

무전극형광램프용 전원장치의 평가기준 및 수명에 측

(A Study of assessment criteria and lifetime prediction for power supply of electrodeless fluorescent lamp)

신중욱* · 함중걸

(Jong-Wook Shin · Jung-Keol Ham)

요 약

본 논문에서는 무전극형광램프용 전원장치에 대한 전기용품의 안전기준에 대하여 시험항목 및 적용규격을 제시하였으며, 전기적 및 광학적 특성을 알아보기 위하여 성능측정을 수행하였다. 또한 무전극형광램프용 전원장치의 고 수명에 대한 이론적인 평균고장수명을 알아보기 위하여 MIL-HDBK-217방법에 의한 예측 방법을 이용하여 전원장치의 주위온도, 사용장소 및 설치조건에 따라 각 온도별로 각부품의 고장율을 예측하여 평균고장수명을 예측하였다. 그 결과 무전극형광램프용 전원장치는 온도가 어느 정도가 유지되어야 광 효율이 좋은 반면 전원장치는 온도가 높으면 상대적으로 수명이 급격히 줄어들면서 특성이 열화하는 경향을 가진다

Abstract

This paper gives an assessment criteria and average failure lifetime prediction for power supply of electrodeless fluorescent lamp. The paper present electric appliance safety standard and performance standard for power supply of electrodeless fluorescent lamp. also, It presents the Failure Rate or Mean Time To Failure(MTTF) for power supply of electrodeless fluorescent lamp. We suggest the assessment criteria and improve methods of the reliability on the design basis for the electrodeless fluorescent system.

Key Words : electrodeless fluorescent lamp, power supply

1. 서 론

무전극형광램프는 형광램프에 비해 전극이 없이 전자유도법칙원리를 이용하여 방전하기 때문에 장수명이 유지되고 넓은 동작온도에서도 사용할 수 있다. 현재는 가격적인 문제로 인하여 필립스, GE, 오스람 사등 선진업체들에 의해 개발되어 상용화 되고 있다. 또한 무전극형광램프의 장점인 고연색성과 고효율을 겸비하고 긴수명을 보장할 수 있으며, 적용상 많은 장점을 가지고 있기 때문에 국내에서도 점차 관심을

갖기 시작하였으며, 정부에서도 정책적으로 지원하고 있는 실정이다. 현재 무전극형광램프 및 전원장치의 개발이 거의 마무리 단계에 있으며, 이와 같이 무전극형광램프용 전원장치에 대한 국내 안전기준은 이미 준비되어 시행되고 있으며, 시제품들도 속속 제작되어 출시 중에 있다.[1][7]

그러므로 본 논문에서는 무전극형광램프용 전원장치에 대한 안전인증규격의 구성 및 평가방법에 대해 알아보고, 150W급 환형 무전극형광램프의 전원장치에 대한 전기적특성 및 광학적특성을 평가하고, 부품의 사용정도에 따라 이론적인 수명예측을 통해 이론적인 고장 수명값을 제시하였으며, 실제 각 부품들에 대한 온도분포를 알아봄으로서 실제 60,000시간 이상의 수명을 보장하기 위한 각 부품의 온도값을 추정

* 주저자 : 산업기술시험원 함중걸
Tel : 02-860-1413, Fax : 02-860-1479
E-mail : jkham@ktl.re.kr
접수일자 : 2004년 10월14일

할 수 있도록 하였다.

2. 무전극형광램프의 전원장치의 평가기준

무전극형광램프의 시스템의 구성은 램프, 파워키플러, 전원장치, 등기구순으로 구성된다. 그러나 본 논문의 평가기준은 무전극형광램프용 전원장치에 국한 시켰다. 그 이유는 아직까지 국내에 무전극형광램프와 등기구에 대한 기준은 아직까지 마련되지 못하고 있는 실정이다.

2.1. 시험항목 및 적용규격

무전극형광램프용 전원장치의 시험평가항목 및 적용기준은 표1과 같으며, 세부항목은 표2와 같이 구성되어 있다.

