

## AC/DC 12~254 V로 동작하는 방폭 LED Signal Lamp용 방폭 회로의 특성 분석

정민주<sup>1,2</sup>, 허인성<sup>1,2</sup>, 강인철<sup>3</sup>, 유영문<sup>1,2,a</sup>

<sup>1</sup> 부경대학교 과학기술융합전문대학원 LED융합공학전공

<sup>2</sup> 부경대학교 LED-해양 융합기술 연구센터

<sup>3</sup> (주)엘스컴

## Characteristic Analysis of a Ex Circuit of Ex LED Signal Lamp Operating with AC/DC 12~254 V

Min-joo Jeong<sup>1,2</sup>, In-Sung Her<sup>1,2</sup>, In-Cheol Kang<sup>3</sup>, and Young-Moon Yu<sup>1,2,a</sup>

<sup>1</sup> LED Convergence Engineering, Specialized Graduate School Science and Technology Convergence  
 Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

<sup>2</sup> LED-Marine Convergence Technology R&BD Center, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

<sup>3</sup> ELSCOM, Inc., Busan 617-050, Korea

(Received October 13, 2014; Revised October 24, 2014; Accepted October 24, 2014)

**Abstract:** In this paper, we develop a explosion-proof LED lighting (Ex circuit) circuit of Explosion-proof LED Signal Lamp (Ex LSL) to utilize the core module of the explosion-proof Local Control System (Ex LCS) for offshore plant applications. And then analyzed its electrical, optical and thermal characteristics. Ex circuit was applied input voltage from AC/DC(12~254) V. In this experiments, stable light-on characteristics were confirmed by eyes for the every input voltages with min. 78,462 and max. 517,975  $cd/m^2$  of luminance. also Output current and output luminance was made proportional. Because the measured maximum surface temperature of Ex circuit was 54.23°C at AC 48 V, Ex circuit was rated with T6 of temperature class. Finally, Ex circuit was shown stable light on characteristics under the -50°C and 60°C during 12 hours of test period.

**Keywords:** Explosion-proof, LED circuit, Ex LED signal lamp, Class of temperature

### 1. 서론

우리나라 해양플랜트 산업은 세계시장 1위라는 조

a. Corresponding author: ymyu@pknu.ac.kr

Copyright ©2014 KIEEME. All rights reserved.  
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

선 산업을 바탕으로 크게 활성화 되고 있다. FPSO, Drillship 등의 초대형 부유식 시추 및 생산설비, 초대형 Drillrig Rig, Spar 등의 부유식 설비가 우위를 점 유해 가고 있으며, 조선해양 3사는 전 세계에서 발주된 대형 시추와 부유식 해양플랜트 건조 1위 국가가 되었다 [1,2].

기자재 국산화율이 90%에 달하는 상선 분야와는 달리 해양플랜트 분야에서는 전체 건조 원가의 큰 부

분을 차지하는 기자재 분야의 해양플랜트 국산화 비율이 20% 미만이다 [3,4].

최근 원유, 천연가스 등 자원개발 수요가 급증하고 있다. 해양플랜트 산업에서 취급하는 물질의 대다수가 고압환경 하의 석유나 가스이기 때문에 폭발이나 충격에 대한 고려가 필요하다. 폭발성 물질은 대기 중 산소와 혼합되어 위험 분위기 (hazardous atmosphere)를 형성하므로 폭발을 방지하기 위해서는 위험 분위기의 생성을 억제하거나 점화 원을 위험 분위기로 부터 격리시켜야 한다. 그러나 위험 분위기의 생성자체를 억제하는 일은 매우 어려운 일이다. 그러므로 점화 원을 격리시키는 방법의 하나인 내압방폭 (Ex d) 전기기기는 경제적이며 현실적인 방법이다.

