

휴대형 방폭등의 경량화 연구

최상원

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원
(2013. 1. 3. 접수 / 2013. 4. 2. 채택)

A Study on the Light Weight Hand Lamp for Explosion-Proof Type

Sang-Won Choi

Department of safety research, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA
(Received January 3, 2013 / Accepted April 2, 2013)

Abstract : For lighting of dark and hazardous workplace such as compartment of ships under construction, workers should use hand lamps of explosion-proof type. However, the heavy weight of such lamps has prevented most impatient workers from using such types of lamps extensively. In this paper, we developed a light weight hand lamp of intrinsic safety type which reduced the weight a lot while maintaining or improving the lighting and explosion-proof function. We made a prototype which consisted of lamp fixture and high frequency power supply. Testing results show that the hand lamp meets well all the explosion-proof testing requirements of the Korea Occupational Safety and Health Agency. And more, we surveyed the explosion protection technology of a light weight hand lamp, and suggested the advantage/disadvantage to apply lighting of hand lamp about economical aspect.

Key Words : explosion protection/proof, hand lamp, light weight

1. 서론

산업안전보건기준에 관한 규칙, KOSHA GUIDE의 ‘가스폭발위험장소의 설정 및 관리에 관한 기술지침’ 및 ‘가스폭발분위기에서의 전기설비 설계, 선정 및 설치에 관한 기술지침’ 등에서 인화성 물질을 취급하는 화학공장의 보수작업이나 선박의 도장공정 등 폭발위험장소에서는 휴대형의 방폭등을 사용하여야 한다^{1,3)}. 현재까지 국내에서 사용되고 있는 휴대형 방폭등은 전기기기의 방폭화 적용기술 중에서 대부분 내압 방폭구조 및 안전 증방폭구조를 채용하고 있는 바 이들의 가장 큰 단점이 무겁다는 것이며, 이러한 단점을 개선하기 위하여 ‘휴대용 방폭형 작업등의 경량화 연구’ 등 많은 연구들이 행해져 왔다^{4,5)}.

현재 국내·외적으로 전기기기의 방폭화 기술은 내압, 압력, 안전증, 유입, 충전, 비점화, 몰드, 본질안전 방폭구조 등이 있다. 그 중에서 휴대형 방폭등에 적용되고 있는 방폭화 기술은 내압 방폭구조 및 안전증 방폭구조를 채용하고 있다. 노동부고시 제2008-76호 ‘방호장치 의무안전인증 고시’에 의하면, 내압보방폭구조는 전기기기 내부의 점화원과 침입한 인화성 물질이 폭발하여도 전기기기를 구성하는 용기가 그 폭발압력에 견디어야 함은 물론 이때 발생한 화염이 밖으로 전파되지 않도록 된 구조이며, 안전증방폭구조는 인화성 물질을 점화시킬 수 있는 점화원의 발생을

억제시켜 램프파손 보호 등 안전도를 증가시킨 구조이다. 그러므로 이들의 방폭구조는 전기기기를 구성하는 용기가 무겁다는 단점을 안고 있다.

한편, 전기기기에서 단선/단락 시에 발생된 스파크 등의 전기불꽃이 인화성 물질을 점화시킬 수 있는 에너지가 되지 않도록 그 에너지를 제한하거나 바이패스 시키면 위의 두 가지 방폭구조의 단점을 보완할 수 있는 본질적으로 안전한 본질안전 방폭구조로 가능하다^{6,7)}. 그러나 국내의 제조업체의 입장에서 바라보면 휴대형 방폭등의 경량화에 적용시킬 수 있는 본질안전 방폭기술의 설계 및 적용기술이 부족한 실정이다.

본 논문에서는 휴대형 방폭등에 대한 국내의 실태조사를 통하여 이를 경량화 시키기 위한 시제품의 설계·제작 및 평가와 아울러 산업기반기술에 부응하는 그 동안의 연구 및 기술 동향에 대한 고찰을 통한 새로운 휴대형 방폭등의 경량화 기술로의 적용·응용 및 타당성 등에 대하여 제안하고자 한다.

