

**내장형 LED 가로등의 전기적 특성 분석에 관한 연구**

**The A Study on the Electrical Property Analysis  
of Internal Type of LED Guard Light**

**김향곤\* · 길형준 · 김동욱 · 김동우 · 이기연 · 문현욱**

**김혁수 · 김명수 · 김만건**

H. K. Kim\* · H. J. Gil · D. O. Kim · D. W. Kim · K. Y. Lee · H. W. Moon

H. S. Kim · M. S. Kim · M. G. Kim

한국전기안전공사

## 1. 서 론

최근 대체 광원으로 LED 조명에 대한 세계적 관심이 고조되고 있으며 이와 관련된 기술개발과 보급이 진행되고 있다. 정부 및 지방자치단체를 중심으로 LED 조명설비의 보급을 위한 계획을 추진 중에 있으며 머지않아 기존의 광원을 대체한 LED 가로등과 보안등이 급속하게 설치될 것으로 전망된다. LED 조명은 발광다이오드를 이용하여 조명하는 방식으로 전기에너지가 빛 에너지로 바뀌는 과정에서 필연적으로 열이 발생하게 된다. 이때 발생한 열에 의해 조명설비의 성능의 저하는 물론, 수명의 저하 등을 가져온다. 또한, LED 모듈에서 발생한 열의 방출을 위한 방열설계와 충분한 조도와 고른 배광을 위한 등기구의 설계도 앞으로 해결해야할 과제중의 하나이다. 또한, LED 모듈에 적합한 최적의 전원공급을 위한 전원시스템의 설계와 전기안전을 고려한 회로설계가 요구된다.

가로등 및 보안등설비는 옥외에 노출되어 시설되는 관계로 주위의 환경적 영향을 많이 받게 된다. 특히, 먼지와 같은 이물질의 부착, 비, 눈 등과 같은 습기의 영향, 태양의 자외선 및 열에 의해 성능이 변하게 된다. 최근, LED 조명설비의 개발과 보급을 촉진하기 위하여 LED 조명과 관련된 전기용품안전기준(K)이나 한국산업규격(KS) 등이 제개정되고 있으며[1-6], 전기안전에 대한 성능 검증과 안전 확보를 위한 지속적인 연구와 기술개발이 요구된다[7, 8]. 본 논문에서는 전력변환장치가 등기구에 내장된 형태의 LED 가로등의 전압, 전류 등 전기적 특성, 각부의 열적 특성, 절연 특성에 대하여 실험, 분석하였다. 연구결과는 LED 조명설비의 전기안전과 사고조사를 위한 자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 이론적 배경

LED 가로등설비는 옥외에 시설되는 전기설비로 주위의 환경적 영향 즉, 자체의 발열이나 외부의 습기, 먼지 등에 의해 성능이 저하하게 된다. LED 가로등기구에는 등기구 내부로의 습기 유입 또는 온도차에 의한 습기 발생 등으로 극간이나 단자와 외함 사이의 절연이 열화하여 누설전류가 흘러 화재나 감전사고가 발생할 수 있다. 이러한 전기재해를 사전에 예방하기 위하여 전기설비의 절연상태를 확인하고 일정 값 이상을

유지하도록 규정하고 있다. 아래에 LED 가로등설비의 절연성능에 대하여 전기설비기술기준[9], 전기용품안전기준(K), 한국산업규격(KS) 등을 조사, 분석하였다[10].

## 2.1 전기설비기술기준의 분석

전기설비기술기준의 판단기준 제13조(전로의 절연 및 절연내력)에 의하면 “사용전압이 저압인 전로에서 정전이 어려운 경우 등 절연저항 측정이 곤란한 경우에는 누설전류를 1[mA] 이하로 유지하여야 한다.” 라고 규정하고 있으며, 제52조(저압전로의 절연성능)에서 “전기 사용 장소의 사용전압이 저압인 전로의 전선 상호간 및 전로와 대지간의 절연저항은 개폐기 또는 과전류차단기로 구분할 수 있는 전로마다 다음 Table 1에서 정한 값 이상이어야 한다.” 라고 규정하고 있다. 결과적으로 단상 220[V]의 전압을 수전받는 LED 조명설비는 0.2[MΩ] 이상의 절연을 유지하여야 한다(Table 1).

