

# LED 램프용 안정기에 대한 화재 및 감전 시험법에 관한 연구

장인혁<sup>1</sup> · 나현준<sup>1</sup> · 이창훈<sup>2</sup> · 김명수<sup>3</sup> · 오근태<sup>3</sup> · 임홍우<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>조선대학교 · <sup>2</sup>한국기계전기전자시험연구원 · <sup>3</sup>수원대학교

## The Testing Methods of The Fire and The Electric Shock on the LED Lamps Supply

In-Hyeok Jang<sup>1</sup> · Hyun-Jun Na<sup>1</sup> · Chang-Hoon Lee<sup>2</sup> · Myung-Soo Kim<sup>3</sup> · Geun-Tae Oh<sup>3</sup> · Hong-Woo Lim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Chosun University · <sup>2</sup>Korea Testing Certification · <sup>3</sup>Suwon University

In this paper, the evaluating test methods of the fire and the electric shock on the led lamp supply using the house is proposed. We analyzed FMEA in order to analyze the mechanism of the fire and the electric shock of the led lamp supply and designed durability tests on the environment (85°C, 85% R.H.) and obtained through the two-step QFD and tested. We verified the evaluating test methods of the fire and the electric shock on the led lamp supply using the house through the analysis of the test results.

**Keywords:** Supply, Fire, LED, Electric Shock, Mechanism

### 1. 서론

최근 산업의 발전과 국민소득의 증대로 인해 가전제품의 보급이 증가하는 추세를 보이고 있다. 소비자들은 기능에 대한 요구가 높아짐에 따라 다양화 되고 있으며, 무역개방과 함께 저가형 전기기기들의 수입이 늘어나고 있고, 이에 따라 가전제품의 안전사고 역시 증가하고 있는 추세이다. 가전제품의 전기·기계적 요인으로 인한 화재의 피해현황은 소방 방재청(2014, 2013) 자료를 참고한 <표 1>과 같다. 그중 LED 램프용 안정기는 가정 내 화재사고 품목별 현황 중 5위를 차지하며 전기화재의 주요 발화 원인중 하나이다. 발화요인으로 는 설계불량 또는 열화로 인해서 재해를 유발한다. 특히 절연이 약화되어 안정기의 충전단락이 발생하면 과전류가 흘러 화재로 이어질 가능성이 크다. 또한 LED 램프용 안정기는 최근 저가용 불량제품들의 수입의 증가로 인해 화재 및 감전에 대한 사건사고 역시 증가하고 있다. 김종룡 외(2008)은 이러한 저가용 불량제품으로 인해 화재의 위험성이 증가한 만큼 제조업체 역시 사고방지를 위해 제조기술 및 품질의 향상을 통해 제조사의 설계 마진, 보호회로 등을 통해 사고를 방지하려 노력하고 있지만, 장기간 사용으로 노후화된 제품에 대한 화재 및 감전 사고를 방지하기에는 한계가 있다고 하였으며

또한 장인혁 외(2014)는 기존의 LED 램프용 안정기에 대한 안전성평가에 대한 다양한 KC, KS 및 MIL Standard 등의 안전규정 및 품질규정 등이 국내 및 해외에 존재하지만 이는 초기 품을 대상으로 한 점검기준이며, 장기적 사용으로 인해 노후화된 제품에 적용하기엔 다소 무리가 있다고 판단하였다.

따라서 본 논문에서는 제안한 가속시험방법을 통해 기존의 초기제품에 대한 안전성 평가와 다른 장시간 사용으로 인해 열화된 제품에서 발생할 수 있는 화재 및 감전에 대한 고장메커니즘을 분석 및 검증하였다.

