-332에서는 직렬구조(series structure)를 가정하며 유니트의 경우 안정상태 고장률은 유니트를 이루고 있는 모든 부품들의 고장률 합과 유니트에 적용되는 환경팩터의 곱으로 계산한다

$$\lambda_{Unit} = \pi_E \times \sum_{i=1}^n N_i \cdot \lambda_{SS_i} \quad (4)$$

단, n - 유니트내 구성 부품들의 종류(수)  
 $N_i$  - 부품 종류 i의 수량  
 $\pi_E$  - 유니트에 적용되는 환경팩터 값

고려하는 시스템이 고장원리, 장비구성 그리고 작동조건 등에서 직렬구조라고 판단하는 것이 적절하다면, 시스템의 총 고장률( $\lambda_{System}$ )은 모든 유니트의 안정상태 고장률을 합산한 것이 될 것이다. 즉,

$$\lambda_{System} = \sum_{j=1}^k \lambda_{Unit(j)} \quad (5)$$

단,  $\lambda_{Unit(j)}$  - 유니트 j의 안정상태 고장률  
k - 유니트의 종류 수

#### 4. 안정기의 신뢰성

본 연구에서 고려하는 안정기의 동작환경은 사무실 등 쾌적하고 안정된 경우로 GF(Ground Fixed Controlled)를 가정할 수 있다. 그러나 형광등은 방전램프로써 방전에 필요한 열전자를 방출하기 위하여 초기에 높은 전압이 필요하며, 방전 후 램프전류가 커지면 형광등에 인가된 전압은 반대로 감소하는 부성 저항(negative resistance) 특성을 갖고 있다. 이 부성 저항 특성으로 인해 점화가 불안정해지거나 그 자체로 램프가 파손될 수 있다. 즉, 램프 점화시 순간적인 필라멘트의 예열과

정과 점화시의 매우 높은 부하가 수반되며 이후 정상상태로 지속되다 소등시 다시 높은 전기적인 부하가 수반된다.

본 연구에서 램프를 직접적인 부품/유니트로 고려하지 않으나 이에 대한 영향의 고려가 필요하다. 램프의 변동성이 부품들에 미치는 영향은 안정기 후반부로 갈수록 심해진다. 동시에 조용한 사무실의 경우에도 일반 생활상의 진동(vibration)이 불규칙하게 작용하며 이의 영향이 안정기의 수명에 큰 영향을 미치는 것으로 인식되고 있다. SR-332에서는 부품 보다는 유니트에 환경팩터를 적용하고 유니트 내의 부품들이 동일한 팩터 값을 갖도록 정의되나 여기서는 램프의 변동으로 인한 영향이 부품에 다르게 미치므로 부품별로 환경영향이 다를 것을 가정하며 1-6사이에서 적절한 값들을 가정한다.

다음으로, 시스템 주변온도는 30℃를 가정한다. 부품들의 품질수준은 제조과정 및 품질상의 시스템화가 다소 열악한 중소기업을 가정하여 품질수준을 0 (품질팩터 값은 6)으로 적용한다. 마지막으로, 부품 또는 시스템의 테스트나 필드 데이터는 없다고 가정한다.

이제 각 구성 회로별로 신뢰도를 계산한다.

##### 4.1 EMI filter 회로

안정기 회로의 첫 부분은 EMI filter로 60Hz 교류전기의 노이즈(noise)를 제거하는 부분이다. 이 회로는 2개의 코일(coil)과 1개의 캐패시터(capacitor) 등 2 부품으로 구성되어 있다.

SR-332에 있어 코일의 범주(category)는 inductor (inductive device)이며 타입(type)은 power filter이다. 부품의 기본고장률은 SR-332의 Table 7-1 Device Failure Rate (Sheet 15 of 16)[4]로부터  $\lambda_G = 19$ 이고 온도 곡선 형태는 3으로 이는 식 (2)에서  $E_a = 0.15$  임을 의미한다. 동작온도 40℃를 가정할 경우 도표로부터  $\pi_T = 1.2$  임을 알 수 있다. 이 부품에 있어서의 전기적 스트레스는 정의되지 않으며 따라서  $\pi_S = 1$ 을 적용한다. 종합적으로, 코일의 고장률은 식 (3)에 의거

$$\lambda_{SS_{코일}} = 2 \times 19 \times 6 \times 1.0 \times 1.2 = 273.60$$

로 주어진다. 단위는 FIT로 10억 시간당 고장 횟수를 의미한다.

