

고효율 무전극형광등용 전원장치의 평가기준 및 신뢰성향상 연구

(A Study of assessment criteria and reliability improvement for power supply of electrodeless fluorescent lamp)

함중걸* · 신종욱

(Jung - Keol Ham · Jong - Wook Shin)

요 약

본 논문에서는 무전극형광등용 전원장치에 대한 전기적 및 광학적특성을 알아보기 위하여 성능측정을 수행하였으며, 무전극 형광램프의 고 수명에 대한 전원장치의 이론적인 평균고장수명을 알아보기 위하여 MIL-HDBK-217 방법에 의한 예측방법을 이용하여 전원장치의 주위온도, 사용장소 및 설치조건에 따라 각 온도별로 각부품의 고장율을 예측하여 평균고장수명을 예측하였다. 그 결과 무전극형광등은 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 reliability improvement for high frequency power supply of high efficacy electrodeless fluorescent lamp. The electrodeless fluorescent lamp system consist of electrodeless fluorescent lamp, high frequency power supply and lighting fixtures. The high frequency power supply has a shortest life at the system. Therefore It is need to assess the Failure Rate or Mean Time To Failure(MTTF) for the high frequency power supply of electrodeless fluorescent lamp system and improve the reliability at design. 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, electrodeless fluorescent system

1. 서 론

고효율 무전극형광등의 개발은 필립스사의 QL

lamp 55[W](1992년)을 시작으로 GE사의 Genura lamp 23[W](1993년) 및 오스람사의 Endura lamp 65[W](1993년) 등 선진업체 들에 의해 개발되어 점차 150[W], 165[W] 급 등의 대출력화가 이루어지고 있다[1]. 이러한 추세에 맞추어 국내에서도 무전극형광등에 대한 기술개발의 필요성이 증대되고 있다.

또한, 고효율 및 장수명의 장점을 활용한 무전극

* 주저자 : 산업기술시험원
Tel : 02-860-1413, Fax : 02-860-1411
E-mail : jkham@ktl.re.kr
접수일자 : 2003년 1월28일
1차심사 : 2003년 2월13일
심사완료 : 2003년 3월12일

형광등시스템의 채용이 증가함에 따라 많은 소비자들의 관심을 끌고 있다. 이러한 제품에 대해 국내에서는 평가를 위한 기준이 마련되지 않고 있지만 외국에서는 CE 인증등 IEC규격 등에 의한 안전인증시험항목에 대해서 시험인증을 수행해 오고 있다. 그러나 장수명의 무전극형광등시스템은 60,000시간 이상의 수명을 보증하기 위해서는 고장수명시험을 포함한 신뢰성 평가가 요구된다. 본 논문에서는 이 시스템 중에서 수명이 가장 짧을 것으로 예상되는 전원장치에 대한 신뢰성평가를 수행하였다. 전원장치에 사용되는 많은 전자부품의 소자들은 상대적으로 높은 고장률 및 짧은 고장수명을 가지고 있어 고효율 무전극형광등시스템의 수명을 장수명화하기 위해서는 부품단위의 고장수명 고려 및 설계시에 장수명을 유지할 수 있는 부품의 선정으로 무전극형광등과 동일한 수준의 수명을 가지는 전원장치의 고장수명을 유지할 수 있는 신뢰성평가가 요구된다[2].

2. 고효율 무전극형광등의 특성 및 평가기준

고효율 무전극형광등시스템의 구성은 크게 유도 결합방전등(Inductive Coupled Discharge Lamp) 시스템과 용량결합방전등(Capacitive Coupled Discharge Lamp) 시스템의 2가지로 구별된다. 또한, 구조적인 특성에 의한 제조업체별 주파수 동작특성으로는 전구형의 Genura lamp는 2.5[MHz], QL lamp는 2.65[MHz], 환형의 Endura lamp는 250[kHz]로 동작을 한다. 여기서는 전구형램프와 환형램프에 대한 동작특성, 평가결과 및 시험기준 등에 대한 특성을 분석해서 평가기준을 정한다[3][4].

2.1 시험항목 및 적용규격

무전극형광등 시스템에 대한 기존의 상품화된 선진제품의 주요시험평가 항목 및 적용규격은 다음 표 1 과 같이 나타난다.