Ex Local Control Station (Ex LCS)은 전기설비 및 전기기기들을 제어하는 on/off 스위치로서, 안전증방폭 하우징 안에 내압방폭형 LED Signal Lamp (Ex LSL)와 내압방폭형 actuator가 내장되며, 하우징 위에 안전증방폭형의 push button, volt meter, ampere meter가 설치된 복합 방폭 기자재이다. 내압방폭구조는 밀폐 또는 제한된 공간을 가지는 설비 내에서 폭발이 발생할 때 용기가 그 압력에 견디어 내는 방폭 구조를 의미한다. 안전증방폭구조는 점화원의 발생을 방지하기 위해 기계적, 전기적 구조 또는 온도상승에 대한 안전도를 증가시킨 구조를 의미한다. Ex LCS 또한 전기설비이며 점화원이 될 수 있기 때문에 방폭 규격에 맞게 설계가 되어야 한다 [5-7]. Ex LSL은 선박 내외의 다양한 전압 범위를 가진 전기기기들의 on/off 동작 상태를 표시하는 램프이므로 Ex LSL 또한 넓은 입력전압 범위에서도 점등이 가능해야 한다. 그러나 Ex LSL은 국내에서는 개발이 되지 않고, 대부분 10년 이상 된 외국제품을 수입을 하고 있다.

본 논문에서는 넓은 입력 범위 인가 시 점등이 가능한 Ex LSL의 회로를 개발 및 특성 분석을 하고자 하였다. 광원으로 LED를 사용함으로써 친환경, 장수명, 고효율의 장점을 지니게 하였으며, 방폭 등급은 Ex d IIC T6 성능을 목표로 설계하였다. 해양플랜트 산업에 쓰이는 Ex LSL은 다양한 전압 범위를 가진 전기설비에 대한 적용이 가능해야 한다. 따라서 제너 다이오드 안정화 회로와 Buck 컨버터를 결합하여 LED의 점등이 가능하도록 회로를 설계한 후 외부로부터 입력전압 AC/DC 12~254 V를 회로에 인가하였다. 외부 인가전압 변화에 따른 LED의 출력전압 특성과 휘도의 변화 특성을 측정하였다. 또한, 방폭 회로의 인가전압 변화에 따른 회로의 표면온도 변화를

측정하여, 방폭 온도 등급을 판정하였다. 마지막으로 -50℃, +60℃에서 LED의 점등 유무를 확인하여 개발 기준인 외부온도 -40~+60℃ 동작 여부를 확인하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 이론 고찰

#### 2.1.1 방폭 등급 Ex d IIC T6

방폭형 전기설비의 경우, 방폭 규격 KS C IEC 60079를 바탕으로 하여 방폭 등급 맞게 설계가 되어야 한다. 방폭 규격 규정 주위온도 (-20~+40)℃에서 Ex LSL의 경우 Ex d IIC T6 등급에 적합하도록 설계되어야 한다. 방폭 등급 결정하는 방법은 표 1, 2, 3과 같다.

Table 1. Electrical equipment classified

Classification	Contents
Group I	Electrical equipment of explosive methane gas mining
Group II	Electrical apparatus for explosive gas atmosphere other than mines for explosive methane gas.

Table 2. Classification of gases and vapours into explosion groups and temperature classes.

	I	IIA	IIB	IIC
T1	Methane	Aceton (exempt 13)	Town gas	Hydrogen
T2		Ethanol (exempt 6)	Ethylene (exempt 1)	Ethine
T3		Brnzine (exempt 7)	Ethylene (exempt 1)	
T4		Ethyl ether (exempt 1)	Ethyl ether	
T5				
T6				Carbon disulphide

표 3과 같이 Ex LSL은 저전력 전기기기이기 때문에 표면온도 등급인 T6를 표기하였다. T6의 경우 최고 표면온도에 대한 형식 시험을 실시하여야 하는 그룹 II 전기기기의 경우 온도 등급보다 5℃ 낮은 온도를 설정하기 때문에 80℃를 만족해야 한다 [8,9].

