신뢰성응용연구
제16권, 제4호. pp.331-337, 2016

LED 조명의 안전회로설계 Type분석에 따른 최적설계

장인혁[1] · 김정호[1] · 임홍우[1] · 오근태[2] · 최연옥[3†]

[1]한국기계전기전자시험연구원, [2]수원대학교, [3]조선대학교

The Optimum Design According to Type Analysis of the Safety Circuit Design

In-Hyeok Jang[1] · Jeong-Ho Kim[1] · Hong-Woo Lim[1] · Geun-Tae Oh[2] · Youn-Ok Choi[3†]

[1]Korea Testing Certification, [2]University of Suwon, [3]Chosun University

Purpose: The purpose of this study is the analysis of the failure mechanisms effect of circuit design characteristics of the ballast for LED Lamp
Methods: Recently, electronic circuit of ballasts for LED lamp are being occurred on various failure mechanisms (whiskers, ion migration, heat dissipation problem, switching element damage) because electronic ballast circuit design characteristics are becoming more and more diverse.
Results: we analysis failure mechanisms that occurs in accordance with the circuit design characteristics The ballast for LED lamp were divided into three different types (Type A, Type B, Type C) considering circuit design characteristics (thermal design, PCB patten spacing, element material) and it was experimented in the acceleration test conditions (85℃, 85% R.H).
Conclusion: We confirmed that failure mechanism of the ballast for LED Lamp had occurred differently in accordance with the circuit design characteristics.

Keywords: Failure Mechanism, Circuit Design Characteristics, Accelerated Life Test, LED

1. 서 론

최근 에너지 자원의 고갈 및 산업에너지 절약 정책에 따라 고효율 기기 사용의 활성화가 진행되고 있으며, 국내의 조명분야에서도 기존의 광원보다 효율이 높은 LED 제품으로의 교체 및 보급을 확대하고 있다. LED 조명의 광원인 LED PKG나 Module의 경우 그동안의 연구개발 및 신뢰성활동을 통해 정량화된 데이터 및 신뢰성이 확보되어 있는 실정이지만LED 광원에 전원을 공급해주는 전원장치는 다양한 기능이 요구되는 것에 반해 상대적으로 낮은 신뢰성을 가지고 있다[1-2]. 이러한 LED 전원장치의 신뢰성 확보를 위해 최근 다양한 연구가 활발히 진행되고 있지만, LED 전원장치의 다양한 기능의 요구와 설계로 인해 복잡한 구조에 따른 정량화된 데이터를 확보하는데 어려움이 있다[3-4]. 또한 선행 연구결과에 따르면 LED 전원장치의 설계 특성에 따라 나타나는 고장현상 역시 휘스커 및 이온마이그레이션, 스위칭소자 파손, 커패시터 열화 등의 다양한 현상들이 발생하고 있어, 제품의 고장분석 및 신뢰성시험의 기준을 잡기가

† 교신저자 yochoi@chosun.ac.kr
2016년 10월 25일 접수; 2016년 12월 12일 수정본 접수; 2016년 12월 16일 게재 확정.

어려운 실정이다[5-6].

따라서 본 논문에서는 최근 LED 전원장치의 다양한 설계특성에 따라 다양하게 나타나는 고장메커니즘을 분석하기 위해 설계특성(방열설계, 부품재료, PCB 패턴간격)에 따라 3가지 Type으로 분류하였고, 고장메커니즘을 재현하기 위해 LED 전원장치의 가속수명조건인 85℃, 85%. R.H. 환경 조건에서 1,000시간 신뢰성시험을 통해 LED 전원장치의 수명을 가속시켜 Type별로 나타나는 고장메커니즘을 분석하였다.