2. 휴대형 손전등의 방폭기술 적용

2.1 국내외 적용 사례

2.1.1. 국내 사례

현재 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 휴대형 손전

*Corresponding Author:Sang-Won Choi, Tel : +82-32-510-0795, E-mail : swchoi@kosha.net
Department of Safety Research, Occupational Safety and Health Research Institute, 478, Munemi-ro, Bupyeong-Gu, Incheon 403-711, Korea

등은 100 W 백열전구를 장착한 Fig. 1과 같은 내압 및 안전증 방폭구조를 채택한 것을 작업등으로 많이 사용하고 있는 실정이다. 이는 제작하기가 편리하다는 잇점이 있는 반면 점화원을 튼튼한 용기에 넣어 관리하기 때문에 약 2~3 kg로 무겁다는 큰 단점을 가지고 있다.

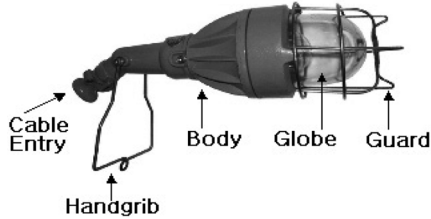


Fig. 1. Out shape of hand lamp for flame-proof or increased safety type.

2.1.2. 국외 사례

국외의 경우 휴대형 방폭등 생산회사는 국내보다 대단히 많으며, 이들 제품을 모두 구입하여 분석할 수 없었으나, 국내제품에 비하여 수배에 해당하는 고가이며, 이들 역시 방폭구조, 사용재질에 따라 국내제품에 비하여 약간 가볍거나 동등한 정도의 무게를 갖는 것으로 파악되었다. Fig. 2는 약 1.8/2.4 kg, 100/60 W 백열전구, 안전증 방폭구조를 채택한 S사 등의 휴대형 방폭등의 외형 사진을 나타낸 것이다.



Fig. 2. Out shape of hand lamp for increased safety type.

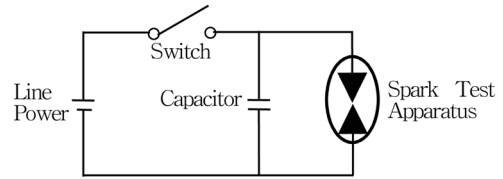
2.2. 본질안전기술의 적용

2.2.1. 본질안전 에너지

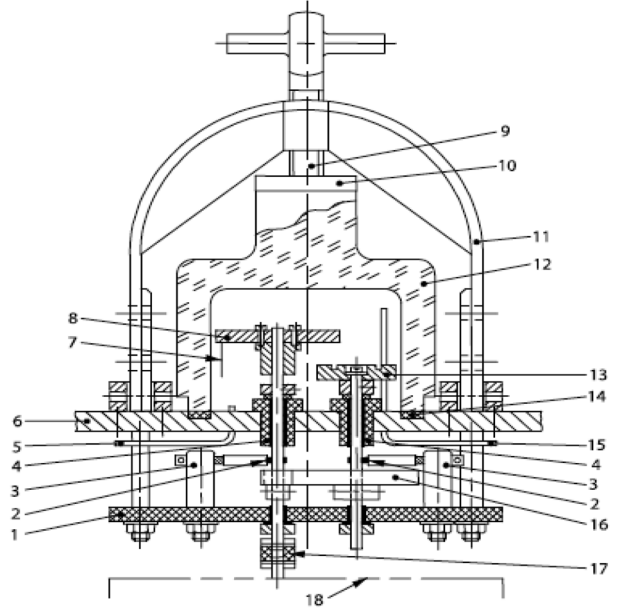
휴대형 손전등의 외형을 구성하는 재질을 경금속 또는 비금속 재질로 변경하여 경량화를 도모하는 기술은 경제성을 감안하면 적용기술에 한계가 있다. 따라서 등기구 외형의 재질/강도에 관여하지 않도록 내압 및 안전증 방폭구조의 단점을 개선하기 위해서는 ‘정상작동 및 사고상태에서 발생한 불꽃이나 고온부분이 해당 인화성 가스분위기에 점화를 발생시킬 수 없는 회로’를 갖는 본질안전 방폭구조를 적용하여야만 한다.