조명 · 전기설비학회논문지 제17권 제2호, 2003년 3월

표 1. 무전극형광등의 시험기준
Table 1. Test Standards of Electrodeless Fluorescent Lamp

순번	시험항목	적용규격
1	안전시험	EN60928
2	성능	EN60929
3	고조파특성	EN61000-3-2
4	E M I 시험	EN55015, 55022
5	E M C 시험	EN61547
6	진동 & 충격	IEC68-2-29FC, EB
7	방수구조	IP2

2.2 중요성능측정 평가

고효율무전극형광등의 시험항목으로 표 1을 참조해서 무전극형광램프의 전기적 및 광학적 특성을 평가하기위해 다음과 같이 광속, 효율 등의 성능(표 2 및 표 3) 및 전자파시험(그림 1~그림 6) 등에 대해 시험평가를 수행하였다.

2.2.1 무전극형광등용 안정기 특성결과

무전극램프의 안정기 특성을 평가하기 위하여 Power Analyzer(PM3300) 및 2[m] 적분구(LIS2000)을 사용하여 측정하였으며, 광효율은 전구형이 환형보다 3[m/W]정도 높게 나타났으며, THD는 안정기 특성상 환형안정기가 5%정도로 낮게 나타난 것을 알 수 있다.

표 2. 전구형무전극형광등 시험결과
Table 2. Test Results of QL Type Lamp

시험항목	전구형 램프1(85W)		전구형 램프2(85W)	
	Ballast1	Ballast2	Ballast1	Ballast2
입력전류(mA)	355.9	330.7	346.1	329.1
입력전력(W)	77.34	71.70	75.29	71.36
광속(lm)	5920	5510	5960	5654
THD(%)	9.54	10.67	9.52	11.05
역률	0.987	0.988	0.987	0.984
효율(lm/W)	76.55	76.85	79.16	79.23

표 3. 환형무전극형광등 시험결과
Table 3. Test Results of Endura Type Lamp

시험항목	환형 램프(100W)		환형 램프(150W)	
	Ballast1	Ballast2	Ballast1	Ballast2
입력전류(mA)	440.2	448.5	680.4	701.7
입력전력(W)	93.43	95.44	147.00	151.67
광속(lm)	6887	7024	11168	11090
THD(%)	4.17	4.17	4.46	4.31
역률	0.965	0.966	0.982	0.982
효율(lm/W)	73.71	73.60	75.97	73.12