Table 1. 사용전압과 절연저항

전로의 사용전압 구분		절연저항
400V 미만	대지전압(접지식 전로는 전선과 대지간의 전압, 비접지식 전로는 전선간의 전압을 말한다. 이하 같다)이 150V 이하인 경우	0.1 MΩ
	대지전압이 150V 초과 300V 이하인 경우	0.2 MΩ
	사용전압이 300V 초과 400V 미만인 경우	0.3 MΩ
400V 이상		0.4 MΩ

## 2.2 전기용품안전기준(K)의 분석

전기용품안전관리법에 따라 LED 가로등 및 보안등의 등기구, 조명기구용 컨버터(전원공급장치 포함)는 안전인증대상이며, LED 램프는 자율안전 확인대상이다. 일반 조명용 LED 모듈의 안전요구사항은 K 62301(IEC 62301 2008)에서 규정하고 있으며 K 61347-1(램프구동장치 제1부:일반 및 안전요구사항, 2006)의 11절의 요구사항을 적용하도록 하고 있다. 시험은 직류 500[V] 절연저항계로 절연저항을 측정하며 절연된 덮개나 외함으로 된 제품은 금속호일로 싸며, 기초 절연의 절연저항은 2[MΩ]이상이어야 한다. 측정점은 분리되어 있거나 분리할 수 있는 다른 극성의 충전부사이, 충전부와

외부 부품사이(고정 볼트 포함), 충전부와 조절단자 사이이다. 절연저항 측정시 모든 출력단자와 접지단자 사이의 내부 연결 또는 부품은 제거하도록 하고 있다.

### 2.3 한국산업규격(KS)의 분석

LED 가로등 및 보안등기구의 안전과 성능의 요구사항에 대하여 KS C 7658(2009)에서 규정하고 있으며, 절연저항은 KS C IEC 60598-1(등기구-제1부 : 일반요구사항 및 시험, 2008)의 10.2에 따르며 시험방법은 시험대상에 대략 500[V] 직류전압을 적용한 후 측정하며, 등기구의 SELV 부분의 절연측정에 대해서는 DC 100[V]를 인가하여 측정한다. 측정된 절연저항 값은 Table 2의 절연저항 값보다 작아서는 안 된다 (Table 2).

Table 2. LED 가로등 및 보안등기구의 절연저항

구 분	최소값	시험전압
1종 등기구	2M $\Omega$	직류 500V, 1초
금속제 외함의 2종 등기구	2M $\Omega$	직류 500V, 1초
인가전압 25V 이상의 금속제 외함의 3종 등기구	2M $\Omega$	직류 100V, 1초
외함 절연형 2종, 3종 등기구	적용하지 않음	

### 3. 실험방법

Fig. 1은 내장형 LED 가로등의 전기, 열적 특성을 측정하기 위한 실험장치의 구성을 나타낸 것이다. AC/DC 전력변환장치(컨버터) 1차측과 2차측의 전압, 전류 특성을 측정하였으며 AC측은 전력품질분석기(PQM, PNA-560, Dewetron, Austria)와 전류 프르브(MN45, Chauvin Arnoux, France)를, DC 측은 OS(TDS-3052, Tektronix, USA)와 전류 프르브(PR630, LEM, UK)를 연결하여 측정하였다. 각부의 열 특성은 LED 등기구, 컨버터, LED 모듈 등에 대하여 실시간 영상·열분포 측정시스템(TI45FT, Fluke, USA)을 이용하여 온도분포와 발열 온도를 측정, 분석하였다. 절연 특성은 절연저항측정기(1587, Fluke, USA)를 이용하여 컨버터의 1차측(AC측), 2차측(DC측), 외함 간의 절연저항을 측정하였다.