<표 1> 가정 내 화재사고 품목별 현황(상위 10대)

품목명	건수	구성비(%)
전기장판·매트	413	18.4
가정용 세탁기	150	6.7
화목보일러	134	6.0
가정용 냉장고	88	3.9
조명용 안정기	71	3.2
전기보일러	67	3.0
김치냉장고	67	3.0
선풍기	60	2.7
텔레비전	56	2.5
리셉터클(소켓)	54	2.4

\* 교신저자 dyamond@ktc.re.kr

2015년 6월 3일 접수; 2015년 7월 22일 수정본 접수; 2015년 7월 26일 게재 확정.

## 2. 필드고장분석

LED 조명용 안정기의 발화요인은 <그림 1>과 같이 불량 LED 램프용 안정기 사용시 보호소자 오동작으로 인한 이상 현상(서지, 과전류) 차단불가, 안정기 과열로 인한 주변 전기 배선 피복을 녹여 선간단락, 절연열화로 인한 안정기 층간단락 발생으로 인한 과전류가 유입 등을 들 수 있다.



(a) 보호소자 이상 (b) 불량안정기 사용

## 3. 시험법 설계

### 3.1 메커니즘 분석 및 추정

일반적인 FMEA 분석결과 주요한 발화 및 감전의 원인은 안정기 내부 보호소자(바리스타, 퓨즈)의 열화로 인해 과전류, 과전압 인가시 적절한 차단불가로 인한 발화, 열적 전기

적 과부하로 인한 다이오드 단락 및 단선, 전기적 과부하로 인한 스위칭소자 단락 등으로 발생빈도가 높은 것으로 추정된다. 장인혁 외(2015)는 이러한 위험고장의 원인에 대하여 기존의 FMEA를 <표 2>와 같이 분석하였다.

<그림 1> LED 조명용 안정기 발화 사례

<표 2> LED 램프용 안정기 FMEA 분석

LED 램프 안정기 FMEA											
번호	부품 (Unit)	기능	고장형태		영향	치명도	원인	검지도	RPN	점검방법	조치방법 및 개선
			고장형태	발생 빈도							
1	저항	전압, 전류 제어	균열성장	4	주변 회로 열화 및 손상, 전기적 특성 변화	3	내부 저항체와 전극간 단선 및 내부저항체를 보호하는 오버코팅 불량으로 인한 내부저항체의 전해부식으로 인한 저항값 증대	3	36	Multi Meter 사용	저항 용량 및 크기 변경
			내외부 전극 연결 불량	3				3	27		
			전해부식	3				3	27		
2	바리스타	회로 서지보호	절연파괴	8	서지로 인한 회로 단락	8	열화로 인한 내구성 감소	8	512	비파괴검사 LCR Meter 사용	권고하는 주변 환경에서 사용
3	다이오드	정류작용, 역방향 전류 흐름 방지	단락	8	회로손상 및 주변 회로 열화	8	열적 전기적 과부하 제조 공정상의 의한 현상	5	320	비파괴검사 LCR Meter 사용	제품 설계 마진 확보 부품 단위 검증 철저
			단선	8					320		
			오염	4					160		
			균열	4					160		
4	스위칭 소자	스위치 ON/OFF 제어	단락	5	회로 제어 불가로 인한 주변 회로 열화 및 손상	8	전기적 과부하 본딩불량, 이온오염, 균열, 패키지 밀봉 손상	5	200	육안검사 Multi Meter 비파괴검사	역서지 전류 방지회로 바리스타, 저항 등으로 소자보호
			단선						3		
			오염	3					200		
			균열								
5	전해커패시터	전압 평활, 노이즈 제거 및 공진	단락	5	누설전류 증가, 이상파형 인한 회로 손상 및 발화 위험	4	과전압, 과대 리플전류, 역전압 인가 기계적 스트레스 온도 스트레스나 리플전류에 의한 발열 고온 또는 저온 환경에 노출 리드에 기계적 스트레스 또는 과전압, 역전압 등에 의한 내부 발열 및 내부 압력 상승	5	100	특성 검사 Multi Meter 비파괴검사	과전류 계전기 연결로 과전압, 과도리플로부터의 회로 보호 고용량 소자 사용
			단선						4		
			정전용량감소 및 손실증대	4							
			누설전류의 증대						3		
			전해액 누출	3							