**Table 3.** The maximum surface temperature of the electrical device group II classification.

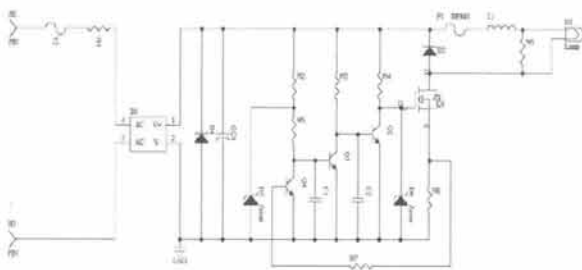
Grade	Maximum surface temperature of electrical equipment (°C)	Ignition temperature of the combustible gas stream<AT> (°C)
T1	450	450 <
T2	300	300 < AT ≤ 450
T3	200	200 < AT ≤ 300
T4	135	135 < AT ≤ 200
T5	100	100 < AT ≤ 135
T6	85	85 < AT ≤ 100

## 2.2 Ex LED signal lamp의 방폭회로 개발

Ex LSL의 개발 기준은 표 4와 같이 방폭 등급은 Ex d IIC T6를 만족하면서, 입력전원 AC/DC 12~254 V를 인가하여 LED 램프가 구동을 해야 한다. 또한 외부 온도 -40~+60°C에서도 동작이 가능해야 한다.

**Table 4.** Criteria of development.

Item	Development standards
Input power	AC/DC 12~254 V
Explosion proof grade	Ex d IIC T6 (85°C)
Operating temperature	-40~+60°C



**Fig. 1.** Schematic of the Ex LED signal lamp.

그림 1은 Ex LSL의 회로도이다. Ex LSL은 Ex LCS의 내부에 들어간 후 한 번 더 케이스가 되기 때문에 PCB 크기가 최소화 되어야 한다. DF10S 브리지 정류기를 사용하여 AC/DC 12~254 V 입력을 DC

로 변환하면서 PCB 사이즈를 최소화하였다.

AC와 DC단의 노이즈 제거를 위해 입력단과 출력부에 필터를 사용하였다. AC 입력단에서 나오는 돌입전류로 인한 폭발을 방지하기 위해 과전류 퓨즈를 선정하였으며, 정류기 출력부 전압 평활을 위한 전해 콘덴서 외에 TVS 다이오드를 선정하여 소자의 파손을 방지했다.

Ex LSL은 정전압 방식으로 높은 입력전압을 낮은 출력전압으로 변환하는 BUCK 컨버터 방식 앞단에 DL52XX시리즈의 제너다이오드를 입력단을 거친 저항  $R_2$ 와 직렬로 연결하여 부하에 일정한 전압을 공급하게 하였다. 부품의 경우 극한 환경에서도 동작가능 여부를 고려하여 최종 동작온도 (-40~85°C) 되도록 설정하였다. 기기의 표면온도 등급인 T6(85°C)를 만족하기 위해 DF84S인 온도퓨즈(85°C)를 출력 측에 부착하여 온도 퓨즈가 85°C 이상 넘어가면 자동으로 회로가 단락되게 하였다. 광원을 포탄형 LED를 선정함으로써 친환경, 장수명, 고효율의 장점을 갖도록 하였다.

## 2.3 전기적 특성 실험

입력전원 AC/DC 12~254 V를 인가 시 LED의 출력전압 및 출력전류 측정하여 정전압 회로에 적합한지를 확인하였다. 외부환경 25°C에서 EC1000인 AC/DC 전원공급기를 사용하여, AC/DC (12, 48, 110, 220, 254) V 총 10개의 전압값을 인가하였다. 출력 전압과 전류는 DPO 7054C 오실로스코프를 이용하여 측정하였다.