Fig. 1. LED 가로등(내장형)의 전기적 특성 측정 모습

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 LED 가로등(150W, 내장형)의 외형 및 구조 분석

Fig. 2는 LED 가로등(내장형, 150W, 75W×2)의 외형과 구조를 나타낸 것이다. 컨버터는 2개로 1개는 등기구 내부에 1개는 전원 접속부분에 위치하며 각각의 컨버터에서 변환된 DC 전원은 3개의 모듈에 각각 공급하도록 되어 있다. 등기구는 방열구조로 되어 있으며 각각의 LED 모듈도 방열할 수 있는 구조로 되어 있다. 등기구 내부의 방열 부분의 접촉 또는 축열된 열에 의해 내부 절연물이 열열화할 수 있을 것으로 생각된다.

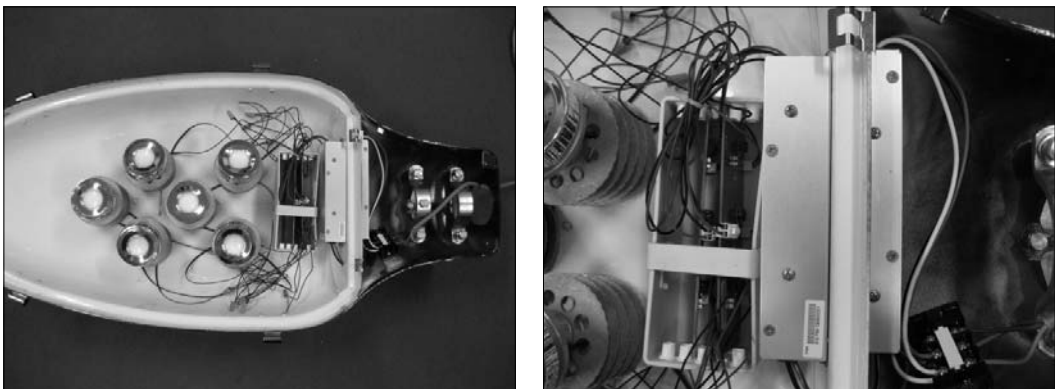
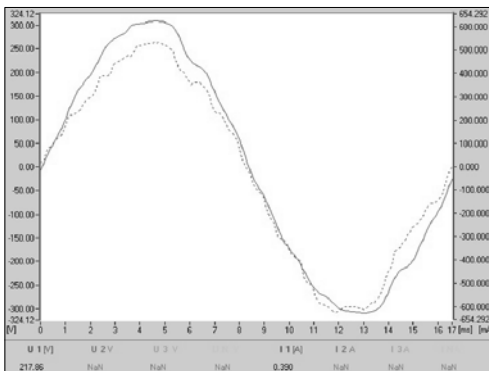


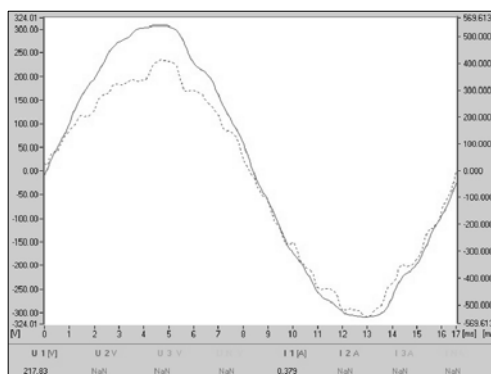
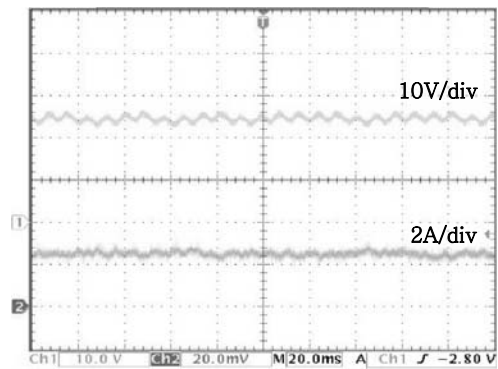
Fig 2. LED 가로등(내장형)의 외형 및 내부 구조