2. 주요 고장현상 및 원인

2.1 LED조명의 고장현황 및 분석

<Table 1>은 국내 D社에서 제공한 자료로써 2013년부터 2014년까지의 LED 조명의 고장현황을 나타낸 것이다. 고장발생 현황에서 전원회로의 고장이 62.9%로 광원인 LED Module의 32.5%보다 약 2배정도 높게 나타났다. 이는 LED 조명의 신뢰성확보를 위해 무엇보다 전원회로의 신뢰성확보가 필요하다는 것으로 분석된다.

Table 1 LED lights failure status(2013~2014)

Item	Malfunctioning parts	Failure count	Ratio (%)
LED Module	LED PKG	118	7.1
	Resistance	121	7.3
	Diode	104	6.3
	ETC	197	11.9
	SUM	540	32.5
Power circuit	Switching element	201	12.1
	Capacitors	157	9.5
	Resistance	195	11.7
	Coil deterioration	187	11.3
	Trans	59	3.6
	ETC	245	14.8
	SUM	1,044	62.9
Mechanism	Case	25	1.5
	ETC	52	3.1
	SUM	77	4.6
Total		1,661	100.0

2.2 전원회로의 고장현상 및 분석

LED 전원공급장치의 주요 고장현상으로는 점등

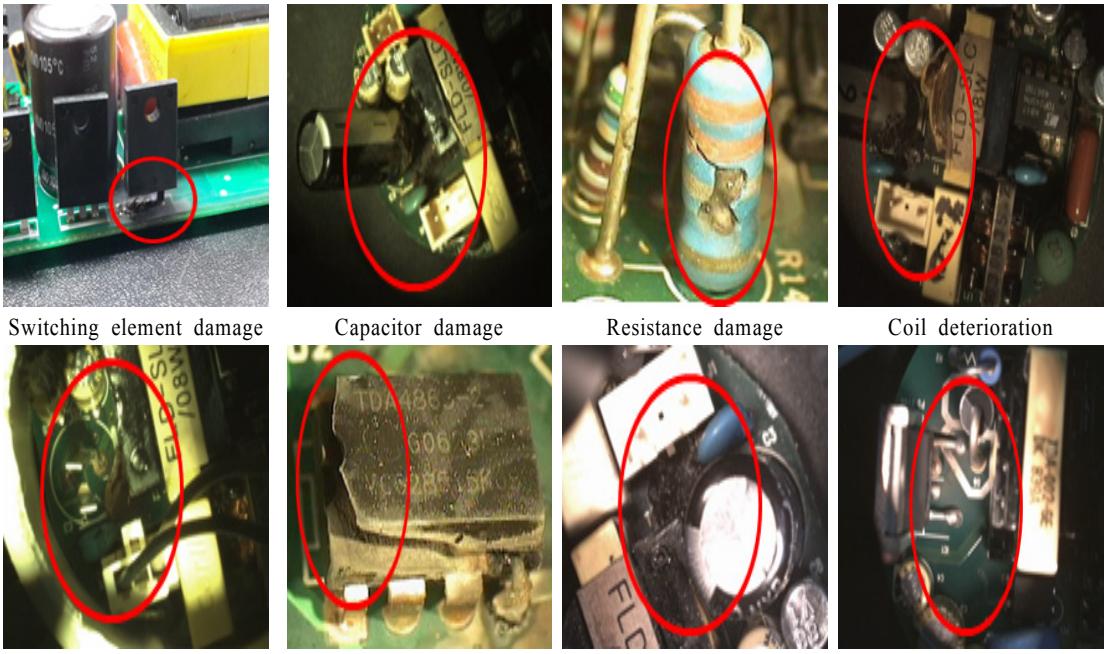


Fig.1 Power circuit components breakdown case

불량, 이상 점등, 광속저하 등이 있다. 이러한 고장현상의 원인으로는<Fig. 1>과 같이 스위칭소자의 파손, 커패시터의 파손, 저항소자의 탄화, 트랜스 코일 노화, 트랜스 파손 및 기타Drive IC 파손, 커패시터 전해액 누출 및 손상, IC 칩 손상, PCB 번트, 스위칭 드라이버 탄화, 커패시터 탄화 등이 있다. 최근 소비자들의 다양한 기능의 요구로 인해 설계특성이 다양화되었고, 그로인해 고장현상 역시 다양하게 발생하고 있다. 따라서 전원공급 장치의 고장분석 역시 특정 고장메커니즘에만 국한될 것이 아닌 다양한 Type별로 나누어 분석되어야 한다.