본질안전 에너지로의 입증을 하기 위해서는 Fig. 3과 같은 저압회로(300 V, 3 A, 1 H, 1.5 MHz 이하)에서의 전기개폐불꽃에 의한 점화유무를 확인하여야 한다.

Fig. 4는 Fig. 3의 회로 및 장치를 사용하여 저항성회로에서의 인화성 가스의 대상 그룹에 따른 전원전압과 최소 점화전류와의 관계를 측정하여 나타낸 본질안전 회로의 한계곡선이다⁹⁾.



(a) Electric circuit



Key

- 1 Insulating plate
- 2 Current connection
- 3 Insulated bolt
- 4 Insulated bearing
- 5 Gas outlet
- 6 Base plate
- 7 Contact wire
- 8 Wire holder
- 9 Clamping screw
- 10 Pressure plate
- 11 Clamp
- 12 Chamber
- 13 Cadmium contact disc
- 14 Rubber seal
- 15 Gas inlets
- 16 Gear wheel drive 50:12
- 17 Insulated coupling
- 18 Drive motor with reduction gears 80 r/min

(b) Configuration

Fig. 3. Spark test apparatus for IEC 60079-11.

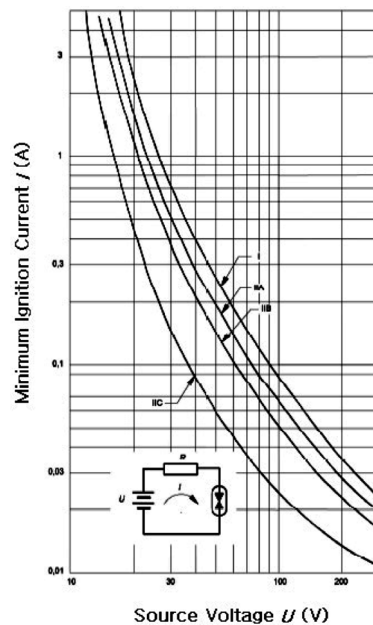


Fig. 4. Source voltage vs minimum ignition current for resistive circuit.

Fig. 4로부터 본질안전 방폭구조는 산업현장의 전기설비의 이용 가능한 전력이 매우 낮다는 것을 알 수 있다. 즉, 현실적으로 응용 가능성이 저전압/저주파의 직류 및 교류 전원이어야 한다는 한계점을 갖는다(Fig. 5).

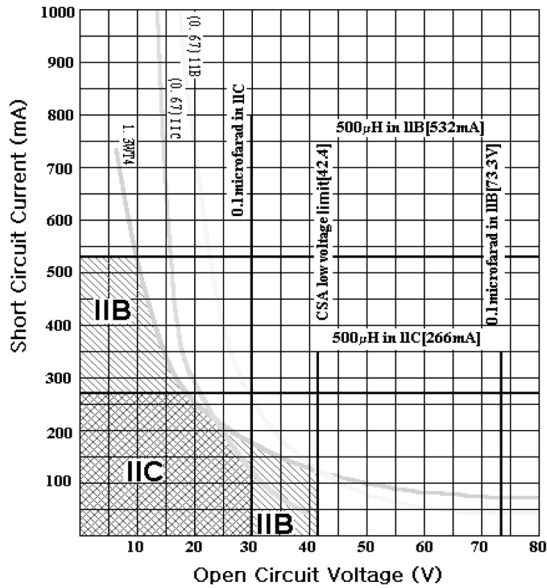


Fig. 5. Available electric power for intrinsically safe circuit.