## 4.2 전기적 특성 분석

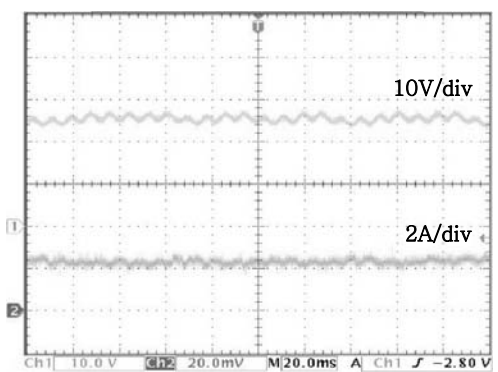
Fig. 3은 입력측의 전압, 전류파형과, 출력측(컨버터 1)의 전압, 전류파형을 나타낸 것이다. AC 입력측의 전압, 전류는 등기구의 단자대에서 측정(전체 부하대상)하였으며 컨버터 출력측의 전압 전류에 대해서는 두 개의 컨버터 중 컨버터1에서 변환되는 전압과 전류에 대하여 측정하였다. 입력전압은 약 217.83~219.31Vrms였으며 전류는 0.374~0.390Arms로 측정되었다. 컨버터1의 출력측 전압은 24.6~25.9Vrms, 전류는 2.16~2.5Arms로 측정되었으며, 전압, 전류파형은 상층부에 약간의 톱니파가 포함된 형태를 나타냈다. Fig. 3(a)은 실험개시시의 컨버터1의 1차측(AC측)과 2차측(DC측)의 전압, 전류 파형으로 1차측은 217.86V, 0.390A, 2차측은 24.6V, 2.5A로 측정되었다. Fig. 3(d) 60분이 경과한 때의 전압, 전류 파형을 나타낸 것으로 1차측은 219.31V, 0.381A, 2차측은 25.9V, 2.16A을 나타냈다.

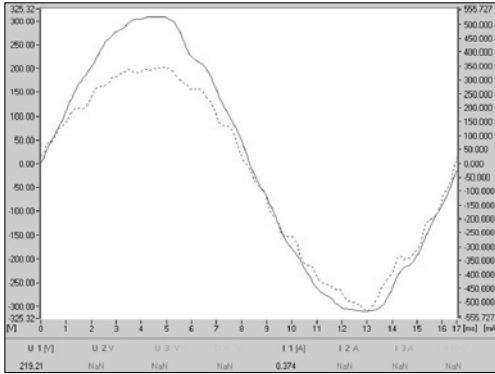


(a) 실험 개시(좌 : 217.86V, 0.390A, 우 : 24.6V, 2.5A)

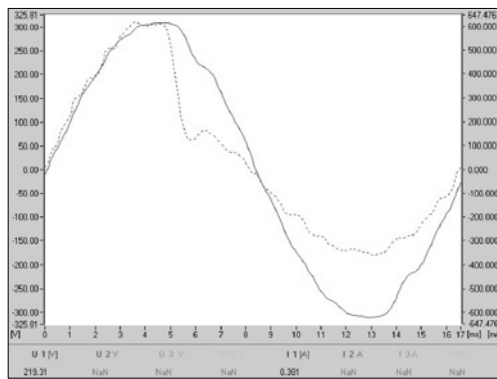
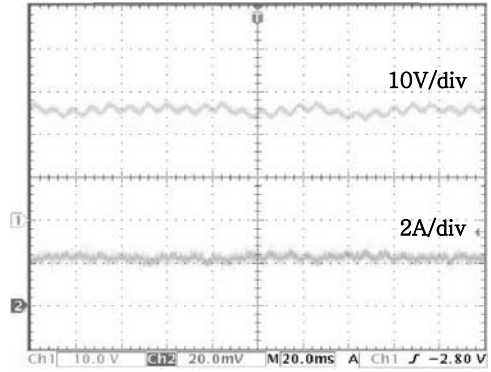


(b) 20분 경과시(좌 : 217.83V, 0.379A, 우 : 25.5V, 2.31A)