3. 실험 설계

3.1 LED 전원장치의 가속수명시험

제품의 신뢰성 개선을 위한 자료를 확보하기 위하여 일반적으로 널리 사용되는 방법이 가속수명시험이다. 가속수명시험은 다양한 환경적 스트레스를 통해 열화조건을 만들어 제품의 수명과 고장메커니즘을 빠르게 확인이 가능하여 시간과 비용을 단축시킬 수 있어 신뢰성분석을 위해 널리 사용되고 있다. <Table 2>는 국내 · 외 LED 및 유사 전원장치의 신뢰성 시험 관련 규격을 비교한 것이다.

KS, JIS 규격의 시험방법은 제품의 초기 성능시험에 불가하여 제품의 신뢰성을 확인하기 위해서는 다소 무리가 있다. 따라서 “RS-KORAS-KTC-002(2016)” 기준의 가속수명시험 방법을 참고하여 <Table 3>과 같이 시험을 설계하였고, 측정시간은 “IEC 60319(1999)” 규격에서 추천하는 24h, 48h, 96h, 168h, 336h, 672h, 1,000h 간격으로 누설전류 변화측정 및 육안검사를 수행하였다[7-8].

3.2 LED 전원장치의 Type별 분류

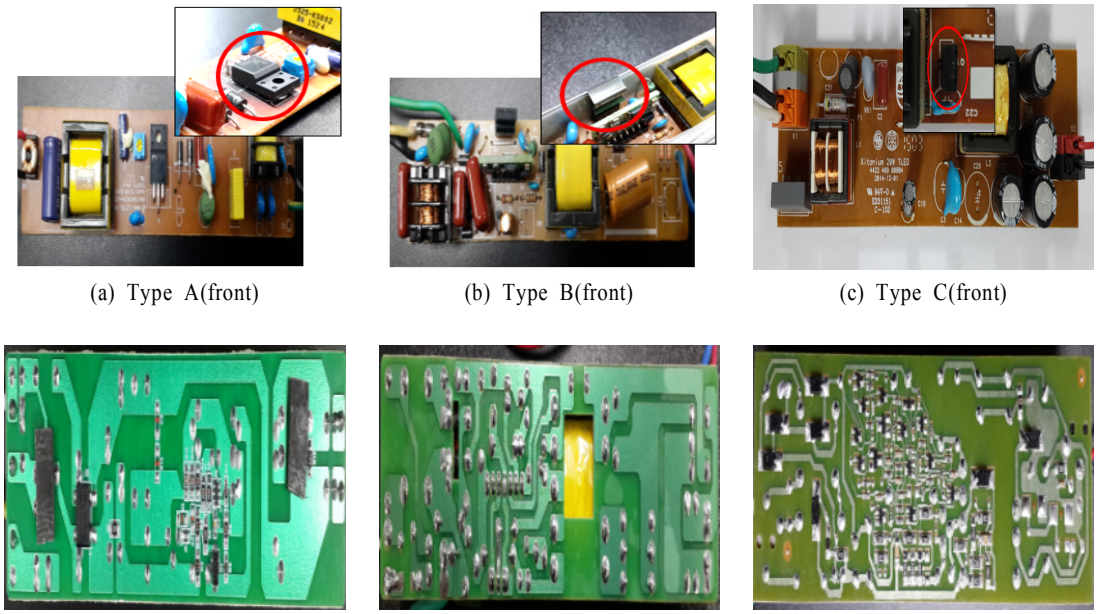
시험의 대상 시료는 25W급 정전류 방식의 전원공

Table 2 Standard comparison in domestic and foreign

Division	KS C 7655	JIS C 8117	RS-KORAS-KTC-002(2016)
High temperature operation test	Temperature: (85±2)℃ Time: 360h	Temperature: (85±2)℃ Time: 360h	Temperature: (85±2)℃ Time: 360h
ON/OFF test	ON/OFF time: each 30 s No load: 200 cycles Max load: 800 cycles	ON/OFF time: each 30s No load, Load (each 1000cycles)	-
Temperature cycles test	5℃, 1 h 100℃, 1h 5 cycles	5℃, 1 h 100℃, 1h 5 cycles	(-40 ± 2) ℃, 30 min (85 ± 2) ℃, 30 min 100 cycles
Accelerated life test	-	-	Temperature: (85 ± 2)℃ Humidity: (85 ± 5)%R.H. ON/OFF each 30 min