## 2.4 휘도 특성 실험

입력전원 AC/DC 12~254 V를 인가 시 LED의 육안으로 식별이 가능한지 확인 여부와 출력전류에 대한 출력휘도의 비례 여부를 확인하였다. 외부 광 차단을 위해 암실에서 입력전원 AC/DC (12, 48, 110, 220, 254) V 총 10개의 전압 값을 EC1000 전원공급기를 이용해 인가한 후 CS-200 색채 휘도계를 사용하여 전압별로 광원과 1 m 거리를 둔 후 측정을 실시하였다.

## 2.5 온도 특성 실험

Ex LSL은 KS C IEC 60079-0 방폭기기 일반 요

구 사항에 해당하는 전기기기의 최대 표면온도 등급인 T6(85℃)에 적합여부를 확인하였다. 외부환경온도의 영향을 받지 않기 위해 방풍실에서 25℃로 설정한 후 VarioCAM® high resolution 열화상 카메라를 사용하여 입력전원 AC/DC (12, 48, 110, 220, 254 V) 총 10개의 전압 값을 EC1000 전원공급기를 이용해 인가하여 1시간씩 측정을 하였다.

### 2.6 점등 특성 실험

선박에서 Ex LSL은 상용전원 AC 220 V에서 대부분 사용이 된다. 외부환경 온도 (-50~60℃)에서 입력전원 AC 220 V를 인가 시 점등 유무를 확인하였다. C7-1500인 항온항습챔버 내부에 Ex LSL을 배치 후 EC1000 전원공급기를 이용해 220 V에서 극한환경 조성을 위해 -50℃, +60℃의 온도를 설정을 한 후 각각 12시간 동안 방치하여 측정하였다.

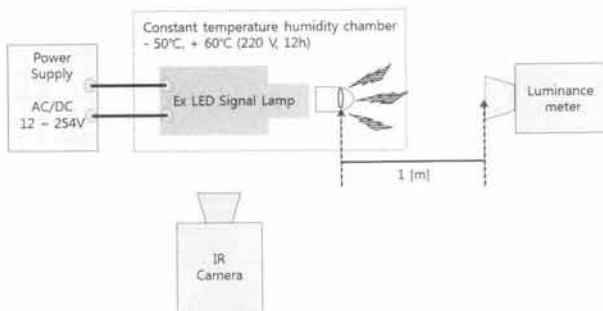


Fig. 2. Experimental procedure.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 전기적 특성 분석

Ex LSL을 AC/DC 입력전압 가변 시 출력전압과 출력 전류는 그림 3과 같다. Ex LSL은 정전압 회로이므로 입력전압 가변 시 LED를 점등시킬 수 있는 일정한 출력전압을 공급할 것으로 예상했다. 그 결과 AC입력전압을 인가 시 출력전압은 약 (2 ~ 2.4) V로 전압 변화 차가 약 0.4 V이며, DC입력전압 인가 시 출력전압 (2~2.8) V로 전압변동 차가 약 0.8 V로 변화가 거의 없기 때문에 정전압 방식의 회로 설계가 된 것을 확인하였으며, 부하에 일정한 전압을 출력 전압을 공급하는 것을 알 수 있었다.

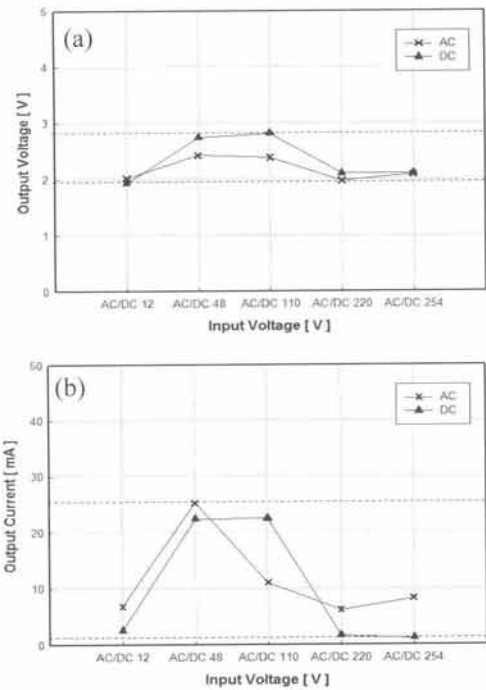


Fig. 3. AC/DC input voltage at the output. (a) output voltage and (b) output current.