(c) 40분 경과시(좌 : 219.21V, 0.374A, 우 : 25.7V, 2.24A)



(d) 60분 경과시(좌 : 219.31V, 0.381A, 우 : 25.9V, 2.16A)

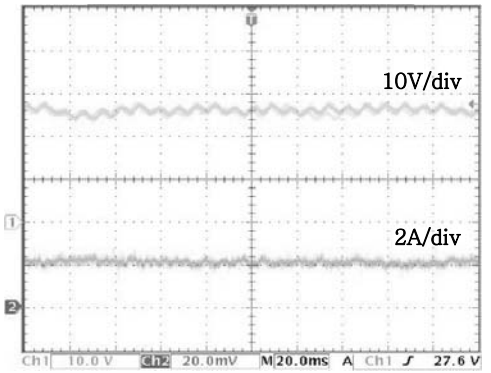


Fig. 3. 전압, 전류 등 전기적 특성 분석

### 4.3 열적 특성 분석

Fig. 4는 LED 가로등의 커버를 벗겨내고 1시간 경과시 각부의 온도분포를 실시간 영상-열분포 측정시스템(TI45FT, Fluke, USA)을 이용하여 측정한 결과이다. LED 모듈은 약 55℃로 측정되었으며, PCB 안쪽부분은 각각 65.6℃와 63.3℃를 나타냈다. 컨버터는 최대 51.7℃로 측정되었다. 등기구 측면은 40℃ 이내의 온도를 나타냈으며 위치에 따라 열 분포에 차이가 있음을 알 수 있었다.