Criteria	15 min, Normal operation	15 min, Normal operation	efficiency, Power factor, harmonics, power fluctuations, load fluctuations, output voltage error, withstand voltage

Table 3 Accelerated life test design

Life level	Lifetime	Exam conditions	Measurement requirements	Confidence level 60%	
				sample water	Test time
B10	51,000h (About 5 years)	Temperature: (85±2) ℃, Humidity: (85±5) % R.H.	Leakage Current, Visual inspection	5(EA)	1,000h



(a) Type A(front) (b) Type B(front) (c) Type C(front)

(d) Type A(rear) (e) Type B(rear) (f) Type C(rear)

Fig. 2 Products by type structure

급장치로 조명제품과 일체형이 아닌 일정 거리를 두고 설치되는 전원공급장치를 대상으로 국내제품Type A와 Type B, 국외 제품 Type C로 <Fig. 2>와 같이 3가지 Type으로 분류하였다. 제품별 설계특징은 Type A의 경우 다른 Type 제품에 비해 스위칭소자가 방열설계 없이 PCB 기판에 부착된 것으로 발열에 취약한 구조의 설계이다. Type B의 경우 다른 Type 제품에 비해 비교적 설계는 잘 이루어 졌지만 부품소자를 저가용으로 사용한 Type으로 소자의 내구성이 취약하다. Type의 경우 소형·경량을 위한 구조로 PCB 패턴간의 구조가 다른 제품에 비해 매우 좁은 구조의Type으로 분류하였다.

4. 시험 및 결과

LED 전원장치의 설계특성이 다른 Type별 고장메커니즘을 재현하기 위하여 <Fig. 3>과 같이 3가지

(a) LED power supply test (b) Picture of the load

Fig. 3 LED power supply accelerated life test

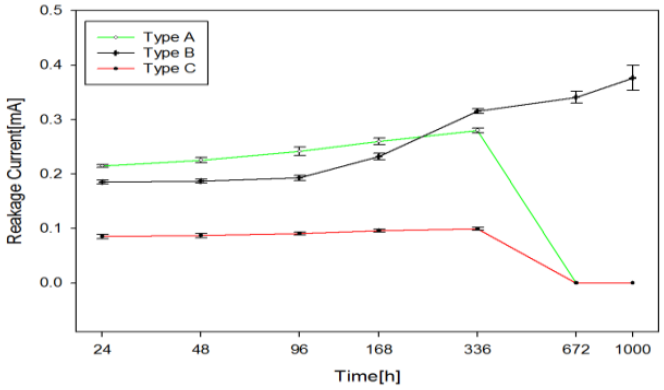


Fig.4 The graph of leakage current trend

Type의 제품 시료 수 각각 5개씩 85℃, 85%. R.H의 조건에서 1,000시간 가속수명시험을 수행하였다. 사용된 부하는 실제 25W급 LED 실부하를 사용하였다.

