

실외조명 LED용 SMPS의 가속수명시험법 제안

임성용^{1*} · 형재필¹ · 임홍우¹ · 오근태²

¹한국기계전기전자시험연구원 ²수원대학교

Suggested Accelerated Life Test Method of SMPS for Outdoor Lighting LED

Seong-Yong Lim^{1*} · Jae-Phill Hyong¹ · Hong-Woo Lim¹ · Geun-Tae Oh²

¹Korea Testing Certification, ²Suwon University

Purpose: This study has developed the accelerated lifetime test method for smps for outdoor lighting LED through two factors of temperature and humidity.

Methods: Acceleration condition was confirmed for each stress and model, and acceleration life test model was estimated according to acceleration condition.

Results: As a result of confirming the accelerated life test model, in the case of humidity, acceleration was established only in the foreign products. Therefore, it is confirmed that the acceleration condition is insufficient. However, the estimated parameters for temperature are relatively constant. It is therefore suitable for power supply acceleration tests for outdoor lighting LEDs.

Conclusion: The SMPS acceleration test for outdoor lighting LED can improve the availability of the product by developing an accelerated life test method that guarantees the reliability of the product.

Keywords: Solide State Lighting, Power Source, SMPS, ALT, Failuer mode and Failure Mechanism

1. 서론

2014년 전반기 관급 LED 실외 조명(보안등, 가로등, 터널등, 투광등 기구 조달 기준)의 시장은 2013년 전반기에 비해 무려 60% 이상의 고성장을 이루고 있다. 일반적인 실외조명 시장은 연평균 성장률이 5% 미만인 것을 감안하면 상당히 이례적인 성장으로 볼 수 있다[1].

이러한 성장에 맞춰 전원 공급 장치도 외부에서 사

용이 되어야 하는데, 크기와 무게의 제한으로 인해 SMPS(switched mode power supply)가 주로 사용이 되어 진다. 하지만 일반적인 SMPS는 온도, 습도, 부하에 취약한 면을 가지고 있다[2]. 이러한 약점은 실외 조건에서 쉽게 노출되어 있어 이를 해결하기 위해 일반적으로 SMPS 내부에 몰딩을 충전 하는 방법을 사용하여 비 또는 습도를 보호하는 방수형태로 제작 된다.

SMPS는 설치 위치와 내부 몰딩으로 인해 유지보수가 어려운 특성을 가지고 있어 단가가 비싸더라도 신

* 교신저자 sylim@ktc.re.kr

2017년 9월 1일 접수; 2017년 12월 13일 수정본 접수; 2017년 12월 14일 게재 확정.

뢰성을 확보하는 것이 중요하다[3]. 그러므로 실외 조명 LED용 SMPS의 가속시험법 개발을 통해 제품의 신뢰성을 보증 할 가속시험법을 개발하여 제품의 가용성을 높여야 한다.

본 연구는 실외 조명 LED용 SMPS에 대해 온도, 습도 2가지 요인을 통하여 시험을 통해 실외 조명 LED용 SMPS에 맞는 가속시험법을 개발하였다.

2. 조명용 SMPS의 특성 및 고장모드/메커니즘

2.1 조명용 SMPS의 종류 및 특성

최근의 조명은 대체로 LED와 OLED를 사용하는 데 이런 광원은 DC 입력을 필요로 하기 때문에 시장에서 사용하기 위해서는 SMPS에서 AC를 DC로 바꿔주는 기능이 요구된다. 이러한 SMPS는 크게 절연 및 구동방식, 사용 환경에 따라 다른 요구사항을 갖게 된다.

2.1.1 절연에 따른 분류

고주파 트랜스포머의 유무에 따라 비절연형과 절연형으로 나눌 수 있다. 비절연방식의 경우 고전압 및 누설전류의 사고 위험으로부터 사용자를 직접적인 보호를 하지 못하며 추가적인 기구상의 보호가 요구된다. 절연형의 경우에 고전압 또는 누설전류로 인한 사고 위험으로부터 사용자를 보호하기 위해 고주파 절연 트랜스포머를 사용하게 된다. 이때 고주파 트랜스포머는 절연 목적 외에 권선비에 의해 출력 전압을 조절하는 역할도 한다. 절연형의 경우 고주파 트랜스포머가 삽입되어 있다는 점을 제외하고 그 기본특성이 비절연형과 유사하다.