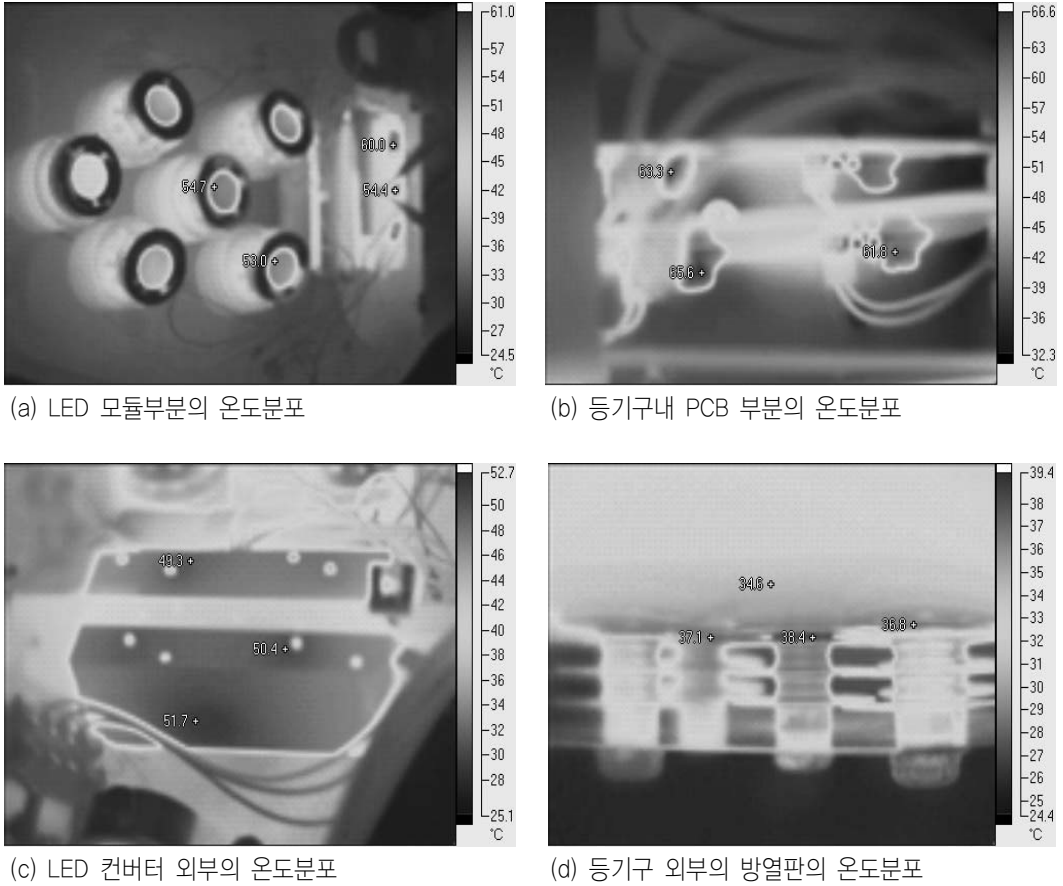


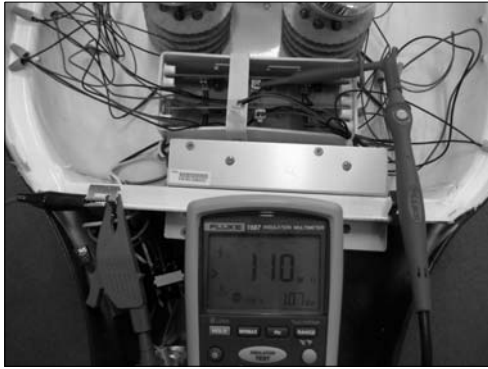
Fig. 4. 내장형 LED 가로등의 온도 분포 측정 및 분석

#### 4.4 절연 특성 분석

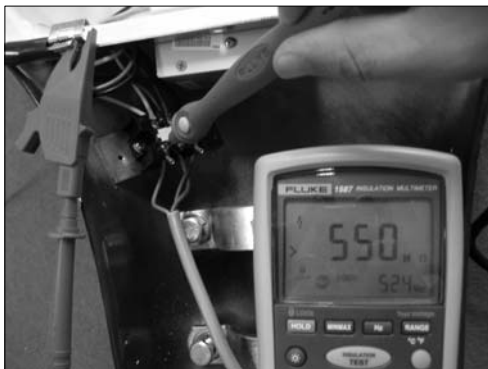
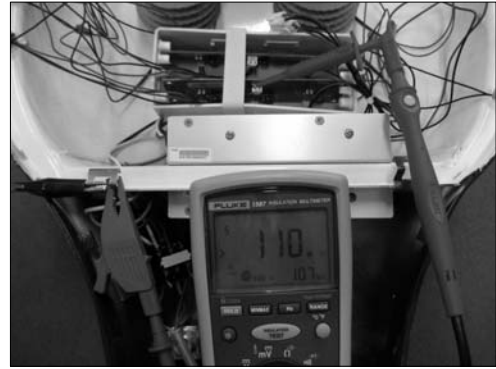
LED 가로등의 컨버터 1:2차측 단자와 등기구 외함 간에 각각 DC 500V와 DC 100V의 시험전압을 인가하여 절연저항을 측정하였다(Table 3 참조). Fig. 5는 절연저항 측정 모습을 나타낸 것이다. LED 모듈 자체의 절연저항을 측정한 결과, 110M $\Omega$ 으로 양호한 값으로 측정되었으며, 1차 단자와 외함 간, 2차 단자와 외함간의 절연저항을 측정한 결과 각각 110M $\Omega$  및 550M $\Omega$ 으로 양호한 값을 나타냈다. 또한, 1차 단자(line1, Line2)와 2차 단자 각각에 대한 절연저항을 측정한 결과, 110M $\Omega$ 으로 양호한 값을 나타냈다. 1차 단자(접지)와 2차 단자(+극 및 -극) 간의 절연저항 측정을 측정한 결과, 컨버터 1은 양호한 값을 나타냈으나 컨버터 2는 0.0M $\Omega$ 으로 절연불량을 나타냈다. 측정결



과에서 볼 수 있듯이 2개중 1개의 컨버터는 1차측 단자(접지측)와 2차측 단자(+극, -극)의 절연이 좋지 않은 것을 알 수 있으며 컨버터의 설계 및 성능확인을 철저히 하여 전기안전성을 확보하는 것이 요구된다.