다음은 캐패시터(capacitor) C1이다. 이는 세부범주가 고정형(fixed)의 Tantalum (Solid Hermetic)이다. SR-332 분류상 이 부품은 고장률 1, 온도 곡선 3, 그리고 전기스트레스 곡선 J에 해당한다. 온도곡선 3에 있어서 동작온

도 40°C의 경우  $\Pi_T = 1.2$ 임을 알 수 있다. 그리고 스트레스 곡선 J의 경우  $m=0.059$ 이며 스트레스는 전압이로 약 60%의 부하 스트레스를 정의할 때 도표로부터  $\Pi_S = 1.8$ 로 구해진다. 참고로, 스트레스 공식을 적용할 경우는 다음과 같이 계산된다.

$$\Pi_S = e^{0.059(60-50)} = 1.8$$

따라서, 캐패시터(C1)의 안정상태고장률은 다음과 같이 구해진다.

$$\lambda_{SS_{C1}} = 1 \times 6 \times 1.8 \times 1.2 = 13.0$$

EMI filter 회로의 고장률은, 두 부품 코일과 캐패시터의 직렬결합으로 이루어지므로, 각 고장률의 합인

$$\lambda_{EMI\ Filter} = 273.60 + 13.0 = 286.60 \quad (6)$$

로 주어진다.

#### 4.2 정류(rectifying) 회로

안정기의 둘째 부분은 정류회로로 노이즈가 여과된 전류를 직류로 전환하는 부분이다. 이 부분은 동일한 4개의 다이오드(diode: D1-D4)로 구성된다. 다이오드의 타입은 voltage regulator이며 1.5W 이상인 hermetic 패키지에 해당한다. SR-332 분류 기준에 의거 기본고장률은  $\lambda_G = 9$ 이고 온도곡선 3, 전기스트레스 곡선 E에 해당한다. 동작온도를 40°C, 전기적 스트레스를 60%로 가정하며  $\Pi_S = 1.27$ ,  $\Pi_T = 1.2$ 이다. 환경팩터는 1로 가정한다. 따라서, 정류회로의 안정상태 고장률은 다음과 같다.

$$\lambda_{Rectify} = 4 \times 9 \times 6 \times 1.27 \times 1.2 = 329.18 \quad (7)$$

#### 4.3 역률 보상 회로

역률보상(PFC) 회로는 2개의 다이오드(D,D)와 2개의 전해 캐패시터(C2,C3)로 구성되었다. 이중 다이오드의 규격은 앞의 정류회로 부분과 동일하다. 캐패시터(C2,C3) 용량은  $10\mu F$ 으로 fixed, Aluminum(Chassis Mounted) <400 $\mu F$ 의 hermetic 패키지에 해당한다. 따라서,  $\lambda_G = 40$ 이고 온도곡선 7, 전기스트레스 곡선 E에 해당한다. 즉, 동작온도 50°C, 전기적 스트레스 70%를 가정시  $\Pi_S = 1.62$ ,  $\Pi_T = 2.58$ 이다. 환경팩터는 역시 1 가정한다. 역률보상회로의 안정상태 고장률은 식 (8)과 같이 구해진다.

$$\lambda_{PFC} = 164.59 + (2 \times 40 \times 6 \times 1.617 \times 2.58) = 2167.08 \quad (8)$$

#### 4.4 Inverter 회로

Inverter 회로는 직류전기를 다시 고주파의 교류전기로 복원하는 부분이다. 이 부분은 가장 복잡하며 캐패시터 5개, 다이오드 3개, 레지스터(resistor) 6개, 트랜지스터 2개, 그리고 transformer 1개 등으로 구성된다. 특별히, 캐패시터 및 다이오드는 2가지 다른 종류들로 구성된다. 부품들 각각에 대한 세부 고찰 및 고장률 계산 과정은 생략하며 종합적인 분류 및 계산 결과를 <표 1>과 같이 도시한다. Inverter 회로의 안정상태 고장률은 이들의 합으로 다음과 같이 주어진다.