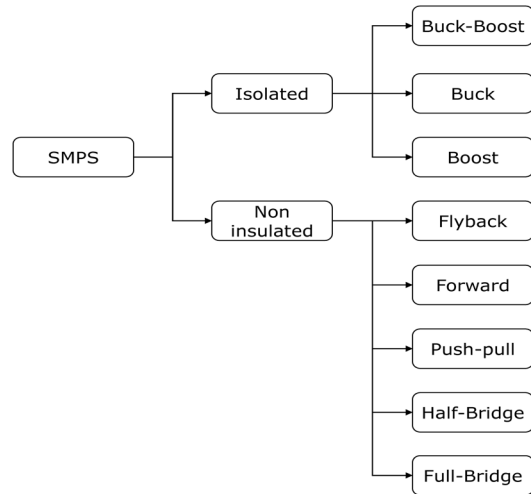


Fig. 1 Classification according to lighting SMPS driving method

2.1.2 사용 환경에 따른 분류

조명 장치와 SMPS가 설치되는 환경에 따라 실내 조명용 SMPS/실외조명용 SMPS/산업조명용 SMPS로 구분 할 수 있다. 실내조명용 SMPS의 경우 상온조건인 환경에서 쓰이며 주로 저전력 용도로 쓰인다. 실외 조명용 SMPS인 경우 실내조명용 SMPS인 경우보다 더욱 가혹한 열충격이나 습도 환경에 노출된다. 그리고 산업조명용 전원공급 장치는 진동, 온도, 습도, 전압 등 산업현장에 발생하는 다양한 스트레스에 노출된다. 각각의 SMPS는 각각의 환경에 대비하기 위해 추가적인 설계가 되어 있다.

2.2 SMPS의 기본 구조

조명용 SMPS 주로 AC 입력을 DC 출력으로 변환

Table 1 Classification of SMPS according to usage environment

Products	Indoor Lighting SMPS	Outdoor Lighting SMPS	Industrial Lighting SMPS
Exposure Environment	Room temperature	Thermal shock/ High humidity/ High temperature	High temperature/ Low voltage
Design Features	Cost-saving design	High-end design/ Molding type design	Endurance environment design
Power Consumption	10~60W	60~250W	100~300W

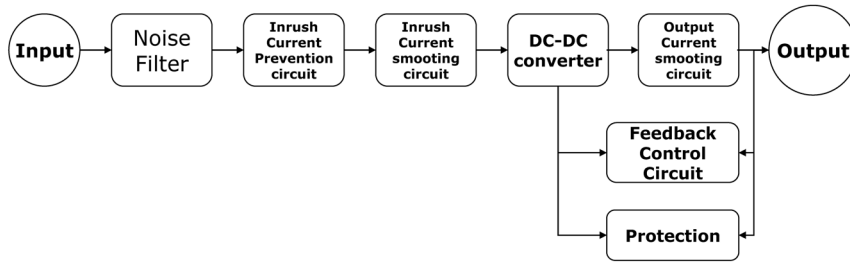


Fig. 2 Principle of lighting SMPS

하는 형태이며, 안정된 동작과 수명을 유지 하기 위해 전압과 전류의 범위를 초과 하지 않게 설계되어있다. 구동회로는 대부분 고효율과 경량화를 위하여 스위칭 레귤레이터 방식(SMPS: Switched Mode Power Supply)를 사용하고 있으며, 입력 전원을 직류로 바꾸기 위하여 브리지 정류회로를 사용한다. 이후에 AC 입력이 전원에서 커패시터 또는 인덕터에 부하로써 인가되면 전압과 전류의 위상 차이가 발생하여 실제 부하에 필요한 전류와 다른 전류가 흐르게 된다. 이를 보정하는 회로를 PFC(Power Factor Correction)라 한다.

추가로 직류 입력전압을 직류 출력전압으로 변환하는 DC-DC 컨버터, 출력 전압을 안정화 시키는 궤환 제어 회로, 다시 출력 전압의 오차를 증폭하는 오차 증폭기, 증폭된 오차와 삼각파를 비교하여 구동 펄스를 생성하는 비교기, DC-DC 컨버터의 주 스위치를 구동하는 구동 회로 등으로 구성되어 있다.

2.3 SMPS의 고장모드/메커니즘

전원 공급 장치의 생길 수 있는 고장모드고장메커니즘은 발생 원인에 따라 세분화 할 수 있으나 가장 큰 고장으로는 미점등, 효율의 감소이다.

미점등은 주로 커패시터, 다이오드, 트랜지스터, IC 칩 불량률을 통해 발생하게 되고, 효율 감소는 저항, 트랜지스터와 커패시터 열화를 통해 발생하게 된다. “Park et al.[2]”에서는 <Fig. 3>과 같이 주된 고장 원인은 저항 불량으로 보고 있고 추가적인 퓨즈에 파손은 IC와, 다이오드의 고장이 생기면 회로를 보호하기 위해 발생한다.