표 1. 무전극형광램프용 전원장치 시험기준
Table 1. Test Standards of Power supply for Electrodeless Fluorescent Lamp.

순번	시험항목	적용규격
1	안전시험	K61347-2-3
2	성능시험	K60929
3	EMI 시험	CSPRI15
4	EMS 시험	K61547

표 2. 무전극형광램프용 전원장치 세부기준
Table 2. Detail Standards of Power supply for Electrodeless Fluorescent Lamp.

안전시험(61347-2-3)	성능시험(K60929)
1) 표시사항	1) 시동특성
2) 충전부에 대한 감전보호	2) 동작조건 (광출력비+소비전력)
3) 단자	3) 입력전류
4) 접지	4) 전류파형
5) 내습성 및 절연저항	5) 내구성 (10항목중 5개항목)
6) 내전압	
7) 고장상태조건	
8) 관련부품의 보호	
9) 이상상태조건	
10) 구조	
11) 공간거리 및 연면거리	
12) 나사, 도전부 및 접속부	
13) 내연성, 내화성 및 내드레킹	
14) 내부식성	

표 3. 전자파 장애 시험기준

Table 3. EMC Standards of Power supply for Electrodeless Fluorescent Lamp.

EMI 시험	EMS 시험
연속성 잡음 단자전압	VI : 전압강하, 순시정전 및 전압변동
	ESD : 정전기 방전
자기장 유도전류시험	EFT : 전기적빠른과도현상
	CS : 고주파 전자기계전로방해
	SG : 서어지시험
	RS : 복사 전자계

즉 국내 전기용품 안전기준은 표1과 같이 4분류의 시험항목으로 구성되며, 세부항목은 표2와 같이 안전기준 14개 항목과, 성능기준 5개항목 및 전자파장애 2종류와 전자파내성의 6개 항목으로 구성되어 총 27개의 시험항목으로 구성되어 있다.

시험항목에서 보는 것과 같이 사용자의 안전에 직접적으로 영향을 미치는 사항과 전원장치의 전기적 특성 및 전자파 부분 등이 주요 시험항목으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

2.2. 중요성능측정 평가

무전극형광램프 전원장치의 성능항목을 평가하기 위하여 시험항목의 표 2을 참조해서 무전극형광램프용 전원장치의 전기적 및 광학적 특성에 대한 평가를 수행하였다.

평가는 국내에서 개발된 150W급 환형 무전극형광램프를 공통으로 사용하고 개발품의 전원장치와 국외A사의 150W 전원장치 비교, 및 A사 150W급 환형 무전극형광램프를 공통으로 사용하고 개발된 전원장치와 A사의 전원장치를 비교 평가 하였다.

2.2.1. 무전극형광램프용 전원장치의 성능 평가

무전극형광램프용 전원장치의 성능평가를 위하여 Power Analyzer(PM3300), 및 2m 적분구(LIS2000)을 사용하여 측정하였으며, 성능평가결과는 무전극형광램프의 경우 국내 개발된 전원장치나 A사의 전원장치에도 별 무리없이 결합되는 것을 확인할 수 있었으며, 전원장치 또한 국내 개발품과 A사의 상용품을 비교해 볼때 전혀 전기적특성이나 광학적특성은 거의 유사한 형태를 나타내고 있으나, 전류 고조파 함유율에서 국내개발품이 14%로 A사의 4%보다 많이 나오는 것을 볼 수 있었다.

표 4. 개발된 전원장치의 시험결과 150W(1).
Table4. Test Results of Developed power supply for Endura Lamp(150W)

시료	입력 전류	입력 전력	역율	THD	램프 전류	램프 전압	CF	광속 (lm)	광효율 (lm/w)
1	0.784	170.3	0.985	15.5	0.807	213.0	1.42	10640	62
2	0.833	181.6	0.987	14.0	0.810	220.8	1.42	11624	64
3	0.782	170.8	0.987	15.3	0.814	201.1	1.48	10340	61
4	0.804	175.3	0.988	13.1	0.802	209.3	1.47	11070	63
5	0.797	174.1	0.989	12.9	0.800	204.8	1.49	11080	64
A사	0.808	175.3	0.986	4.8	0.804	205.3	1.42	11100	63