- 발생도 : 고장 발생 가능성을 1~10사이의 값4로 추정
- 치명도 : 고장이 소비자에게 미치는 영향도 1~10사이의 값으로 등급 추정
- 검지도 : 고장모드와 원인메커니즘을 찾아서 시정조치 능력을 평가하여 1~10사이 값으로 추정
- RPN : 발생도×치명도×검지도, 잠재고장모드에 의한 기대위험의 예측치

### 3.2 QFD 1단계

<표 3>은 우선 개선 부분 선정을 위한 QFD 1단계 매트릭스를 나타낸 것이다. QFD 1단계 결과 LED 램프용 안정기의 주 고장부위는 바리스타, 저항, 다이오드가 가장 높게 추정되었고 주요 고장원인은 단락과 균열성장으로 확인되었다.

### 3.3 QFD 2단계

QFD 2단계는 1단계에서 결정된 RPN Score와 각각의 고장 모드별 점수별의 합계를 이용하여 다음 <표 4>와 같이 결정하였다. 그 결과 온도, 습도, 과전압이 주요 고장에 가장 큰 영향을 주는 고장모드로 확인되었다.

<표 3> QFD 1단계(LED 램프용 안정기)

고장부위 고장기구(Failure Mechanisms) 고장원인(Stresses and Performance)	저항			TR, FET 등 스위칭 소자		바리스타	다이오드			전해커패시터			
	균열 성장	내·외부 전극연결 불량	전해부식	단락	단선	단락	단락	단선	균열	단락	단선	누설 전류의 증대	전해액 누출
RPN	36	27	27	200	200	512	320	320	160	100	48	48	24
RPN Scale	0.02	0.01	0.01	0.10	0.10	0.25	0.16	0.16	0.08	0.05	0.02	0.02	0.01
온도	○	◎	◇	◎		◎	○					○	○
과전압				◎	◎	◎	◎	◎		○			
기계적 스트레스										○	○		
과대리플전류 인가												○	
온도변화				○	◎		◎	◎	◇				
습도	○	◇	○										
고온고습	◎	◎				○	◇		◇				
진동	◎	○	○		○								
Score	24	22	7	21	21	21	22	18	2	6	3	6	3
RPN Score	0.43	0.29	0.09	2.08	2.08	5.32	3.48	2.85	0.16	0.30	0.07	0.14	0.04
유효성	4.70%			23.98%		30.71%	37.46%			3.15%			

◎ : 9점, ○ : 3점, ◇ : 1점으로 평가하며 ◎이 9점 인 것은 ◎의 영향도가 다른 영향도에 비해 매우 크다는 것을 나타낸다.

<표 4> QFD 1단계(LED 램프용 안정기)

시험방법(Test Methods)			고온 시험	고온고습 시험	과전류 시험	온도 변화 시험	과전압
고장모드(Failure Modes/Mechanisms)	부품	RPM Score					
저항	균열성장	0.43	○	◎	-	-	-
	내·외부 전극연결 불량	0.29	○	-	-	-	-
	전해부식	0.09	◇	-	-	-	-
TR, FET 등 스위칭 소자	단락	2.08	○	◎	○	◇	○
	단선	2.08	○	◎	○	○	○
바리스타	단락	5.32	◎	◎	-	◇	◎
	단선	3.48	◎	◎	-	-	◎
다이오드	단선	2.85	◎	○	-	-	◎
	균열	0.16	◇	-	-	-	◇
	단락	0.3	-	○	-	-	-
전해커패시터	단선	0.07	-	◇	-	-	-
	누설 전류의 증대	0.14	○	-	-	○	○
	전해액 누출	0.04	○	-	-	-	○
	점수		120.28	130.03	60.36	14.06	118.03
순위		2	1	4	5	3	

◎ : 9점, ○ : 3점, ◇ : 1점으로 평가하며 ◎이 9점 인 것은 ◎의 영향도가 다른 영향도에 비해 매우 크다는 것을 나타낸다.