이러한 소자들은 전기에너지가 흐르는 구성부품으로 주로 고속스위칭을 하는 트랜지스터의 방열설계 불량, 커패시터 전해액 누액 및 저하로 인한 리플증가와 공진점을 변하게 한다

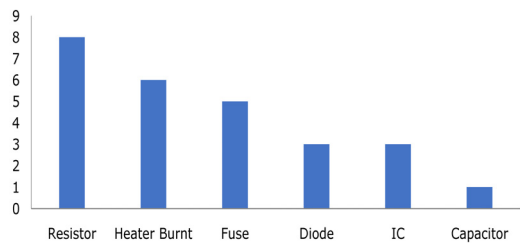


Fig. 3 Failure ranking of SMPS

3. 실외조명 LED용 SMPS의 시험 설계

3.1 대상 SMPS 및 초기특성

본 논문에서 사용한 SMPS는 가속수명시험법 개발을 위하여 대표성을 가지는 150W 급 제품 국산 2종과 외산 1종을 선정 하였다.

3.2 실외조명 LED용 SMPS의 FMEA, QFD 분석

필드에서 사용되는 BLDC 모터 드라이버의 고장 사례 및 모터 드라이버의 구조를 참고하여 다음<Table 3>과 같이 FMEA 분석 하였다. FMEA 분석한 결과 필터가 RPN 점수가 가장 높았으며, 그 뒤에 IC, 트랜스, 커패시터가 높았다.

<Table 4>는 위에 FMEA 분석 한 데이터를 이용하여 QFD 1단계로 변환한 것이다. SMPS의 주 고장모드는 트랜지스터 열화, IC 손상, 필터 열화, 트랜스 열화, 커패시터 열화, 몰딩 손상으로 추정된다.

QFD 2단계는 QFD 1단계에서 분석된 고장 모드 점수의 합계로 다음<Table 5>와 같이 시험 내용을 결정 하였다. 그 결과 고온, 고온고습 시험이 가장 큰 영향을 주는 고장메커니즘으로 확인하였다.

Table 2 Target SMPS and Specifications

	Domestic A	Domestic B	Foreign C
Type	Constant current	Constant current	Constant current
Rated voltage	AC 220V	AC 220V	AC 100~220V
Rated frequency	60Hz	50/60Hz	50/60Hz
Rated power	217W	220W	200W
Output voltage	12Vdc	12Vdc	12Vdc
Output current	16.6A	16.6A	13A
Power factor	0.95	0.95	0.95
Molding material	Epoxy	Epoxy	Silicone

Table 3 FMEA

Division		Function	Failure Mode	Occurrence	Failure Effect	Severity	Failure mechanism	Detection	RPN	Detection Method
Sub system	Equipment									
SMPS	Wire	To connect I / O to the product	breaking of a wire	4	Electricity Opening due to Over-current	3	Mechanical stress	3	0	Verify operation
			Corrosion	3	Corrosion (contact surface)	2	Corrosion	3	18	
	Solder	Electrical bonding between PCB and device	Fatigue	3	Opened due to solder crack	3	Temperature, Corrosion	2	18	Visual inspection
			Degradation	4		4	Temperature	3	48	
	Transistor	Semiconductor device serving as amplification and switching	Damaged	4	Damage due to design changes or Environmental stress	3	Temperature, Humidity, Mechanical stress	2	24	Verify operation
			Degradation	5		4		Temperature	4	
	Photodiode	Electrical isolation between inputs and outputs allows signal transmission between circuits with different potentials or impedances	Damaged	4	Damage due to design changes or Environmental stress	3	Temperature, Humidity, Mechanical stress	2	24	Verify operation
			Degradation	5		4		Temperature	3	
	IC	A set of electronic circuits made of semiconductors	Damaged	4	Decrease in conversion efficiency, decrease in input adaptability, degradation in load adaptability	5	Temperature, Humidity, Mechanical stress	5	100	Verify operation
	Filter	Noise elimination of current	Degradation	5	Damage due to design changes or Environmental stress	4	Temperature	4	80	Verify operation
	Trans	Devices for transferring electrical energy from one circuit to another through an inductive electrical conductor	Degradation	4	Damage due to design changes or Environmental stress	5	Temperature	5	100	Verify operation
	Capacitor	Devices for storage of electric potential energy in electric circuits	Destruction	4	Time constant change, Duty ratio change Overcurrent due to increase in ripple	5	Temperature	3	60	Verify operation
			Degradation	5		4		5	100	
	Molding	Protects the product against external environment and shocks and reduces internal heat	Fatigue	3	Product damage due to mechanical stress	2	Temperature, Humidity, Mechanical stress	2	12	Visual inspection
			Burnout	4		4		3	48	

Table 4 QFD Step 1

Failure mechanism Cause of failure	Transistor degradation	IC damage	Filter degradation	Trans degradation	Capacitor degradation	Molding burnout
Temperature	◎	◎	◎	◎	◎	○
Temperature and Humidity	◎	◎	◎	◎		◎
Temperature change	○			○		
Vibration	△	△				△
Shock	△	△				△
Total Score	15	12	10	13	5	10
Rank	1	3	5	2	6	5

◎: 5 points, ○: 3 points, and △: 1 point. ◎ score of 5 indicates that the influence of ◎ is very large compared to other influences.