$$\lambda_{Inverter} = 8,612.64 \quad (9)$$

<표 1> Inverter 회로 부품별 고장률

설계번호	범주	세부범주 및 타입	$\Pi_E$	수량	$\lambda_G$	$p_1$ (%)	$\Pi_S$	온도	$\Pi_T$	고장률
C4	Capacitor	Fixed, Tantalum(Solid Hermetic)	2	1	1	60	1.80	40	1.20	25.92
C5, C6	Capacitor	Fixed, Tantalum(Solid Hermetic)	6	2	1	70	3.25	70	1.95	456.30
D	Diode	Voltage Regulator, >1.5W	2	1	9	70	1.62	50	1.43	250.19
D5, D6	Diode	General Purpose, >20A	2	2	9	60	1.06	50	1.68	384.65
C7, C8	Capacitor	Aluminum(Chassis Mounted) <400uf	2	2	40	50	1.00	50	2.58	2476.80
R1-R6	Resistor	Composition, < 1 Mega Ohm	2	6	1	60	1.21	50	2.29	199.50
Q1, Q2	MOSFET	Silicon, Switch	4	2	20	70	1.62	70	2.67	4152.38
L1-L3	Inductor Transformer	Pulse High Level	3	1	19	-	1.00	70	1.95	666.90

#### 4.5 기타 회로

이상의 회로 외에 퓨즈(fuse)와 점화(ignition) 회로 부분이 있다. 퓨즈는 단일 부품이며 점화회로는 코일과 캐패시터로 이루어져 있다. 퓨즈의 범주는 miscellaneous이고 세부 범주가 fuse이다. 이의 타입은 30A 이하이다. 퓨즈의 고장률은 온도에 영향을 받지 않는다. 고로, 고장률은 다음과 같이 얻어진다. 이 경우도 환경팩터는 1로 가정한다.

$$\lambda_{SS_{Fuse}} = 0.5 \times 6 \times 1 \times 1 = 3.0$$

점화회로 부분은 램프의 변동으로 인한 영향을 가장 많이 받는다. 따라서, 환경팩터는 진동이 많이 수반되는 6을 가정하였다. 코일(L4)은 inductive device (coil)중 load coil으로 분류된다. 이의 기본고장률은 7이고 온도곡선은 3으로 동작온도 70도를 가정시 온도팩터는 1.95이다. 전기 스트레스는 정의되지 않으며 1로 정의된다. 즉,

$$\lambda_{SS_{Coil}} = 6 \times 7 \times 6 \times 1.0 \times 1.95 = 491.40$$

마지막으로, 캐패시터(C9)의 경우 앞의 EMI filter 회로 부분에서 고려한 것과 동일하다. 다만 동작온도 60°C와 전기스트레스 70%를 가정하며 이로 인해 팩터 값들은 각각 1.68과 3.25로 주어진다. 즉, 고장률은 다음과 같다.

$$\lambda_{SS_{Ca}} = 6 \times 7 \times 6 \times 3.25 \times 1.68 = 1375.92$$

이들의 합을 통하여 기타회로 부분의 고장률은 식(10)으로 주어진다.

$$\lambda_{Others} = 3.0 + 491.4 + 1375.92 = 1,870.32 \quad (10)$$

최종적인 안정기회로 전체에 대한 안정상태 고장률은 식(6)-(10)의 합으로 식 (11)과 같이 예측된다.

$$\lambda_{Balast} = 13,265.82 \quad (FIT/10^9 hrs) \quad (11)$$

SR-332에서 고장률은  $10^9$ 시간 단위를 기준하므로, 안정기 수명이 지수분포를 따른다는 가정하의 확률함수는

$$f(t) = \frac{13265.82}{1000000000} e^{-\frac{13265.82}{1000000000}t}, \quad t \geq 0$$

로 표현된다. 수명의 기대치는  $\frac{1}{\lambda}$  이므로

$$MTTF = \frac{1000000000}{13265.82 \times 8760} = 8.61 \text{ (years)}$$

으로 예측된다. 또한 시간에 따른 신뢰도,  $R(t)$ , 는 다음과 같다.

$$R(t) = e^{-\frac{13265.82}{1000000000}t}, \quad t \geq 0$$

이상의 결과를 통하여 예측된 안정기의 수명 8.61년은 실제 안정기의 수명보다 약간 높은 편이다. 이는 램프를 명시적으로 고려하지 않은 것을 포함한 여러 요인에 기인한다. 그럼에도 불구하고 실제 안전기의 특성과 신뢰도를 적절히 반영한 결과로 인식된다.