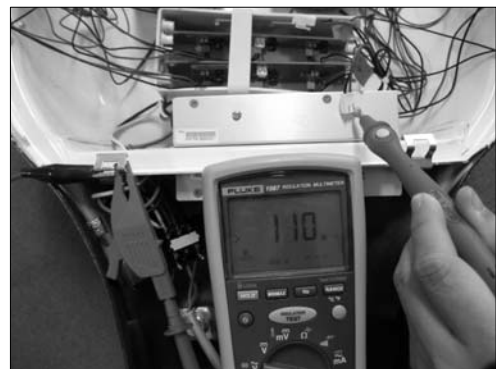
(a) LED 모듈과 외함의 절연저항 측정(100Vdc 인가)

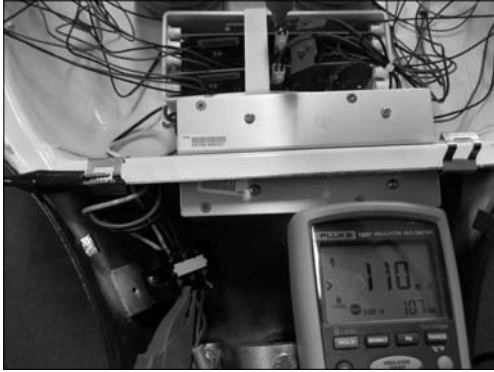


(b) 컨버터 1차 단자와 외함의 절연저항 측정(500Vdc 인가)



(c) 컨버터 2차측과 외함의 절연저항 측정(100Vdc 인가)

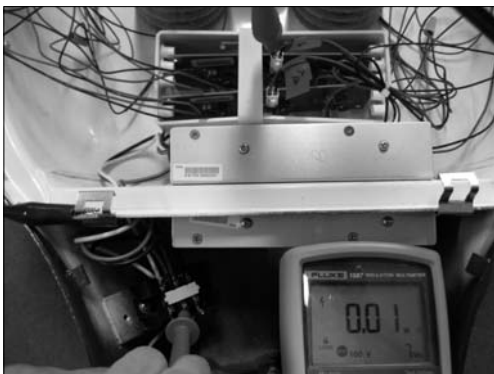




(d) 컨버터 1차측(line1)과 2차측의 절연저항 측정(100V)



(e) 컨버터 1차측(line2)과 2차측의 절연저항 측정(100V)



(f) 컨버터 1차측(접지선)과 2차측의 절연저항 측정(100V)

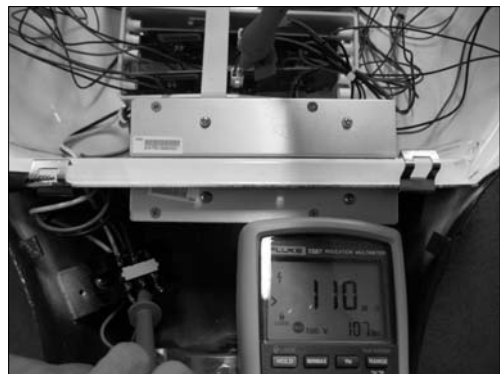


Fig. 5. LED 가로등의 단자와 외함 간의 절연저항 측정

Table 3. LED 가로등(150W, 내장형) 절연저항 측정 결과표

구분	측 정 점		실험전압[VDC]	측정결과[MΩ]			
1	자체	(등기구) +극 : 외함	100	110	110		
2		(등기구) -극 : 외함	100	110	110		
3	회로 결선	AC 라인	Line1 : 외함	500			
4			Line2 : 외함	500			
5			Ground Line : 외함	0.0			
6		컨버터 1	+극 : 외함	100			
7			-극 : 외함	100			
8			Line1 : +극 / -극	100	110	110	
9			Line2 : +극 / -극	100	110	110	
10			Ground Line : +극	100			
11			Ground Line : -극	100			
12			컨버터 2	+극 : 외함	100		
13				-극 : 외함	100		
14				Line1 : +극 / -극	100	110	110
15				Line2 : +극 / -극	100	110	110
16		Ground Line : +극		0.0			
17		Ground Line : -극		0.0			