(시제품램프 + 개발품 및 A사 전원장치 사용)

표 5. 개발된 전원장치의 시험결과 150W(2).
Table5. Test Results of Developed power supply for Endura Lamp 150W

시료	입력 전류	입력 전력	역율	THD	램프 전류	램프 전압	CF	광속 (lm)	광효율 (lm/w)
1	0.723	157.5	0.984	15.4	0.799	182.2	1.45	10500	67
2	0.725	157.7	0.983	16.0	0.800	186.4	1.47	10530	67
3	0.726	158.4	0.985	15.0	0.805	187.8	1.45	10560	67
4	0.724	157.5	0.984	15.6	0.798	181.1	1.48	10480	67
5	0.725	158.5	0.985	15.2	0.799	183.4	1.40	10470	66
A사	0.704	158.0	0.985	4.2	0.801	186.2	1.43	10650	67

(A사램프 + 개발품 및 A사 전원장치 사용)

상기 시험결과 개발품 및 A사의 제품의 경우 광효율은 거의 64~67 lm/w로 A사의 제품과 비교해 볼때 성능은 거의 대등한 결과로 나타났다.

3. 무전극형광램프용 전원장치의 평균고장수명 평가

평균수명은 아이템의 고장시간의 평균값으로 수리가 불가능한 아이템의 경우 MTTF(Mean Time To

Failure), 수리가 가능한 아이템의 경우 MTBT(Mean Time Between Failure)라고 부르며, MTTF 또는 MTBF는 모두 고장밀도함수의 기댓값 $E(T)$ 으로 다음과 같이 정의된다.

$$E(T) = \int_0^{\infty} f(x)dx$$

$f(x)$: 수리불가능 아이템의 고장시간 또는 수리 가능한 아이템의 고장간격시간의 고장밀도 함수이다.

본 논문에서는 사용한 MIL-HDBK-217F에 대한 방법은 미국 국방성(Department of Defense)에서 1965년 제정되어 1995년 F버전으로 최근 발간된 것이다. 이 규격은 전기전자부품의 신뢰성평가척도와 계산방식을 보유하고 있으며, 근래의 모든 최신전자기술에 대한 신뢰성평가 방법은 수록하고 있지 않지만 세계적으로 가장 광범위하게 활용되는 규격서이다. 즉 고장률 및 평균고장수명의 평가방법에는 1) Parts Count Method, 2) Parts Stress Method 및 3) 가속수명시험방법의 3가지 방법에 의해 예측될 수 있다.[5] 그러나 본 논문에서는 초기단계의 예측방법으로 첫번째 방법인 Parts Count Method 방법을 사용한 고장률 예측방법을 이용했다. 이 방법은 시스템 설계초기에 필요한 개략적인 예측방법으로 구성(Assembly)에 포함된 부품들의 실제 동작 파라미터에 대한 정확한 값을 추정하기 힘든 경우 활용하는 방법으로 최소의 파라미터만으로도 초기의 신뢰도를 예측할 수 있기 때문 MIL-HDBK-217F의 규격에서 제시하고 있는 상업용 소프트웨어 데이터베이스를 이용해서 평균고장수명을 예측하였다.

예측대상으로는 국내 개발된 150W급 환형 무전극형광램프용 전원장치를 기존의 제품 및 개발 예정 제품에 대한 부품을 고려해서 고장수명을 예측하였다.[4][6]

3.1. 개발된 무전극형광램프용 전원장치의 평균고장수명 예측

개발된 무전극형광등용 전원장치에 대한 평균고장수명을 예측하기 위해 MIL-HDBK-217F에 의한 Parts Count Method를 사용해서 각각의 부품을 주

위온도별 고장률을 계산하고 그것에 의한 평균고장수명(MTTF)을 구하였다.