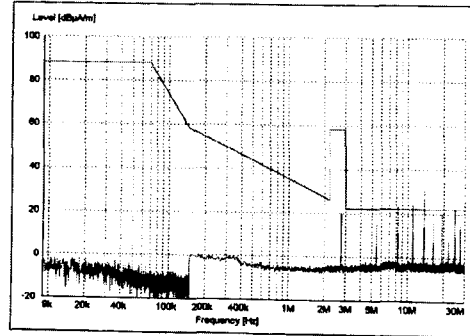


그림 3. 자기장유도전류(Live side)
Fig. 3. Magnetic induced current

2.2.2 85[W]전구형 무전극형광등용 안정기 전자파시험

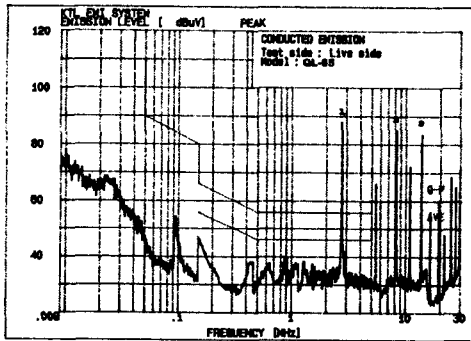


그림 1. 전도성방사잡음(Live side)
Fig. 1. Conduced emission noise

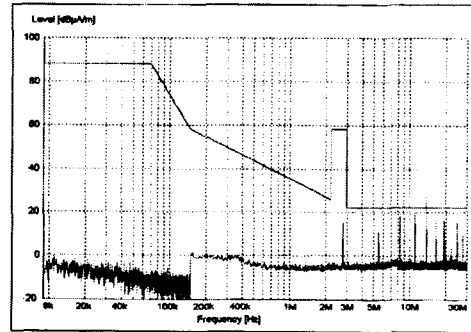


그림 4. 자기장유도전류(Neutral side)
Fig. 4. Magnetic induced current

2.2.3 100[W] 환형 무전극형광등용안정기 전자파시험

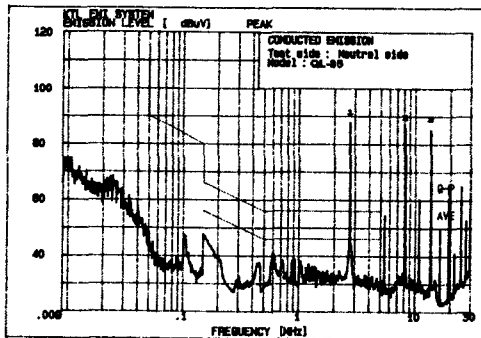


그림 2. 전도성방사잡음(Neutral side)
Fig. 2. Conduced emission noise

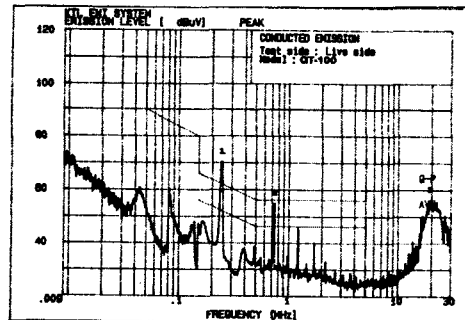


그림 5. 전도성방사잡음(Neutral side)
Fig. 5. Conduced emission noise

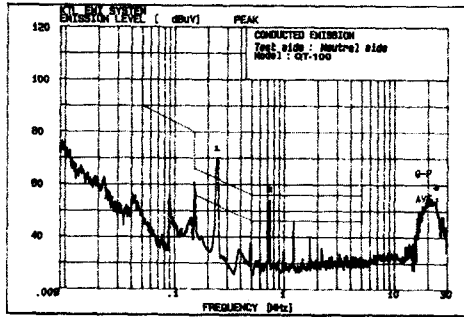


그림 6. 전도성방사잡음(Neutral side)
Fig. 6. Conducted emission noise

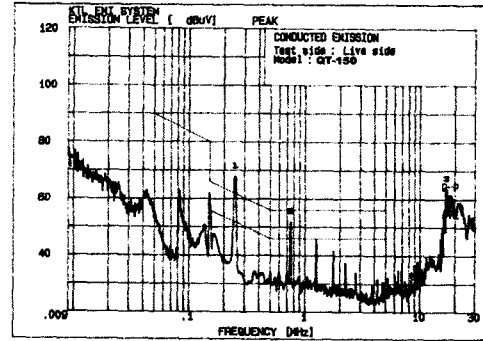


그림 9. 전도성방사잡음(Neutral side)
Fig. 9. Conducted emission noise

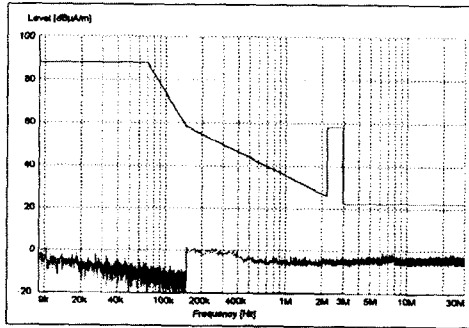


그림 7. 자기장유도전류(Live side)
Fig. 7. Magnetic induced current

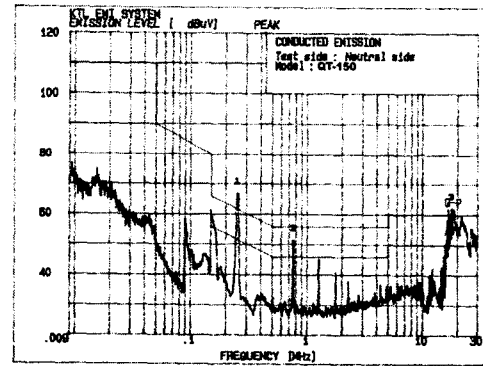


그림 10. 전도성방사잡음(Neutral side)
Fig. 10. Conducted emission noise

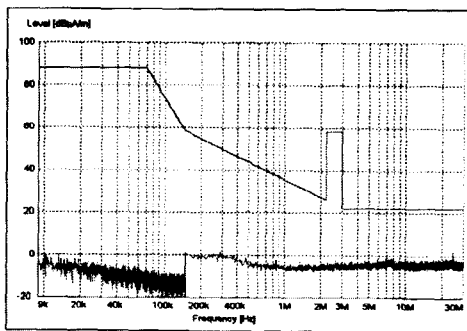


그림 8. 자기장유도전류(Neutral side)
Fig. 8. Magnetic induced current

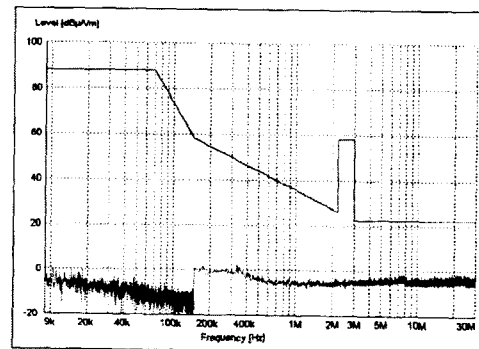


그림 11. 자기장유도전류(Live side)
Fig. 11. Magnetic induced current

2.2.4 150[W] 환형 무전극형광등용안정기 전자파시험

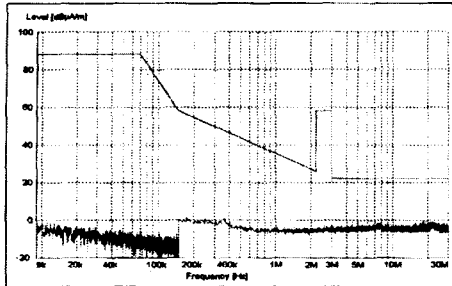


그림 12. 자기장유도전류(Neutral side)
Fig. 12. Magnetic induced current

상기 시험결과 전구형의 광효율은 76~79 [lm/W] 이고 환형의 경우는 이보다 다소 낮은 73~76 [lm/W]를 나타내고 있으며 전기적 성능은 대체로 양호하게 나타나고 있음을 알게 되었으나, 전자파시험 중에서는 전도성방사잡음의 일부 주파수범위에서 기준을 벗어남을 알 수 있었다.