Table 5 QFD Step 2

Test Methods		High temperature test	High temperature and high humidity test	Thermalshock test	Vibration test	Impact test
Transistor degradation	15	◎	◎	○	△	△
IC damage	12	◎	◎		△	△
Filter degradation	10	◎	◎			
Trans degradation	13	◎	◎	○		
Capacitor degradation	5	◎				
Molding burnout	10	○	◎		△	△
Total score		305	300	84	37	37
Rank		1	2	3	5	5

◎: 5 points, ○: 3 points, and △: 1 point. ◎ score of 5 indicates that the influence of ◎ is very large compared to other influences.

3.3 실외조명 LED용 SMPS의 스트레스 인자 및 레벨 설계

본 논문에서는 앞서 실시한 FMEA, QFD를 참고하여 고온 시험과 고온 고습 시험을 진행하였다 온도

는 예비 시험을 통해 제품의 특성이 유지되는 120 °C를 기준으로 각 제품별 편차치를 고려해 시험 최대 온도를 약 110 °C로 정하였다.

이는 <Table 6>에서 확인할 수 있으며, 각 레벨에서는 회사별로 5개의 시료를 사용하였다.

Table 6 Stress factor and level design

Stress Level	Temperature	Humidity	Operating condition	Number of samples
Level 01	85 °C	-	Same condition as actual load(Output 12V, 12A)	15 (5 per company)
Level 02	110 °C	-		15 (5 per company)
Level 03	85 °C	50%		15 (5 per company)
Level 04	85 °C	90%		15 (5 per company)

4. 실외조명용 SMPS의 시험 결과

출을 하였다.

4.1 고온 동작 시험 결과

고온동작 시험 결과 제품의 열화로 인한 효율 감소를 보이지 않았으나 제품 작동에 문제가 발생하였다 이에 수명 산출은 제품의 생존 여부에 맞춰서 수명 산

4.1.1 고온 동작 시험 데이터

고온 시험 결과 85℃ 조건은 총 1,900시간까지 진행하였고, 110℃ 조건에서는 시료가 모두 고장이 발생한 950시간까지 시험을 진행하였다 <Fig. 4>에서 제품의 효율을 확인한 결과 제품의 열화를 확인 하지 못하였다

Table 7 Test result in high temperature and high humidity operation test

Acceleration condition	Company	85℃			110℃		
		Sample	Result	Time	Sample	Result	Time
High temperature operation test	Domestic A	#16	F	1,900	#01	F	600
		#17	C	1,900	#02	F	450
		#18	F	1,400	#03	F	450
		#19	F	1,600	#04	F	600
		#20	F	1,600	#05	F	450
	Domestic B	#16	C	1,900	#01	F	500
		#17	C	1,900	#02	F	800
		#18	F	1,900	#03	F	350
		#19	C	1,900	#04	F	650
		#20	F	1,600	#05	F	950
	Foreign C	#16	F	1,900	#01	F	600
		#17	F	1,900	#02	F	750
		#18	F	1,400	#03	F	300
		#19	C	1,900	#04	F	300
		#20	C	1,900	#05	F	600

F: Failure, C: Censored

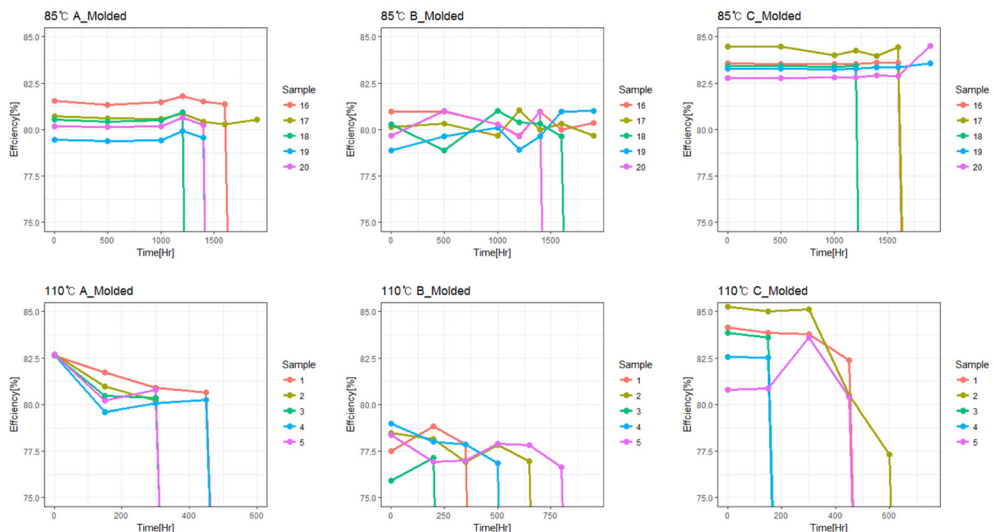


Fig. 4 Change in efficiency over time (High-temperature operation test)

4.1.2 가속 수명 시험 데이터 분석

앞서 실시한 고온 동작 시험에서 두 조건 85 °C, 110 °C에서 모두 고장이 발생했기 때문에 모델식을 이용하여 신뢰성 수준을 추정하였다. 가속 추정 전 형상모수와 척도모수를 통한 가속성 성립 여부를 검증한 결과 <Table 8>과 <Fig. 5>와 같이 SMPS 3모델 모두 가속성 성립이 되는 것으로 확인 하였다.