### 3.2 휘도 특성 분석

Ex LED signal lamp의 AC/DC 입력전압 가변 시 출력에 대한 휘도 특성 측정은 그림 4와 같다.

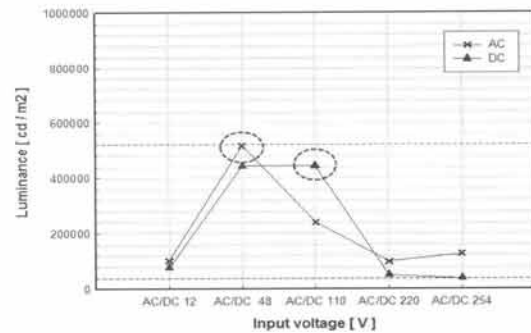


Fig. 4. Ex LED signal lamp luminance characteristics.

AC/DC의 전압을 가변하면서 출력에 대한 휘도를 측정된 결과 AC 48 V와 DC 110 V에서 각각 (517,975  $cd/m^2$ ), (443,220  $cd/m^2$ )으로 측정되어 휘도가

가장 높았고, DC 12 V에서 78,462  $cd/m^2$ 로서 가장 낮은 값을 보였으나 육안으로 점등을 확인할 수 있었다. 또한, 출력 전류의 세기에 비례하여 휘도도 동일하게 변한 것으로 판단되어, 전류와 휘도가 서로 비례하는 것을 알 수 있었다.

**3.3 방폭 회로의 표면온도 특성 분석**

입력전압 가변에 따른 방폭회로의 표면온도 변화는 그림 5와 같다.

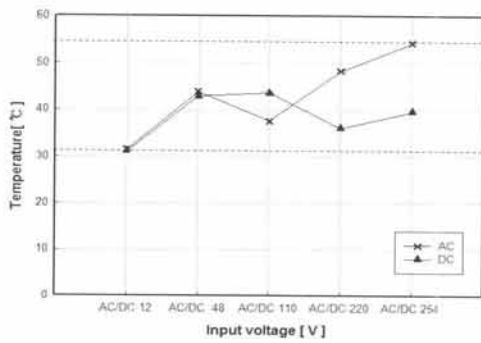


Fig. 5. Ex LED signal lamp temperature characteristics.

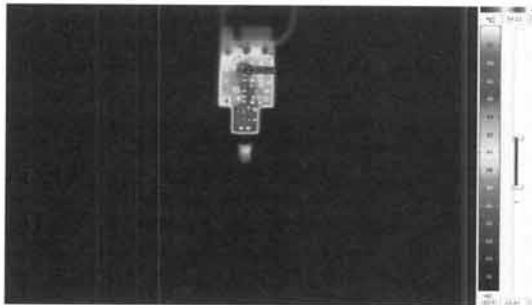


Fig. 6. IR camera measurements (AC 254 V).

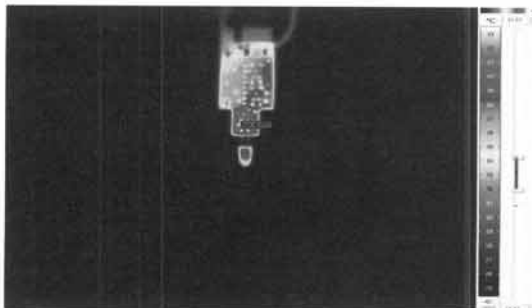


Fig. 7. IR camera measurements (DC 110 V).

AC와 DC 전압인가 시 최대 온도를 나타내는 열화상카메라 측정 결과는 그림 6, 7과 같다. 그 결과 최대 표면온도는 AC 254 V일 때 MOSFET의 인가되는 저항의 온도가 54.23°C, DC 110 V일 때 MOSFET의 온도가 43.57°C로 측정되었다. 방폭회로의 표면온도 등급은 측정 결과를 바탕으로 T6(85°C)로 판단되었다.