### 4. 시험 및 결과

2단계 QFD 결과 LED 램프용 안정기의 화재 및 감전의 주요고장 메커니즘은 주로 고온과 고온고습 등의 주변 환경적 요인과 서지 및 과전압 등으로 분류할 수 있었다. QFD에서 분석한 환경적 요인들을 뽑아 아래와 같은 내구성 시험을 설계하였고, 이를 실험을 통해 결과를 분석하였다.

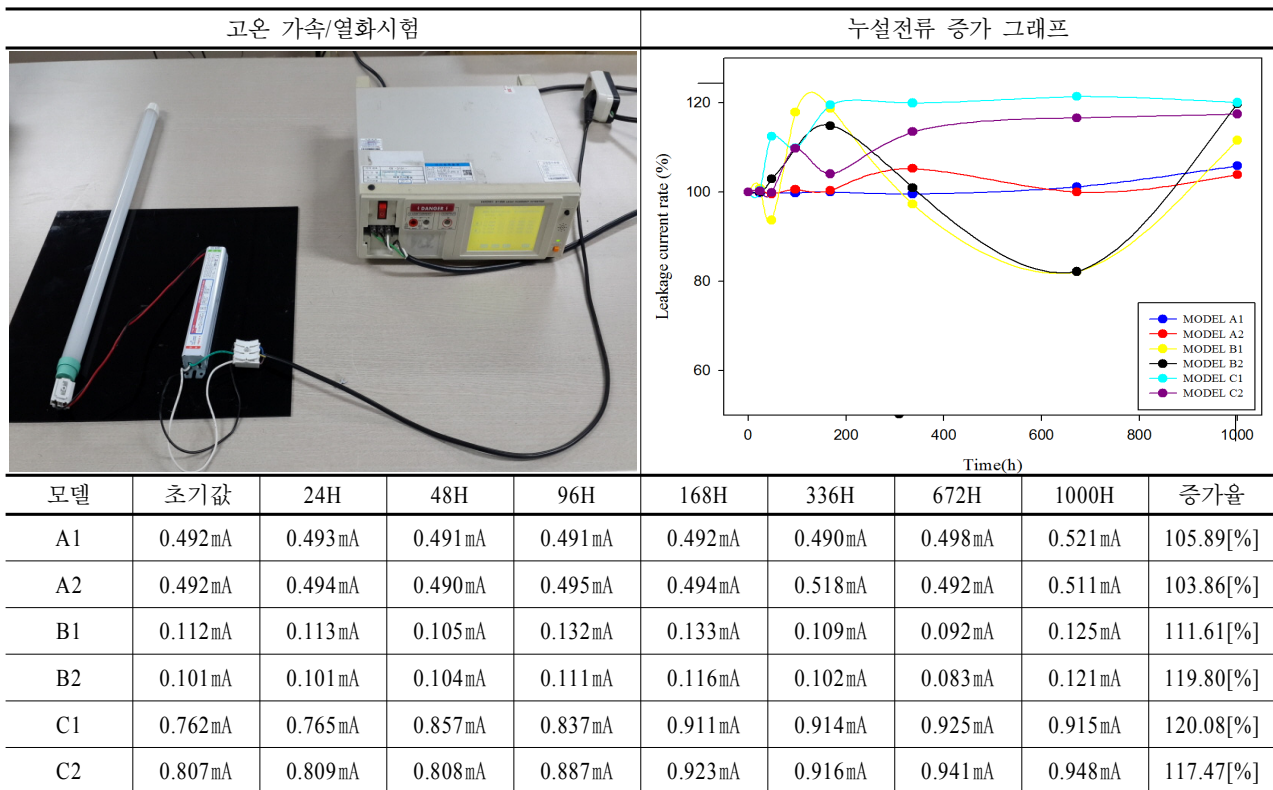
#### 4.1 환경내구성 시험

LED 램프용 안정기의 환경내구성 시험을 위해 대상 A, B, C 세 가지 모델을 각각 2 제품씩 고온시험(100℃), 고온고습 시험(85℃ 85% R.H)의 각각의 방치상태에서 실제 필드의 열화품을 재현할 수 있도록 다음 <표 5>와 같이 실험하였고, 각