온도에 의한 가속수명시험의 경우 화학반응에 의한 열화고장을 모형화 하는 아레니우스 관계(Arrhenius re-

lationship)가 수명-스트레스 관계식으로 가장 널리 적용된다. 여기서 온도에 의하여 가속되는 수명분포의 모수를 $\xi(T)$ 라 할때, 아레니우스 관계는 다음과 같이 표현된다

$$\xi(T) = A \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) = a_0 \cdot \exp\left(\frac{a_1}{T}\right)$$

여기서, E_a 는 활성화 에너지(activation energy, 단위: eV), $k = 8.617 \times 10^{-5}$ 는 볼츠만 상수, T 는 절대온도 (섭씨 온도+273.16), A 는 재료 물성과 시험조건에 따른 상수이다

Table 8 Acceleration verification result(High-temperature operation test)

Company	Division	Chi-square	Degree of freedom (DF)	P Value	Validity for Acceleration
Domestic A	Test for the same shape parameter	0.0246267	1	0.875	Accepted
	Test for the same scale parameter	190.684	1	0.000	
Domestic B	Test for the same shape parameter	2.79250	1	0.095	Accepted
	Test for the same scale parameter	44.5663	1	0.000	
Foreign C	Test for the same shape parameter	2.93989	1	0.086	Accepted
	Test for the same scale parameter	61.9252	1	0.000	

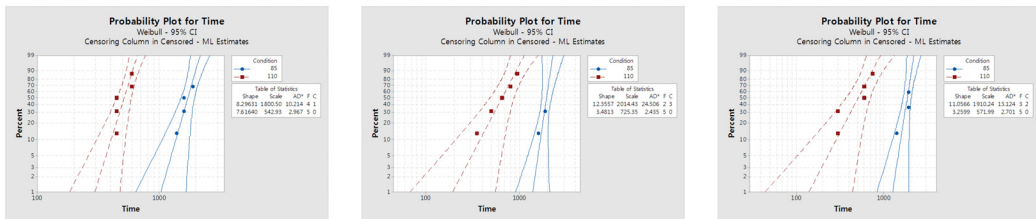


Fig. 5 Probability over time(High-temperature operation test)

Table 9 Point estimation and confidence intervals for parameters of accelerated life test model

Manufacture company	Measure	Point estimate	90% Confidence interval	
			Lower Confidence	Upper Confidence
Domestic A	Ea	0.565818	-	-
	β	7.888714	5.062335	12.29310
	a_1	6556.041	5788.737	7343.346
	a_0	0.000020	0.000002	0.000160
Domestic B	Ea	0.538433	-	-
	β	4.128066	2.455386	6.940225
	a_1	6248.252	4179.766	8316.738
	a_0	0.000061	2.466999e-7	0.015215
Foreign C	Ea	0.594513	-	-
	β	4.143923	2.505491	6.853784
	a_1	6899.286	5186.689	8611.368
	a_0	0.000009	9.007490e-8	0.000883

<Table 9>는 가속수명시험모델의 모수에 대한 점 추정치와 신뢰구간이다. 여기서 E_a 는 활성화 계수, β 는 형상 모수, a_0, a_1 은 시험 조건에 따른 상수이다. 위의 모수를 통해 각 제조회사별로 <Table 10>과 같은 아레니우스 모델 관계식을 도출할 수 있다.

4.1.3 가속계수 및 수명추정

가속계수는 일반선형모델에서 추정된 모수 중 α_0

Table 10 Arrhenius model relation

Manufacture company	Arrhenius model relation
Domestic A	$\xi(T) = 0.000020 \exp\left(\frac{6566.299}{T}\right)$
Domestic B	$\xi(T) = 0.000061 \exp\left(\frac{6248.497}{T}\right)$
Foreign C	$\xi(T) = 0.000009 \exp\left(\frac{6899.304}{T}\right)$

Table 11 Acceleration factor estimate through accelerated life test model

Manufacture company	Acceleration factor
Domestic A	$AF = \exp\left[6566.299\left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_a}\right)\right]$
Domestic B	$AF = \exp\left[6248.497\left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_a}\right)\right]$
Foreign C	$AF = \exp\left[6899.304\left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_a}\right)\right]$