**3.4 점등 특성 분석**

Ex LSL에 입력전원 220 V를 공급하고 각각 -50°C, +60°C에서 12시간 동안 방치하여 점등 유무를 확인한 결과 그림 8, 9와 같다.

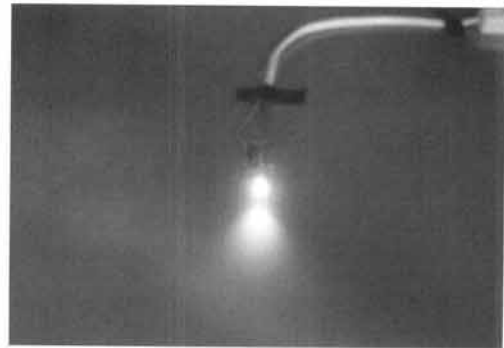


Fig. 8. Lighting characteristics test (- 50°C).



Fig. 9. Lighting characteristics test (+ 60°C).

그 결과 챔버 내에 Ex LSL을 상용전원 220 V를 공급하여 점등한 결과 각각 -50°C, +60°C에서 점등이 확인되어, 개발 기준인 외부환경 온도 -40°C~60°C를 만족하며, 극한 환경에서도 점등이 가능할 것으로 판단되었다.

#### 4. 결 론

넓은 입력 범위 인가 시 점등이 가능한 Ex LSL의 방폭 회로를 개발 및 특성을 분석하였다.

1. 제너다이오드 안정화 회로 및 BUCK 컨버터를 조합한 정전압 회로를 개발하여 입력전압 AC/DC 12~254 V에 대해서 AC전압 인가 시 출력전압은 2.0~2.4 V, 전압 변화 차 0.4 V이었으며, DC전압 인가 시 2~2.8 V, 0.8 V로 안정된 출력전압을 얻었다.

2. 최저 휘도는  $78,462 \text{ cd/m}^2$  (@DC 12 V), 최대 휘도는  $(517,925 \text{ cd/m}^2)$ (@AC 48 V)로서 AC/DC 12~254 V의 전압 범위 내에서 점등 식별이 육안으로 가능함을 확인하였고, 출력전류가 출력 휘도에 비례하였다.

3. 방폭회로의 최대 표면온도는  $54.23^\circ\text{C}$ 로 측정되어 방폭회로의 표면온도 등급은 T6로 판단되었다.

4. 방폭회로의 외부 동작온도는 개발 기준인 외부 동작온도  $-40^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 을 만족하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 2013년도 정부(한국산업기술진흥원)의 재원으로 동남권 광역경제권 선도산업 육성사업 지원을 받아 수행된 것임 [R0002518, 해양플랜트용 방폭 Local Control Station 국산화 개발].

#### REFERENCES

- [1] K. W. Seo, H. D. Joo, and S. J. Park, *Journal of the KSME*, 52, 30 (2012).
- [2] K. J. Jin, J. W. Lee, and S. D. Lee, *Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea*, 38, 39 (2001).
- [3] K. J. Soo, *Journal of the KSME*, 53, 28 (2013).
- [4] I. Jeong, *Journal of the KSME*, 52, 36 (2012).
- [5] C. S. Cho, *Proc. of KIIEE Annual Conference*, 171 (2011).
- [6] G. H. Lee and S. W. Cho, *World of Electrical*, 42, 48 (1993).
- [7] C. S. Cho and Y. H. Jeong, *Proc. of KIIEE Annual Conference*, 167 (2012).
- [8] Explosive Atmospheres—Part 0 : Equipment—General Requirements, KS C IEC 60079-0:2007.
- [9] Explosive Atmospheres— Part 1 : Equipment Protection by Flameproof Enclosures 'd', KS C IEC 60079-1:2012.