전원장치의 주위온도는 사용장소 및 설치조건에 따라 많은 차이가 있으며, 그에 따른 수명이 결정된다. 그러므로, 고장률의 예측은 먼저 전원장치의 주위온도 변화를 30℃에서부터 10℃씩 증가를 시켜 120℃까지 분석하여 고장률을 제시함으로써 설계시 적정한 값을 고려할 수 있도록 하였다. 여기서 주위온도 변화의 설정은 실제 제품의 각 부품에 대한 상승온도를 측정된 결과 가장 많이 상승하는 부품에 대한 온도가 120℃이기 때문에 상한값을 120℃로 설정하였다.

표 6. 환형 전원장치의 평균고장수명(150W)
Table 6. MTTF of Developed Power supply for Endura Lamp.(150W)

항 목				고 장 률 (고장/10 ⁶ 시간)				
번호	부품명	개수	기호	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
1	알루미늄 전해콘덴서	4	C	0.050306	0.077201	0.115373	0.168308	0.240184
2	마일러 콘덴서	6	C	0.030541	0.036694	0.043589	0.051246	0.059683
3	세라믹 콘덴서	4	C	0.068418	0.104996	0.156911	0.228905	0.326659
4	탄탈콘덴서	6	C	0.129573	0.155678	0.184930	0.217417	0.253210
5	DIAC	1	DIA	0.020850	0.028883	0.039213	0.052268	0.068511
6	브리지 다이오드	1	D	0.274338	0.380042	0.515956	0.687732	0.901464
7	다이오드1	1	D	0.068585	0.095011	0.128989	0.171933	0.225366
8	다이오드2	1	D	0.010531	0.014579	0.019781	0.026353	0.034526
9	다이오드3	13	D	0.135523	0.187741	0.254882	0.339740	0.445323
10	다이오드4	4	D	0.048949	0.059965	0.072542	0.086760	0.102686
11	다이오드5	1	D	0.068585	0.095011	0.128989	0.171933	0.225366
12	다이오드6	6	D	0.062549	0.086650	0.117638	0.156803	0.205534
13	FET	3	Q	0.154190	0.188890	0.228508	0.273293	0.323461
14	TR	8	Q	0.004203	0.005253	0.006475	0.007881	0.009483
15	SCR	1	Q	0.007125	0.009820	0.013270	0.017611	0.022994
16	NTC	1	RT	0.014499	0.014499	0.014499	0.014499	0.014499
17	Varistor	1	RV	0.039513	0.050469	0.063493	0.078785	0.096537
18	Resister	32	R	1.170570	1.290955	1.415118	1.542691	1.673321
19	Trans	3	T	0.212503	0.243120	0.275841	0.310600	0.347328
20	Inductor	1	T	0.063800	0.063800	0.063800	0.063800	0.063800
21	IC	1	U	0.084766	0.163527	0.315259	0.596021	1.096757
고 장 률				2.719918	3.352783	4.175055	5.264578	6.736692
MTTF(시간)				367.658	298.260	239.518	189.949	148.441

항 목				고 장 률 (고장/10 ⁶ 시간)				
번호	부품명	개수	기호	80℃	90℃	100℃	110℃	120℃
1	알루미늄 전해콘덴서	4	C	0.335918	0.461207	0.622553	0.827284	1.083548
2	마일러 콘덴서	6	C	0.068911	0.078938	0.089768	0.101400	0.113832
3	세라믹 콘덴서	4	C	0.456860	0.627257	0.846694	1.125134	1.473662
4	탄탈콘덴서	6	C	0.292361	0.334902	0.380848	0.430201	0.482944
5	DIAC	1	DIA	0.088437	0.112562	0.141429	0.175592	0.215620
6	브리지 다이오드	1	D	1.163639	1.481085	1.860905	2.310422	2.837111
7	다이오드1	1	D	0.290910	0.370271	0.465226	0.577605	0.709278
8	다이오드2	1	D	0.044548	0.056678	0.071187	0.088352	0.108459
9	다이오드3	13	D	0.574838	0.731656	0.919287	1.141348	1.401533
10	다이오드4	4	D	0.120381	0.139895	0.161267	0.184530	0.209705
11	다이오드5	1	D	0.290910	0.370271	0.465226	0.577605	0.709278
12	다이오드6	6	D	0.265310	0.337687	0.424286	0.526776	0.646861
13	FET	3	Q	0.379201	0.440669	0.507992	0.581269	0.660571
14	TR	8	Q	0.011293	0.013318	0.015569	0.018052	0.020773
15	SCR	1	Q	0.029573	0.037514	0.046987	0.058169	0.071237
16	NTC	1	RT	0.014499	0.014499	0.014499	0.014499	0.014499
17	Varistor	1	RV	0.116935	0.140155	0.166362	0.195710	0.228339
18	Resister	32	R	1.806674	1.942430	2.080290	2.219971	2.361209
19	Trans	3	T	0.385947	0.426377	0.468532	0.512326	0.557672
20	Inductor	1	T	0.063800	0.063800	0.063800	0.063800	0.063800
21	IC	1	U	1.960202	3.403712	5.749237	9.461681	15.19687
고 장 률				8.761145	11.58488	15.56194	21.19173	29.16680
MTTF(시간)				114.140	86.319	64.259	46.188	34.286