3. 고효율 무전극형광등용 전원장치의 평균고장수명 평가

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 MIL-HDBK-217 방법에 의한 예측방법으로 상업용 소프트웨어 데이터베이스를 이용해서 평균고장수명을 예측하였다.

예측대상으로는 전구형과 환형에 대한 기존의 제품 및 개발 예정 제품에 대한 부품을 고려해서 고장수명을 예측하였다.

3.1 전원장치의 평균고장수명 예측

무전극형광등용 전원장치에 대한 평균고장수명을 예측하기 위해 전구형 및 환형에 대한 MIL-HDBK-217F에 의한 Parts Count Method를 사용해서 각각의 고장률을 계산하고 그것에 의한 평균고장수명(MTTF)을 구하였다.

전원장치의 주위온도는 사용장소 및 설치조건에 따라 많은 차이가 있으며, 그에따른 수명이 결정된다. 그러므로, 고장률의 예측은 먼저 전원장치의 주위온도 변화(30℃, 40℃, 50℃, 60℃, 70℃)에 따른 각부품의 고장률을 예측하여 설계시 적정한 고려를 할 수 있다.

3.1.1 전구형 무전극형광등 전원장치의 평균고장수명(MTTF) 예측

표 4. 전구형 전원장치의 평균고장수명(85W)
Table 4. MTTF of Power supply for QL Lamp

번호	부품명	개수	기호	고 장 률 (고장/10 ⁶ 시간)				
				30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
1	알루미늄 전해콘덴서	4	C	0.05030	0.07720	0.11537	0.16830	0.24018
2	필름콘덴서	17	C	0.11927	0.14330	0.17023	0.20013	0.23308
3	마이커패시터	1	C	0.00574	0.00880	0.01316	0.01920	0.02740
4	칩콘덴서	1	C	0.00135	0.00162	0.00193	0.00227	0.00264
5	다이오드	12	D	0.12509	0.17329	0.23527	0.31360	0.41106
6	트랜스포머	1	T	0.07063	0.08104	0.09194	0.10353	0.11577
7	코일	3	L	0.00029	0.00033	0.00037	0.00042	0.00047
8	저항	9	R	0.32922	0.36308	0.39800	0.43388	0.47062
9	레귤레이터	3	Q	0.11817	0.17353	0.22643	0.50172	0.90320
10	하이브리드 IC	2	SUB	0.07878	0.11569	0.19028	0.33448	0.60213
11	서미스터	2	TH	0.02899	0.02899	0.02899	0.02899	0.02899
12	아연산화バリ스터	1	ZNR	0.01449	0.01449	0.01449	0.01449	0.01449
13	퓨즈	1	FUSE	0.01000	0.01000	0.01000	0.01000	0.01000
고 장 률				0.95257	1.19142	1.55552	2.13108	3.06009
MTTF(시간)				1,049,78	839,334	642,871	469,245	326,786