<표 5> 환경내구성 시험 방법

시험항목	시험방법	비고
고온방치시험	(1) 온도 : (100 ± 3)℃ (2) 방치상태 (3) 1,000h	완제품
고온고습방치시험	(1) 온습도 : (85 ± 2)℃, (85 ± 5)% R.H (2) 방치상태 (3) 1,000h	완제품

<표 6> LED 램프용 안정기 고온 가속/열화시험 누설전류 측정



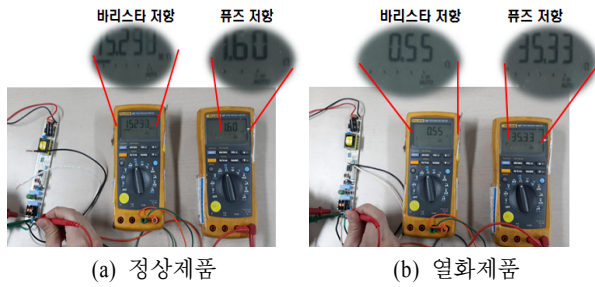
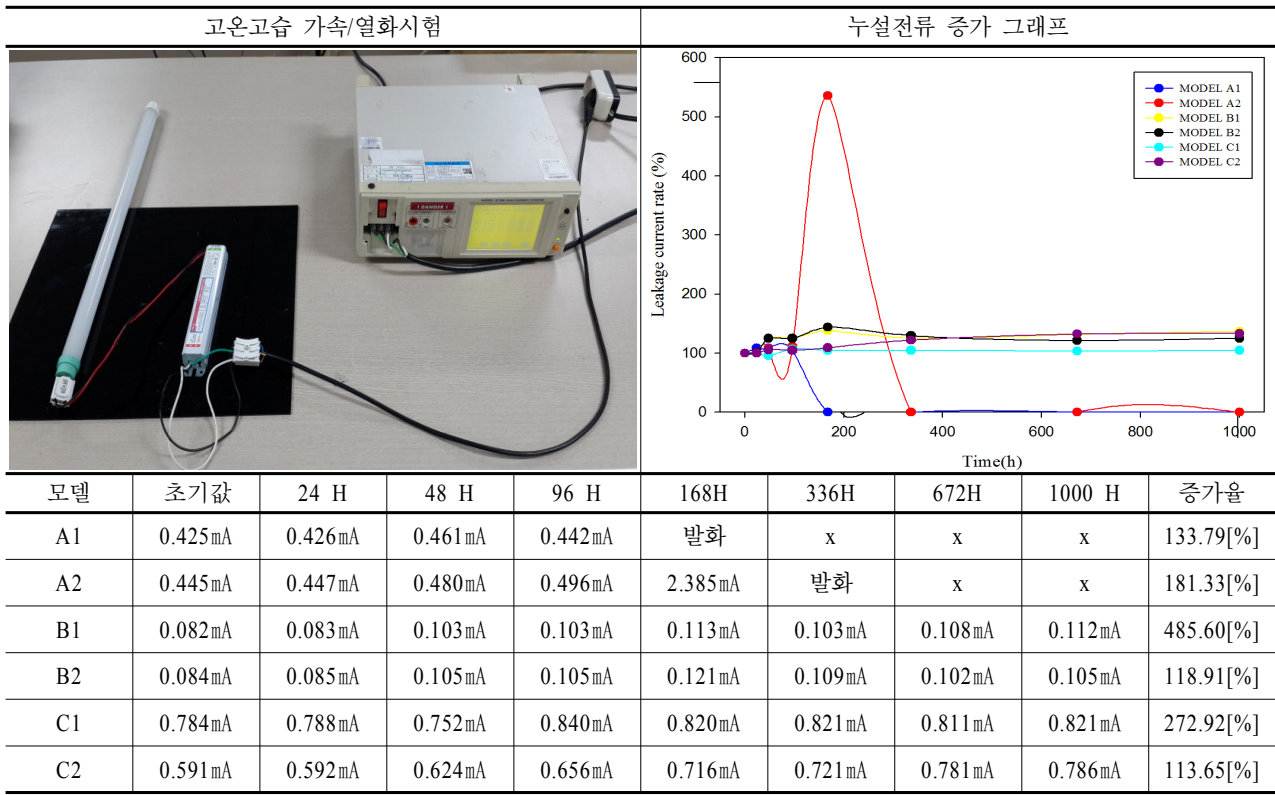
각의 모델별 누설전류를 측정하였다.