3.2. 고장률과 평균고장수명의 평가척도

일반적으로 전자부품에 대한 고장률(λ)는 평균 고장수명(MTTF)의 역수로 다음 식 1. 과 같이 나타낸다.

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \dots\dots\dots(1)$$

그러므로,

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2)$$

로 표현된다.

여기서 평균고장수명(MTTF)에 대한 제 p 백분위수(t p)의 관계식은 다음과 같다.

$$MTTF = - t_p / \ln(1-p) \dots(3)$$

그러므로, 제 p 백분위수에 대한 고장수명 t_p 는 다음식에 의해서 구해질 수 있다.

$$t_p = - \ln(1-p) \times MTTF \dots(4)$$

여기서 p는 고장 백분위수를 나타낸다.

일반적으로 MTTF는 63%가 고장날 확률을 의미한다. 무전극형광등에서는 일반적으로 제품이 10%가 고장날 확률을 선정해서 고장수명을 예측하고 있다.

그러므로

$$t_p = 0.1053 \times MTTF \text{ 로 나타낼 수 있다.}$$

따라서 10% 고장에 대한 고장수명을 예측해 보면 다음 표 7과 같이 나타남을 알 수 있으며, 고장수명이 무전극형광등의 요구되는 고장수명보다 매우적음을 알 수 있었다.[6]

표 7. 환형 전원장치의 10% 고장수명(150W)

Table7. 10% Failure Time of Developed Power supply for Endura Lamp.(150W)

항 목	고 장 륜 (고장/10 ⁻⁶ 시간)				
	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
10%고장수명	38,714	31,407	25,221	20,001	15,631

항 목	고 장 륜 (고장/10 ⁻⁶ 시간)				
	80℃	90℃	100℃	110℃	120℃
10%고장수명	12,019	9,089	6,766	4,864	3,610

3.2. 전원장치의 각부품별 온도 변화에 따른 평균고장수명과 10%의 고장수명

주위온도별에 따라 평균고장수명을 구하였으며 실제 시제품을 정격입력전압을 가하여 각각의 부품에 따라서 상승온도를 알아냄으로서 각 부품에 가해지는 실제 온도에 따라 평균고장수명(MTTF)과 10% 고장수명을 계산한 결과 다음과 같다.

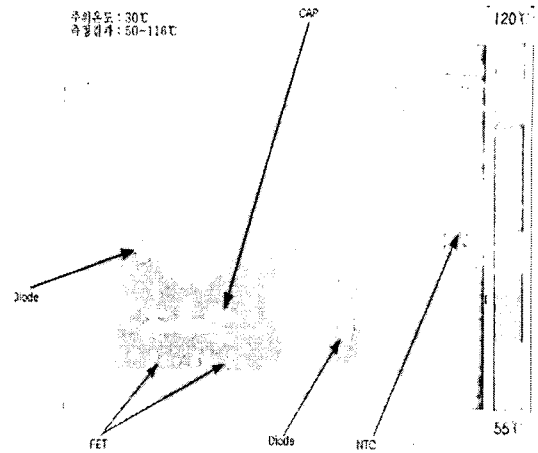


그림 1. 환형 전원장치의 각부품별 온도분포

Fig. 1. Temperature distribution of Developed Power supply for Endura Lamp.(150W)

그림1은 전원장치의 각부위별 개략적인 온도분포를 나타낸것이며, 실제 각부위를 온도기록계 및 적외선온도계로 측정된 결과 각 부품별 온도분포는 주위온도 30℃를 기준으로 했을때 56℃~116℃의 온도분포를 나타냈다.