표 5. 환형 전원장치의 평균고장수명(100W-A)
Table 5. MTTF of Power supply for Endura Lamp

번호	부품명	개수	기호	고 장 률 (고장/10 ⁶ 시간)				
				30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
1	알루미늄 전해콘덴서	4	C	0.05030	0.07720	0.11537	0.16830	0.24018
2	필름콘덴서	24	C	0.16838	0.20231	0.24032	0.28254	0.32906
3	세라믹콘덴서	9	C	0.15394	0.23624	0.35304	0.51503	0.73498
4	다이오드	18	D	0.18764	0.25994	0.35291	0.47040	0.61660
5	트랜지스터	5	TR	0.00262	0.00328	0.00404	0.00492	0.00592
7	크리스탈 발진기	3	X	0.20139	0.20139	0.20139	0.20139	0.20139
7	트랜스포머	3	T	0.21250	0.24312	0.27584	0.31060	0.34732
8	코일	2	L	0.00019	0.00022	0.00025	0.00028	0.00031
9	저항	31	R	0.13398	1.25061	1.37089	1.49448	0.62103
10	레귤레이터	3	Q	0.11817	0.17353	0.22643	0.50172	0.90320
11	IC	1	U	0.03939	0.05784	0.08514	0.16724	0.30106
고 장 률				2.26855	2.70571	3.29467	4.11664	5.30109
MTTF(시간)				440,809	389,587	303,520	242,898	188,640

표 6. 환형 전원장치의 평균고장수명(100W-B)
Table 6. MTTF of Power supply for Endura Lamp

항 목				고 장 륜 (고장/10 ⁶ 시간)				
번호	부품명	개수	기호	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
1	알루미늄 전해콘덴서	4	C	0.05030	0.07720	0.11537	0.16830	0.24018
2	필름콘덴서	13	C	0.09121	0.10658	0.13017	0.15304	0.17824
3	다이오드	27	D	0.28147	0.38992	0.52937	0.70561	0.92490
4	다이오드브리지	1	D	0.04169	0.05776	0.07842	0.10453	0.13702
5	트랜스포머	4	T	0.28333	0.32416	0.36778	0.41413	0.46310
6	저항	31	R	0.13388	1.25061	1.37089	1.49448	1.62103
7	가변저항	1,1	RV, RT	0.07902	0.10093	0.12698	0.15756	0.19307
8	레귤레이터	11	Q	0.43331	0.63630	1.04638	1.83967	3.31174
9	IC	1	U	0.03939	0.05784	0.08514	0.16724	0.30106
10	퓨즈	1	F	0.01000	0.01000	0.01000	0.01000	0.01000
고 장 륜				2.44374	3.01433	3.87074	5.21460	7.38036
MTTF(시간)				409,208	331,748	258,348	191,769	135,494

로 표현된다.

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

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

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

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

여기서 p는 고장 백분위수를 나타낸다.

표 7. 환형 전원장치의 평균고장수명(150W)
Table 7. MTTF of Power supply for Endura Lamp

항 목				고 장 륜 (고장/10 ⁶ 시간)				
번호	부품명	개수	기호	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
1	알루미늄 전해콘덴서	4	C	0.05030	0.07720	0.11537	0.16830	0.24018
2	필름콘덴서	24	C	0.16838	0.20231	0.24032	0.28254	0.32905
3	세라믹 콘덴서	9	C	0.15394	0.23624	0.35304	0.51503	0.73498
4	다이오드	18	D	0.18764	0.25994	0.35291	0.47040	0.61660
5	트랜지스터	5	TR	0.00262	0.00328	0.00404	0.00492	0.00592
67	크리스탈 발진기	3	X	0.20139	0.20139	0.20139	0.20139	0.20139
7	트랜스포머	3	T	0.21250	0.24312	0.27584	0.31060	0.34732
8	코일	2	L	0.00019	0.00022	0.00025	0.00028	0.00031
9	저항	33	R	1.20715	1.33129	1.45894	1.59090	1.72561
10	레귤레이터	3	Q	0.11817	0.17353	0.23543	0.30172	0.37320
11	IC	1	U	0.03939	0.05784	0.08514	0.16724	0.30106
고 장 륜				3.34171	2.78640	3.38311	4.21337	5.40567
MTTF(시간)				427,037	358,885	295,585	237,339	184,990