#### 4.2 환경내구성 시험 결과

LED 램프용 안정기의 고온방치시험 결과 <표 6>과 같이 안정기의 누설전류가 소폭 증가한 것을 확인하였다. 특이사항으로는 C1, C2의 제품이 초기부터 누설전류가 다른 제품에 비해 급격히 높았으며, 이는 초기대상 안전 기준보다 더 높은 누설전류임을 확인하였다.

LED 램프용 안정기의 고온고습방치시험 결과 <표 7>과 같이 누설전류량이 시험 진행 시간에 비례하여 지속적으로 증가하는 것을 확인하였고, 모델 A1의 경우 168시간, A2의 경우 336시간 만에 제품의 누설전류의 급격히 증가 후 발화되었다.

<표 7> LED 램프용 안정기 고온고습 가속/열화시험 누설전류 측정

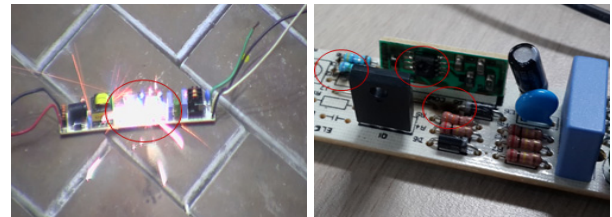


<그림 2> 정상제품 및 열화제품 바리스타 비교

발화한 제품의 내부회로를 살펴본 결과 바리스타의 저항 값이 <그림 2>와 같이  $M\Omega \rightarrow \Omega$  단위로 변하여 실제로 단락상태가 되었지만, 퓨즈는 단락되지 않은 상태였다. 이와 같이 실제 이상 현상(과전류, 과전압 및 서지 침투)발생시 회로를 보호하는 보호소자(바리스타, 퓨즈)의 오동작시 이상 현상을 차단하지 못하고 발화 될 위험이 크다.

실제로 전원을 투입하였을 때 A1의 경우 인입측의 전원단이 발화하였다. 하지만 A2의 경우 특이하게 <그림 3>과 같이 내부 회로의 저항 및 반도체 소자가 발화한 것을 확인하였다.

발화된 안정기의 퓨즈를 살펴본 결과 <그림 4>와 같이 용단되지 않았다. 정상적으로는 내부 회로에 과전류 인입시 퓨즈가 용단되어 전원을 단락시켜야 하지만 특이하게 퓨즈가 용단되지 않아 회로 내에서 발생한 발화를 제대로 차단하지 못하였다.