Table 12 Life expectancy through accelerated life test model

Manufacture company	Measure	Point estimate	90% Confidence interval	
			Lower Confidence	Upper Confidence
Domestic A	B_5	24,168	15,461	37,779
	B_{10}	26,477	17,088	41,025
	MTTF	31,906	20,730	49,108
Domestic B	B_5	19,076	6,402	56,838
	B_{10}	22,710	7,486	68,900
	MTTF	32,435	10,087	104,293
Foreign C	B_5	23,007	9,232	57,339
	B_{10}	27,372	10,959	68,364
	MTTF	39,040	15,171	100,464

를 제외한 값이라고 할 수 있다. 사용온도를 T_{ib} , 가속 온도를 T_a 라 하면, <Table 10>에서 추정된 모델식을 이용하여 가속계수를 <Table 11>로 표현 할 수 있다.

위에서 계산한 모델식을 이용하여 사용온도 35℃의 수명을 추정하면 <Table 12>와 같이 수명 추정치가 계산된다.

4.2 고온 고습 동작 시험 결과

고온 고습 동작 시험 결과 제품의 열화로 인한 고장은 보이지 않았으나 제품의 작동이 안 되는 경우가 발생하였다. 이에 수명 산출은 제품의 생존 여부에 맞춰서 수명 산출을 하였다.

4.2.1 고온 고습 동작 시험 데이터

고온 고습 동작 시험 결과 두 조건 모두 1,900시간 까지 진행하였다. <Fig. 6>에서 제품의 효율을 확인한 결과 제품의 열화를 확인 하지 못하였다.

4.2.2 가속 수명 시험 데이터 분석

고온 고습 동작 시험에서 진행하였던 두 조건 85℃ 50% R.H, 85℃ 90% R.H에서 고장이 발생했기 때문에 모델식을 이용하여 신뢰성 수준을 추정하였다. 가속 추정 전 형상모수와 척도모수를 통한 가속성 성립 여부를 검정 한 결과 <Table 14>와 <Fig. 7>과 같이 에폭 시로 몰딩된 제품 국산 A, 국산 B에서는 가속성 여부가 성립되지 않았지만, 실리콘으로 몰딩된 외산 C 모델에서는 가속성 여부가 성립되었다.

온습도 가속수명시험은 주로 펙(Peck) 모델이 수명-스트레스 관계식으로 가장 널리 사용된다. 온습도에 의하여 가속되는 수명분포의 모수를 $\xi(T)$ 라 할 때, 펙 모델은 다음과 같이 표현된다.

$$\xi(T) = A \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \frac{1}{R.H^n}$$

여기서, E_a 는 활성화 에너지(activation energy, 단위: eV), n 은 역승(Inverse Power) 모델의 추정치, $k = 8.617 \times 10^{-5}$ 는 볼츠만 상수, T 는 절대온도 (섭씨온도 + 273.16), $R.H$ 는 상대습도, A 는 재료 물성과 시험조건에 따른 상수이다.

여기서 외산 C의 고온 고습 동작 시험에서 펙 모델을 통해서 확인된 E_a 값을 적용하고 n 은 습도수명데이터를 참조하여 역승모델을 이용하여 확인한 결과이다.

Table 13 Test result in high temperature and high humidity operation test

Acceleration condition	Company	85 °C 50% R.H.			85 °C 90% R.H.		
		Sample	Result	Time	Sample	Result	Time
High temperature operation test	Domestic A	#06	F	1,600	#11	F	500
		#07	F	1,600	#12	F	1,000
		#08	F	1,900	#13	F	1,000
		#09	F	1,900	#14	F	1,200
		#10	S	1,900	#15	S	1,900
	Domestic B	#06	F	1,600	#11	F	500
		#07	F	1,900	#12	F	1,000
		#08	S	1,900	#13	F	1,000
		#09	S	1,900	#14	F	1,600
		#10	S	1,900	#15	S	1,900
	Foreign C	#06	F	1,600	#11	F	800
		#07	F	1,900	#12	F	800
		#08	S	1,900	#13	F	1,000
		#09	S	1,900	#14	F	1,200
		#10	S	1,900	#15	F	1,200