## 5. 결 론

이상과 같이 내장형 LED 가로등의 전기적, 열적, 절연특성, 난연 특성 등을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 기준의 분석결과, LED 가로등설비는 전기설비기술기준에 의해 0.2MΩ 이상의 절연저항을 확보하여야 하며 KS 7658에 의해 직류 500V나 100V의 전압을 인가하였을 때 2MΩ 이상의 절연저항을 유지하여야 한다.
- 2) 구조 분석결과, 실험대상인 LED 가로등은 전력변환장치가 등기구에 내장된 형태로, 소형 1개의 컨버터(PCB 포함)에 3개의 LED 모듈이 조합된 형태로 2세트 구성되어 있다. 등기구 내부의 LED 모듈에 방열판이 부착되어 있으며, 등기구 외부에도 방열판이 있는 구조이다. 전원선을 접속하는 단자대는 외부의 수분이 쉽게 침입되는 구조로 되어 있어 방수 기능의 보완이 요구된다.

- 3) 전기적 특성을 측정한 결과, AC측의 전압은 정현파를 보이며, 전류파형은 약간 찌그러진 파형을 보였다. DC측의 전압과 전류 파형은 선형적인 파형을 보이나 약간의 톱니파형이 포함됨을 볼 수 있다.
- 4) 열적 특성을 분석한 결과, 등기구 내의 PCB에 부착된 소자의 발열이 상대적으로 높음을 알 수 있으며(1시간 경과시, 최대 65.5℃), 컨버터는 최대 51.7℃로 측정되었다. 등기구 내부에서 발생한 열에 의해 내부의 배선이나 소자가 열 변형하거나 소손되지 않도록 적절한 방열 구조나 장치의 적용이 요구된다.
- 5) 절연저항 측정 결과, 컨버터 1의 1차 단자(접지)와 2차 단자(+극 및 -극) 간의 절연저항을 제외하고, 전기설비기술기준이나 KS 규격에서 정하고 있는 규정 값 이상의 절연저항을 나타내고 있어 절연성능이 양호함을 알 수 있었다. 감전사고 등의 예방을 위하여 제품의 설계, 제작, 성능 검증을 보다 철저히 하여 안전을 확보하는 것이 요구된다.

본 논문은 지식경제부에서 시행하는 전력산업원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 지식경제부 기술표준원, “KS C 7658(LED 가로등 및 보안등기구의 안전 및 성능 요구사항” , 2009.
2. 지식경제부 기술표준원, “KS C IEC 61347-2-13(램프구동장치-제2-13부:LED 모듈용 DC/AC 전원전자구동장치에 관한 개별요구사항” , 2008.
3. 지식경제부 기술표준원, “KS C IEC 62031(일반조명용LED 모듈-안전요구사항)” , 2008.
4. 지식경제부 기술표준원, “KS C 7651(컨버터 내장형 LED 램프의 안전 및 성능요구사항” , 2009.

5. 지식경제부 기술표준원, “KS C 7652(컨버터 외장형 LED 램프의 안전 및 성능요구사항)”, 2009.
6. 이명수, “LED 조명산업 및 표준화 이슈”, 한국조명전기설비학회 2009년 추계학술대회, 전문워크샵, pp.79-90, 2009.
7. 김향곤, 최충석, “LED 가로등의 발열 패턴 및 전류 특성에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지, Vol.58P, No.3, pp.357-361, 2009.
8. 김향곤, 문현욱, 이기연, 김동우, 최효상, “DC 전원설비 접속부에서의 접촉불량에 의한 발열특성 분석”, 대한전기학회 하계학술대회, 무주리조트, pp.2158-2159, 2009.
9. 지식경제부, “전기설비기술기준의 판단기준”, 제2009-60호, 2009.
10. 김향곤, 길형준, 김동욱, 김동우, 최효상, “LED 가로등 및 보안등설비의 절연저항 측정에 관한 연구”, 대한전기학회 전기설비전문위원회 추계학술대회, pp.155-157, 2009.