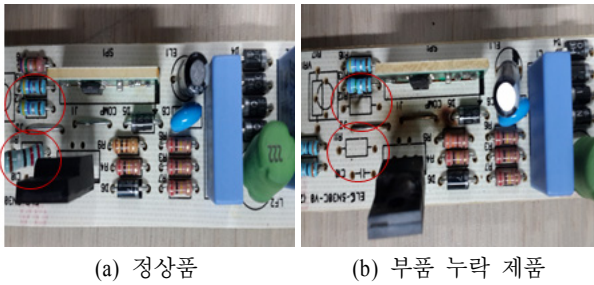
(a) 고온고습 열화품 전원인가 (b) 발화 후 안정기 확인

<그림 3> 고온고습 열화품 전원인가 결과



<그림 4> 발화 된 안정기 퓨즈 확인

A1과 A2의 회로를 확인해 본 결과 A2의 경우 동일회사의 동일한 모델제품이지만 정상품과 비교하여 회로 내 소자가 누락되어 있음을 확인하였다. 단가를 낮추기 위한 목적으로 일부 생산자가 <그림 5>와 같이 저항 및 커패시터 등의 소자를 누락할 경우 회로 내 서로 다른 이상 현상 등이 발생할 수 있음을 확인하였다.



〈그림 5〉 정상품과 부품누락제품 구성소자 비교

4.3 시험법 확정

시험결과를 바탕으로 실제 필드에서 발생할 수 있는 환경 내구성을 고려하여 고온고습 조건을 <표 8>과 같이 시험방법을 확정하였다(고온시험은 큰 변화가 관측되지 않아 제외). 본 논문에서는 수명시험 후 가속수명시험결과를 활용하여 정상사용조건 25℃에서의 수명을 동시에 인증한다. 가속모델은 다음과 같이 Peck 모델을 사용한다.

$$L = a \exp[E_a / (kT)] H^{-n}$$

- 여기서, L : 수명, T는 절대온도(K)
- Ea : 활성화 에너지(eV)
- k : 볼츠만상수  $8.617 \times 10^{-5}$  [eV/K]
- H : 상대습도(% R.H.)
- a 및 n : 상수

가속계수의 산정기준이 되는 활성화 에너지는 KTC(2012)의 선행연구결과 0.54 eV을 사용한다. 본 기준에서 수명시험은 정상동작조건을 위해 정격출력 상태로 220V AC 전압 및 전자부하를 인가한다. 또한, 정상상태의 습도를 60% R.H. 라 할 때 85% R.H.의 가속조건인 경우 Peck 모형에 적용할 경우 가속계수는 다음과 같다.

$$af = \frac{L(23^\circ\text{C} / 60\% \text{ R.H.})}{L(85^\circ\text{C} / 85\% \text{ R.H.})} = 55$$

따라서, 정상사용조건을 23℃, 60% R.H.로 볼 때 정상조건에서 55,000시간은 가속조건 85℃, 85% R.H.에서 1,000시간의 시험시간이 된다. 고온고습시험 후 누설전류 및 점등여부를 확인한다. 단 시험 제품은 안전기준, 성능 및 품질을 만족하는 제품에 한하여 실시한다.

〈표 8〉 LED 램프용 안정기 환경내구성 시험

구분	시험항목	시험방법	비고
환경내구성 시험	고온고습 방치시험	(1) 고온고습 : (85 ± 2)℃, (85 ± 5)% R.H. (2) 시험시간 : 1,000h	- 누설전류 0.75mA 이하 - 점등시 발화되지 않을 것