F: Failure, C: Censored

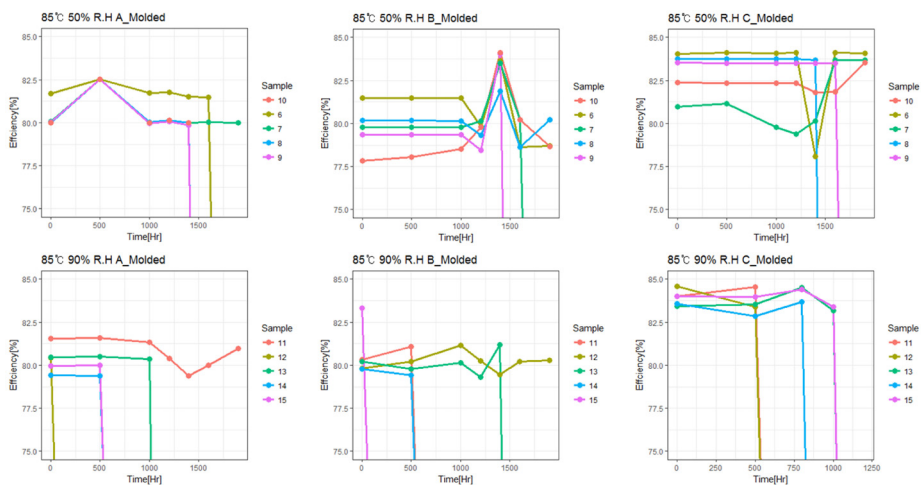


Fig. 6 Change in efficiency over time(High temperature and high humidity operation test)

Table 14 Acceleration Verification Result(High temperature and high humidity operation test)

Company	Division	Chi-square	Degree of freedom (DF)	P Value	Validity for Acceleration
Domestic A	Test for the same shape parameter	7.78144	1	0.005	Rejected
	Test for the same scale parameter	1.48777	1	0.223	
Domestic B	Test for the same shape parameter	4.96619	1	0.026	Rejected
	Test for the same scale parameter	1.77718	1	0.182	
Foreign C	Test for the same shape parameter	0.697841	1	0.404	Accepted
	Test for the same scale parameter	38.3387	1	0.000	

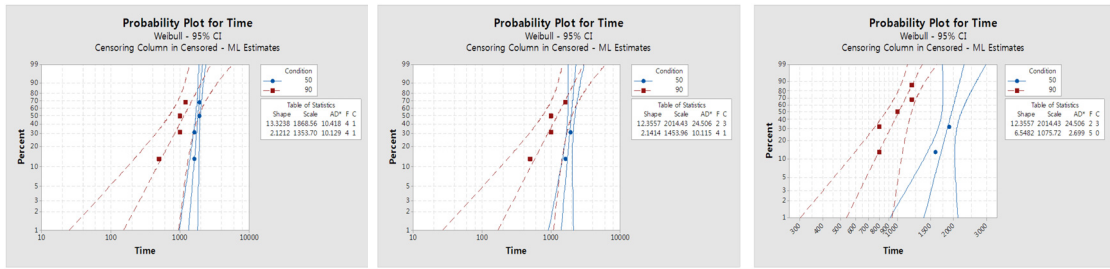


Fig. 7 Probability over time(High temperature and high humidity operation test)

Table 15 The point estimates and confidence intervals for the parameters of the accelerated life test model

Manufacture company	Measure	Point estimate	90% Confidence interval	
			Lower Confidence	Upper Confidence
Foreign C	Ea	0.594513	-	-
	β	7.339399	4.329590	12.441543
	a_1	1.131943	0.774491	1.189396
	a_0	0.000006	0.000001	0.000027

<Table 15>는 가속수명시험모델의 모수에 대한 점 추정치와 신뢰구간이다. 여기서 Ea는 활성화 계수, β 는 형상 모수, a_0, a_1 은 시험 조건에 따른 상수이다 위의 모수를 통해 각 모델별로 <Table 16>과 같은 펙 모델 관계식을 도출할 수 있다.

4.2.3 가속계수 및 수명추정

가속계수는 일반선형모델에서 추정된 모수 중 α_0 를 제외 한 값이라고 할 수 있다. 온도를 T, 습도를 H, 사용 조건을 T_d, H_d , 가속조건을 T_a, H_a 로 할 경우 <Table 16>에서 추정된 모델식을 이용하여 가속계수를 <Table 17>로 표현 할 수 있다.

가속수명시험모델로부터 형상모수 β 는 7.339399, 활성화 에너지 Ea는 0.594513로 계산된다.

외산 C 몰딩 SMPS의 사용조건 온도35℃, 60% R.H 에서 위에서 계산한 모델식을 이용하여 B_5, B_{10}, MTF 의 점추정치와90% 신뢰구간을 추정하면<Table 18>과 같다.