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 8 ~ 표 11 과 같이 나타남을 알 수 있으며, 고장수명이 무전극램프의 요구되는 고장수명보다 매우적음을 알 수 있었다.

3.2 고장률과 평균고장수명의 평가척도

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

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

그러므로,

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

표 8. 전구형 전원장치의 10% 고장수명(85W)
Table 8. 10% Failure Time of Power supply for QL Lamp

항 목	고 장 륜 (고장/10 ⁶ 시간)				
	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
10%고장수명	110,542	88,382	67,694	49,411	34,411

표 9. 환형 전원장치의 10% 고장수명(100W-A)
Table 9. 10% Failure Time of Power supply for Endura Type Lamp

항 목	고 장 륜 (고장/10 ⁶ 시간)				
	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
10%고장수명	46,417	38,918	31,961	25,577	19,864

고효율 무전극형광등용 전원장치의 평가기준 및 신뢰성향상 연구

표 10. 환형 전원장치의 10% 고장수명(100W-B)
Table 10. 10% Failure Time of Power supply for Endura Type Lamp

항 목	고 장 륜 (고장/10 ⁻⁶ 시간)				
	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
10%고장수명	43,090	34,933	27,204	20,193	14,268

표 11. 환형 전원장치의 10% 고장수명(150W)
Table 11. 10% Failure Time of Power supply for Endura Type Lamp

항 목	고 장 륜 (고장/10 ⁻⁶ 시간)				
	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
10%고장수명	44,967	37,791	31,125	24,992	19,479

4. 결 론

고효율 무전극형광등시스템은 무전극형광등, 전원장치 및 등기구가 일체화된 시스템으로 장수명 고효율화를 위해서는 시스템적으로 연동해서 분석할 필요가 있다. 즉, 무전극형광등은 온도가 어느정도 유지되어야 광효율이 좋은 반면에, 전원장치는 온도가 높으면 상대적으로 수명이 급격하게 줄어들면서 특성이 열화하는 경향을 가지고 있어 전체적으로 효율 및 수명이 짧아지는 특성을 가진다.

본 연구에서는 고효율 무전극형광등용 전원장치에 대한 평가기준 제시와 고장률에 대한 예측을 실시하였으며, 좀더 신뢰성이 향상된 시스템을 개발하기 위해서는 다음과 같은 계속적인 연구 수행이 요구된다.

- 1) 고효율 무전극형광등 시스템중 고장수명에 가장영향이 큰 전원장치에 대한 설계시 부품의 스트레스를 고려한 고장률 예측으로 근접된 목표수명 설계 고려가 요구된다.
- 2) 실제 부품에 가해지는 스트레스(온도, 전압, 전류 및 습도 등)의 정확한 산출에 의한 고장수명 예측, 온-오프 반복시험에 의한 수명등을 고려한 전체적인 수명예측을 고려한다.
- 3) 향후에 개발된 제품에 대한 실제 가속수명시험 조건을 확인하기 위한 가속수명시험방법의 개발 및 고장수명예측이 요구된다.

References

- (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) Philips QL Lamp System ; Information for Luminaire Manufacturers.
- (4) Osram Endura, Product information.
- (5) ML-HDBK-217F, 1990.

◇ 저자소개 ◇

임 중 결 (威仲杰)

1981년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사), 1987년 동대학원(석사), 1997년 동국대학교 대학원졸업(박사), 1981~1984년 (주)신성 주임연구원, 1987~1988년 삼성전기(주) 주임연구원, 1988년~현재 산업기술시험원 수석연구원.

신 중 옥 (辛宗昱)

1996년 강원대학교 전기공학과 졸업(학사), 1998년 동대학원 졸업(석사) 1999~현재 : 산업기술시험원 연구원.