5. 결론

본 논문에서는 가정 내에서 사용 중 노후화된 LED 램프용 안정기의 발화에 대한 위험 고장모드를 제품 초기에 재현할 수 있는 시험법을 제안하였다. 발화요인 분석을 위해 관련문헌조사 및 국내의 시험규격검토, 제품분석, 필드데이터 분석 등을 참고하여 메커니즘 분석을 수행하였고, 이를 바탕으로 시험법을 설계 및 검증하였다. 환경에 따른 내구성 시험을 위해 A, B, C 세 가지 모델을 방치상태에서 고온시험(100℃)와 고온고습시험(85℃ 85% R.H.)을 1,000시간 수행하였고, 각각의 모델별 누설전류의 변화 및 발화여부 등을 측정하였다. 그 결과 고온시험과 고온고습시험 모두 누설전류량이 증가하였지만, 고온시험의 경우 소폭 증가하였을 뿐 별다른 특이사항은 발견되지 않았다. 하지만 고온고습시험의 경우 시간에 비례하여 지속적으로 누설전류량이 증가하는 것을 확인하였고, 특히 모델 A1의 경우 168시간, A2의 경우 336시간 만에 제품의 누설전류의 급격한 증가 후 발화되었다. 발화한 제품의 내부회로를 살펴본 결과 바리스타의 저항값이  $M\Omega \rightarrow \Omega$  단위로 변화하여 실제로 단락상태가 되었지만, 퓨즈는 단락되지 않은 상태였다. 이와 같이 보호소자 오동작 현상이 실제 필드에서 발생할 경우 과전류, 과전압 및 서지침투 발생시 회로를 차단하지 못하고 발화로 이어지게 된다. 또한 특이사항으로는 초기 제품이 안전기준에서 제한하는 누설전류값 보다 큰 제품들도 있었고, 제품 초반에 비교적 안정적인 동작을 유지하다 제품의 열화에 따라 급격히 누설전류가 증가하는 제품들이 발견되었다. 이러한 제품들은 초기 안전기준은 통과할 수 있지만 열화에 따른 급격한 누설전류의 증가로 감전 사고로 이어질 수 있다. 누락된 제품들은 일반적으로 생산단가를 낮추기 위해 내부 소자(저항, 커패시터)를 누락시킨 제품들로 확인되었으며, 시험을 통해 누락된 소자에 따라 제품별 이상 현상이 다른 것을 확인하였다.

따라서 본 논문에서는 시험 결과를 바탕으로 LED 램프용 안정기의 환경적 열화 요인으로 고온시험의 경우 큰 변화가 없었기 때문에 고온고습항목만을 채택하였다. 제안된 시험방법을 통해 제품의 초기에 발견되지 않는 이상 현상을 설계 및 재현하였고, 이를 통해 초기안전 뿐만 아닌 사용 중 열화로 발생할 수 있는 이상제품들을 구분하여 가정 내에서 발생할 수 있는 화재 및 감전에 대한 사고 위험을 줄일 수 있을 것으로 판단되며, 추후 노이즈 및 전기적 이상 시험 등의 고장 메커니즘을 분석 후 시험법을 설계하여 기업체에서 즉각적인 활용이 가능하도록 보안 예정이다.

## 참고문헌

- [1] 소방방재청 (2014), 2014년 화재발생현황 분석, pp. 1-17.
- [2] 소방방재청 (2013), 2013년 전국 화재발생현황 분석, pp. 1-16.
- [3] 금종룡 · 서용석 · 이준구 · 박재운 (2008), FMEA를 활용한 디지털 신호처리기 보드의 진단 유효범위의 측정신뢰성응용연구, 제8권, 제2호, pp. 101-111.
- [4] 장인혁 · 이영주 · 이창훈 · 임홍우 (2014), 형광등용 안정기의 화재 및 감전에 대한 위험 고장모드 시험 방법제안, 한국화재소방학회 추계학술대회논문집, pp. 169-170.
- [5] 장인혁 · 이창훈 · 이영주 · 임홍우 (2015), 가전제품 화재 메커니즘 재현 및 분석을 위한 인프라 구축, 신뢰성응용연구, 제15권, 제1호, pp. 60-66.
- [6] RS-KTC-2012-003, LED 가로등 및 보안등용 전원공급장치 pp. 6-7.