4.3 가속시험법 제한

실외 조명 LED용 전원공급 장치의 가속 수명 시험법을 위해 2가지 스트레스 요인(온도, 습도)를 고려하여 시험을 수행한 결과 온도에 의한 가속 수명 시험이 가장 적합한 것으로 확인된다. 고온 조건에서는 몰딩

Table 16 Peck model relation

Manufacture company	Peck model relation
Foreign C	$\xi(T) = 0.000006 \exp\left(\frac{6899.304}{T}\right) \frac{1}{R.H^{1.131943}}$

Table 17 Acceleration factor estimate through accelerated life test model

Manufacture company	Acceleration factor
Foreign C	$A.F = \exp\left[6899.304\left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_a}\right)\right] \frac{1}{\left(\frac{1}{H_d} - \frac{1}{H_a}\right)^{1.131943}}$

Table 18 Life expectancy through accelerated life test model

Manufacture company	Measure	Point estimate	90% Confidence interval	
			Lower Confidence	Upper Confidence
Foreign C	B_5	26,051	19,205	34,014
	B_{10}	28,717	23,060	35,815
	MTF	35,094	30,699	40,175

Table 19 Suggested accelerated life test method

Item	Proposal formula
Lifetime - Stress Relation	$\xi(T) = A \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right)$ <ul style="list-style-type: none"> • Where a is A constant that can be determined through an accelerated test. • E_a is the range derived from the acceleration test. ($E_a = 0.538\sim 0.595$) • k is the Boltzmann constant. ($k = 8.617 \times 10^{-5}$)
Acceleration factor	<ul style="list-style-type: none"> • $AF = \frac{\xi(T_d)}{\xi(T_a)} = \exp\left[\left(\frac{E_a}{k}\right)\left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_a}\right)\right]$ • Where E_a is the range derived from the acceleration test. ($E_a = 0.538\sim 0.595$) • T_d is the temperature you want to guarantee. (Ex. 35 °C) • T_a is the acceleration test progress temperature. (Ex. 85 °C) • k is the Boltzmann constant. ($k = 8.617 \times 10^{-5}$)

재질에 의한 영향을 확인할 수 없었으나, 습도 조건에서는 몰딩 재질에 따라 가속 여부가 결정 되었다. 이에 몰딩 재질 및 첨가제 종류에 따른 습도 시험이 추가적으로 필요하다.

실외 조명 LED용 SMPS는 모든 제품이 몰딩 후 판매가 되고 있는 시점이므로 몰딩제품에 대해 일관되게 적용할 수 있는 가속시험법을 제안하는 것이 바람직하다. 한 모델에서만 가속성립이 된 습도를 제외하고 모든 조건에서 성립된 온도를 이용한 수명스트레스 관계식, 가속계수를 <Table 19>로 제안한다. 각각의 식들은 3가지 제품(국산 A, 국산 B, 외산 C)에 대해서 통합된 가속시험법을 추정 파라미터의 범위를 포함하였다.

5. 결론

본 연구는 실외 조명 LED용 SMPS에 대해 온도, 습도 2가지 요인을 통하여 시험을 통해 실외 조명 LED용 SMPS에 맞는 가속수명시험법을 개발하였다.

시험결과, 실외 조명 LED용 SMPS는 온도 조건에서는 3모델 모두 가속성이 성립하였고, 습도 조건에서는 외산 모델만 가속성이 성립하였다. 이러한 가속성 성립 여부에 따라 가속수명시험모델을 추정하였다.

우선 아레니우스 모델을 사용하여 온도의 가속수명 시험 모델을 얻었으며, 각 모델에 따른 수명차이는

있지만 시험을 통해 얻은 모수가 비교적 일정하여 실외 조명용 SMPS 가속시험 제안법에 적절하다.

습도에 대한 가속수명 시험 모델은 펙 모델과 역승 모델을 사용 하여 얻었으며, 각 제품 중 예폭시로 몰딩된 제품 국산 A, 국산 B에서는 가속성 여부가 성립되지 않았지만, 실리콘으로 몰딩된 외산 C 모델에서는 가속성 여부가 성립되었다. 이는 습도가 실외 조명용 SMPS의 가속시험 제안법에 적절하지 않지만 몰딩 성분에 따른 가속성 성립에 대한 추가적인 시험이 가능할 것으로 추측이 된다.

References

- [1] Jang, M. S. (2014). "Correlation between outdoor LED lighting reliability and urban safety". The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, Vol. 28, No. 6, pp. 24-28.
- [2] Park, J. S., Choi, W. S., and Kwon, J. G. (2001). "Development of accelerated life test method of printer SMPS". The Korean Reliability Society, pp. 405-411.
- [3] Kim, J. M., Jo, Y. S., and Lee, K. H. (2015). "Study on Reliability Prediction and HALT verification of SMPS". The institute of electronics engineers of Korea, pp. 847-848.
- [4] Kim, H. J. (1997). "[Special] SMPS". The korean institute of power electronics, Vol. 2, No. 3, pp. 22-30.

- [5] Baek, Y. H. (2009). "Eco-friendly high efficiency LED lighting development direction". Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 3, No. 4, pp. 21-27.
- [6] Hong, C. H. (2004). "New Technology Trend and Application of High Power LED". The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, Vol. 18, No. 3, p. 310.
- [7] Kwon, S. H. (2015). "High power LED lighting development and technology development trend". The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 42, No. 1, pp. 38-52.