<Fig. 4>는 제품 Type별 누설전류의 변화를 나타낸 그래프이다. Type A와 Type C의 경우 누설전류가 소폭 증가 후 672시간에 모든 제품에 고장이 발생하여 시험이 중단되었다. Type B의 경우는 누설전류가168 시간부터 증가하여 1,000시간 이후 누설전류가 초기 대비 2배정도 상승하였고 제품 중 최대 누설전류량이 평균 0.35mA로 Type A(평균 0.098mA)와 Type C(평균 0.25mA)에 비해 다소 높게 나타났다.

<Fig. 5>는 누설전류량이 가장 많이 상승한Type B의 육안검사 결과로써 커패시터의 부풀어 오름 현상이 발생한 것을 확인 할 수 있었다. Type B의 경우는 메인 스위칭 소자의 방열설계가 다른 제품에 비해 비교적 잘 설계되어 있는 편이지만, <Fig. 5>와 같이 필름커패시터 옆 IC가 붙어있는 방열판과 밀착된 부분 그리고 코일부분에서 커패시터의 Swelling이 발생한 것으로 고습조건과 기타 부품에 대한 방열 설계는 다소 미흡한 것으로 확인되었다. 이렇듯 가격 경쟁력을 위하여 저가용 소자를 사용하는 경우 당장의 설계 Spec상의 큰 차이는 나타나지 않겠지만, 장시간 사용할 경우 제품 열화의 가속화가 진행되어 신뢰성에 큰 문제가 발생할 수 있다.

<Fig. 6>은 672시간에 고장이 발생한 Type A의 육안검사 결과를 나타낸 것이다. Type A의 경우 별도의 방열판 없이 스위칭소자를 PCB 기판에 붙인 Type로써, 시험결과 스위칭 소자부분가 부착된 PCB의 기판이 검게 탄화되었음을 확인하였다.

<Fig. 7>은 Type A의 스위칭소자의 절연저항을 측정한 것으로 스위칭소자의 소손으로 절연이 파괴되었음을 확인하였고, 파손원인으로는 동일하게 방열설계가 없는 Type C의 경우와 달리 방열판 없는 상태로 PCB 기판에 부착된 상태로 열이 축적되어 절연이

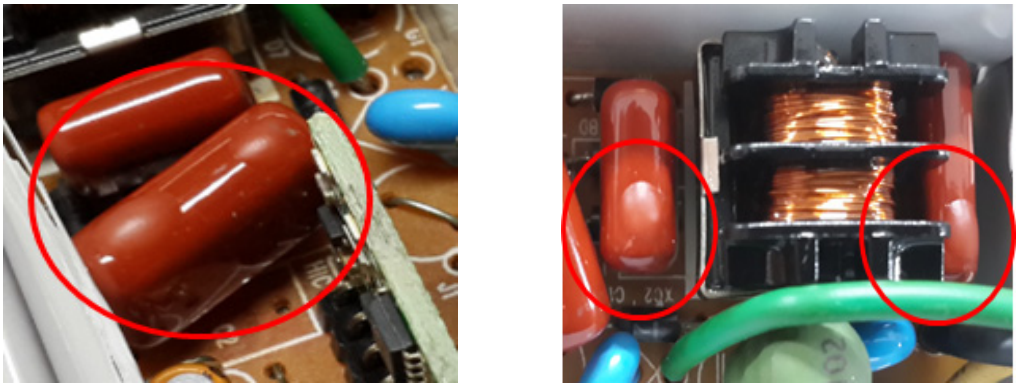
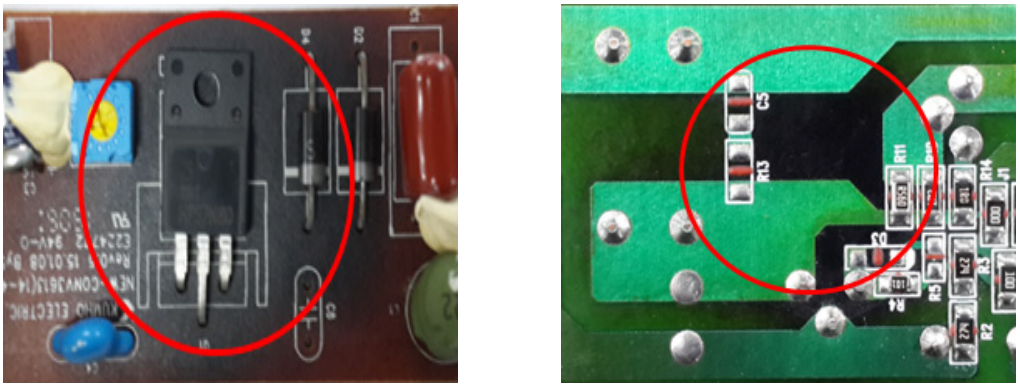