각 부품의 실제 온도를 토대로 하여 평균고장수명 및 10%의 고장수명을 예측해보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 즉 현재 개발된 시제품의 경우 온도에 대한 스트레스는 주위온도 80℃에 해당되는 수명을 갖는다는 것을 알 수 있다.

고장율	8.472209 (고장/10 ⁻⁶ 시간)
MTTF	118,033 시간
10%고장수명	12,429 시간

4. 결 론

무전극형광램프용 전원장치는 무전극형광램프, 전원장치 및 등기구가 일체화된 시스템으로 장수명 고 효율화를 위해서는 시스템적으로 연동해서 분석할 필요가 있다. 즉, 무전극형광등은 온도가 어느 정도 유지되어야 광효율이 좋은 반면에, 전원장치는 온도가 높으면 상대적으로 수명이 급격하게 줄어들면서 특성이 열화하는 경향을 가지고 있어 전체적으로 효율 및 수명이 짧아지는 특성을 가진다.

본 논문에서는 무전극형광램프용 전원장치에 대한

시험평가항목 및 적용규격을 제시함으로써 무전극형 광램프를 개발하는 업체가 개발단계에서부터 좀더 현실에 맞게 개발할 수 있도록 참고가 되고자 하였으며와 시제품에 대한 평균고장수명 및 10%의 고장수명을 제시하였으며, 실제 부품에 대한 온도를 참고하여 평균고장수명을 예측함으로써 실제제품의 수명을 예측시 무전극형광램프의 수명 즉 60000시간에 적정하게 전원장치를 개발하는데 도움이 되고자 하였다.

그러나 본 논문의 고장을 예측은 순전히 부품고유의 고장유형에 기초를 둔 것으로서 제품의 실제 MTTF와 동일시하는 것은 위험한 발상일 수 있으며, 실제 제품을 제조할 때에는 환경조건과 사용 시 규격서에서 제시하지 않은 환경이 우발적으로 발생할 경우가 있기 때문에 이러한 메커니즘의 고려가 필요하며, 이를 보완하기 위해서 예측하고자하는 시스템의 신뢰성 테스트결과를 본 논문의 데이터와 복합해서 사용하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다.

본 논문에 이어 보다 신뢰성이 향상된 시스템을 개발하기 위해서는 다음과 같은 지속적인 연구수행이 요구된다.

- 1) 개발된 제품에 대해 실제 부품에 가해지는 스트레스(온도, 전압, 전류 및 습도 등)의 정확한 산출에 의한 Part stress method방법을 이용한 수명예측을 고려한다.
- 2) 향후에 개발된 제품에 대한 실제 가속수명시험조건을 확인하기 위한 가속수명시험방법 및 가속수명 모델 개발에 대한 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] Wharmby, D. O. ; "Electrodeless lamps for lighting ; a review", IEE Proceedings 140A, pp. 465 ~ 473. 1993
- [2] Paul Kales, ; "Reliability for technology, engineering and management", Prentice Hall. 1998
- [3] Osram Endura, Product information
- [4] MIL-HDBK-217F, 1990
- [5] 함중걸 외 "고효율 무전극형광등 시스템", 한국조명 · 전기설비학회지, Vol. 17, No.1 pp.2 ~ 8, 2003
- [6] 함중걸 "고효율 무전극형광등용 전원장치의 평가기준 및 신뢰성향상 연구", 한국조명 · 전기설비학회지, Vol. 17, No.2, pp.34 ~ 40, March 2003
- [7] 한수빈, 함중걸 "무전극 형광램프의 기술동향", 한국조명 · 전기설비학회지, Vol. 18, No.1 pp.24 ~ 28, 2004