각 부품 및 회로별로 계산한 고장률을 통하여 개별 부품이나 회로에 대한 신뢰성도 예측 가능하다. 결과에 의하면 일부 부품이 다른 부품에 비하여 높은 고장률을 가짐을 알 수 있다. 특별히, 역률보상회로의 캐패시터(C2,C3), inverter 회로의 캐패시터(C7,C8), 점화회로 부분의 캐패시터(C9), 그리고 스위치용 트랜지스터(Q1,Q2) 등이 다른 부품들에 비하여 높다. 일반적으로, 회로상의 입력 부분보다 후반부로 갈수록 큰 부하가 걸리며 이로 인해 시스템의 수명이 단축되는 경향을 갖는다. 인버터나 점화회로 부분의 권선 등이 온도의 영향을 크게 받으며 이로 인해 캐패시터나 트랜지스터 등에의 부하가 증가되거나 고장이 유발될 수 있다. 반면, 일부 부품들의 고장률은 매우 낮아 안정기의 신뢰성 예측에 전혀 고려하지 않아도 된다는 결론이다. 퓨즈, EMI filter 회로 부품들인 코일 및 캐패시터(C1), PFC회로상의 다이오드, inverter 회로의 캐패시터(C4,C5,C6), resistor(R1-R6) 등이 대표적이다. 이 중 캐패시터 C5, C6의 부하는 매우 큰 편이나 마일러 컨덴서의 우수한 특성으로 고장률은 높지 않다는 결론이다. 이러한 결과는 현장에서 일부 주요 부품들을 대상으로 가속수명을 실시하며 이를 바탕으로 전체 안정기의 수명을 예측하는 접근에 부분적인 타당성을 제공한다.

이 외에도 시간에 따른 안정기 신뢰도의 변화, 특정 신뢰도를 유지하기까지의 시간 등을 포함한 다양한 분석 및 예측 등이 가능하다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 저출력 형광등용 전자식 안정기 가운데 자려식에 대한 신뢰성 예측 모형을 Telcordia의 SR-332를 이용하여 수립하였다. 특별히, SR-332는 MIL-HDBK-217과 함께 전기전자 부품의 신뢰성 예측에 폭 넓게

이용되는 대표적인 모형으로서 이를 통한 예측 또한 기업에 있어서는 제품 품질상의 중요한 기반을 제공한다. 본 연구에서는 black box 형태의 분석을 근간으로 하였으며, 부품들에 대한 보다 정확한 정격, 온도에 대한 실측치, 그리고 여러 시험데이터 등의 확립으로 실제 값에 가까운 신뢰도가 예측될 수 있을 것이다. 이 모형의 확장으로 앞에서 언급한 MIL-HDBK-217, PRISM 등을 통한 모형의 확장 및 결과 비교도 좋은 연구 방향이다. 본 연구에서의 결과는 전자식 안정기 뿐 아니라 미래의 제품과 다른 전기전자 제품에의 파급에도 좋은 기반으로서의 역할을 한다.

### 참고문헌

- [1] 박태근, 이영주, 정희석, 김정수, 김진선, 천석희, 고압방전램프용 안정기의 신뢰도 모형과 분석, 2005 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, 2005년 5월 13일~14일, 충북대학교, pp. 669-673
- [2] MIL-HDBK-217, *Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment*, Department of Defense, 1965
- [3] MIL-HDBK-217F Notice 2, *Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment*, Department of Defense, 1995.
- [4] Telcordia Special Report, *Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment (document number SR-332, Issue 1)*, Telcordia Technologies, 2001.
- [5] Dylis, D. D. and Priore, M. G., A New Reliability Assessment Technique for Aging Electronic Systems, *6th Joint FAA/DoD/NASA Aging Aircraft Conference*, Sept. 16-19, 2002.
- [6] Technical Reference TR-332 Issue 6, *Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment*, Bellcore, 1997.
- [7] 박경수, 신뢰도 공학 및 정비이론, 희중당, 1992.
- [8] 김원경, 신뢰도 공학의 이론과 실제, 교우사, 2005.