Fig. 5 Test results of the type B

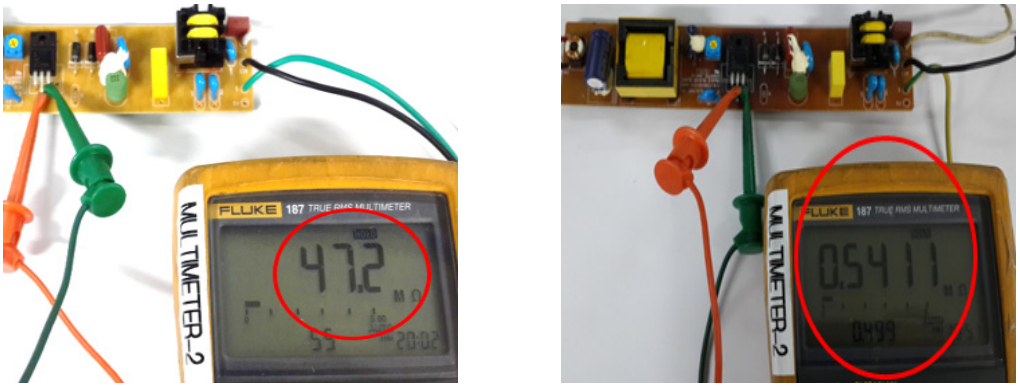
파괴된 것으로 추정되었다.

<Fig. 8>은 672시간에 고장이 발생한 Type C의 육안검사 결과를 나타낸 것이다. 다른 제품에 비해 패턴간격이 좁은 Type C의 경우는 휘스커 및 이온마이그레이션 현상이 관측되었으며, 이러한 현상으로 인해 회로간 단락이 발생하여 탄화되었다. 고장원인으로는 다른 Type에 비해 패턴간격이 좁은 패턴구조로써 고온고습한 환경에 노출될 경우 휘스커, 이온-마이그



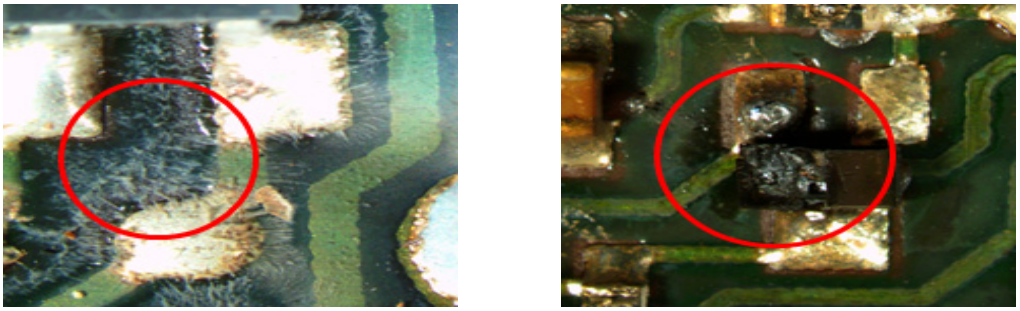
(a) Product front panel (b) Product rear panel

Fig. 6 Inspection results of the type A



(a) before the test (b) after the test

Fig. 7 Switching element breakdown of the type A



(a) PCB whisker phenomenon (b) PCB carbide phenomenon

Fig.8 Inspection results of the Type C

레이션 등에 취약한 구조를 갖게 되어 회로간 단락이 발생하는 것으로 추정되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 최근 LED 전원장치의 다양한 기능의 요구와 설계로 인해 다양하게 개발된 제품들이 신뢰성시험 중 휘스커 및 이온-마이그레이션, 방열문제, 스위칭소자 파손 등 설계 특성에 따라 서로 다른 고장메커니즘이 나타남을 확인하였고, 이러한 고장메커니즘 분석을 위해 제품 설계 특성에 따라3 가지 Type으로 분류하였다. 제품의 열화시켜 고장메커니즘을 빠른 시간 내에 확인하기 위해 85℃, 85%. R.H.의 조건에서 1,000시간 가속수명시험을 진행하였다. 시험결과 방열판 없이 스위칭소자가 PCB 기판에 부착된 Type A의 경우 열의 축적으로 인해 스위칭소자가 파손되어 고장이 발생하였고, 저가용 소자를 사용한 Type B의 경우 누설전류가 초기대비 약2배가량 증가하여 다른 Type에 비해 다소 많이 증가하였고, 메인 스위칭소자의 방열설계가 비교적 잘 되어있지만, 필름커패시터 옆 IC가 붙어있는 방열판과 밀착된 부분 그리고 코일부분에서 커패시터의 Swelling이 발생한 것으로 고습조건과 기타 부품에 대한 방열 설계는 다소 미흡한 것으로 확인하였다. Type C의 경우 PCB 패턴간격이 좁은 Type으로 휘스커 및 이온-마이그레이션 현상의 발생으로 인해 회로 간 단락이 발생하였으며, 시험을 통해 무조건 적인 소형·경량화를 추구하기 보다는 PCB 기판의 패턴라인 간격 역시 일정한 간격으로 설계가 되어야 함을 확인하였다. 시험결과를 통해 LED 전원장치의 설계특성에 따라 나타나는 고장메커니즘이 다름을 확인하였고, 이러한 시험 결과를 통해 향후 KS나 JIS에서 요구하는 고온 사이클시험, 전산해석을 통한 부품간의 열 간섭효과 분석, 핵심 발열부품의 최소 간격 분석 등의 시험을 추가 분석한다면 LED 전원장치의 신뢰성 고장분석 및 회로설계에 도움이 될 것으로 사료된다.

References

[1] IEC 60319 (1999). Presentation and specification of reliability data for electronic components.

[2] Jang, I. H. (2016). “A study on the design and analysis of degradation test for LED lamp SMPS”. PhD thesis, Chosun University.

[3] Jeon, T. B. (2007). “A Reliability Model of Electronic Ballasts for Fluorescent Lamp”. Journal of the Korean Society for Quality Management, Vol. 35, No. 2, pp. 27-37.

[4] Jang, I. H. (2016). “Main Factors that Effect on the Ion-Migration of PCB”. Journal of Applied Reliability, Vol. 16, No. 3, pp. 202-207.

[5] Lee, D. B. *et al.* (2005). “Acceleration Test of Ion Migration for PCB Electronic Reliability Evaluation”, Journal of the Korean Society for System Engineering, Vol. 9, No. 1, pp. 64-69.

[6] Lim, H. W. *et al.* (2011). “A Study on the Failure Analysis and Representation Test Method of High Frequency Transformer for SMPS”. The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 60, No. 4, pp. 766-770.

[7] RS-KORAS-KTC-002(2016), LED Electronic Control Gear for LED Modules.

[8] Shujuan, W. Hui. Z. and Hongliang, G. (2004). “Research on Parameter Optimization Design Method of Electronic Ballast Based on Orthogonal Design”. The 30th Annaul Conference on the IEEE Industrial Electronics Society, November 2-6, Busan, Korea.