2.2.2. 전원주파수와 최소점화전압

최소점화에너지에 영향을 주는 요인들로는 전기회로, 불꽃발생전극 및 가스에 관한 인자로 크게 나뉘며, 폭발이 발생하는 데까지의 점화현상의 개요는 ‘본질안전 방폭기기의 평가 및 사용안전에 관한 연구’ 등의 연구보고서에서 정성적으로 설명되어 있다⁸⁾.

그러나 전원의 주파수와 인화성 물질과의 최소점화에너지에 대한 자료를 구할 목적으로 전기회로의 전원의 주파수와 최소점화에너지와의 관계를 Fig. 3의 실험장치를 이용하여 실험으로 구하였다. Fig. 6은 아세틸렌, 에틸렌, 메탄 가스와 각각의 공기 혼합기체에서 50 Ω 저항회로 및 전원회로의 주파수에 따른 최소점화전압을 측정하여 나타낸 그래프이다⁹⁾.

인화성 혼합기체의 종류에 따른 최소점화전압은 메탄-공

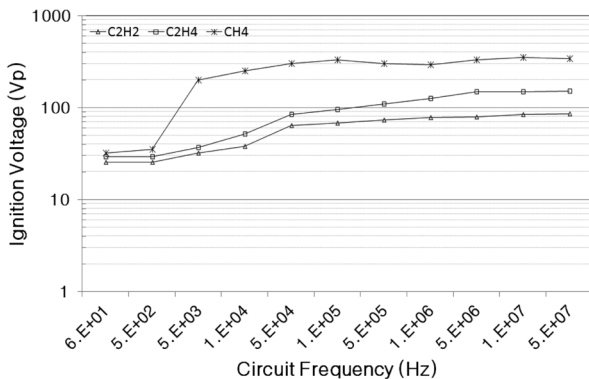


Fig. 6. Minimum ignition voltage as a function of frequency.

기, 에틸렌-공기, 아세틸렌-공기 혼합기체의 순으로 작게 나타났으며, 회로 주파수에 따른 최소전압은 회로 주파수가 증가할수록 최소점화전압도 높아지는 것으로 나타났다. 그러므로 전원의 주파수를 고주파화한다면 Fig. 5의 본질안전 회로로의 이용 가능 전력을 높일 수 있다.

Fig. 7은 전원의 임피던스 특성 및 주파수에서 점화데이터를 구할 목적으로, Fig. 3의 실험장치를 사용하여 아세틸렌-공기 혼합기체에서 전기회로의 저항용량 및 전원회로의 주파수에 따라 점화된 최소 피크-피크전압을 측정하여 나타낸 그래프이다.

그래프를 보면, 20, 30, 40 및 50 Ω 저항회로의 개폐불꽃에 의한 아세틸렌-공기 혼합기체의 최소점화전압은 음의 법칙을 지배받는다라는 것과 전원주파수 500 Hz 이하의 범위에서는 점화에 필요한 전압은 거의 동일하다는 점을 알 수 있다.

3. 휴대형 방폭등의 시작품 제작 및 평가

3.1. 본질안전 방폭구조의 적용

휴대형 방폭등에 대한 국내·외의 사용·유통 실태조사를 통하여 내압 및 안전증 방폭구조에 사용된 100 W 급 백열 단일전구를 본질안전 방폭구조로 적용하기 위해서는 아래와 같은 몇 가지 선행기술이 필요하다는 것을 확인하였다⁴⁾.

(1) Fig. 5에서 나타낸 바와 같이 기존의 100 W 급 단일전구로는 본질적으로 안전한 회로를 구성하는 것이 불가능하다. 그러므로 복수 개(10 W 급, 10개)의 전구로 사용 전력을 분할하여 단일 100 W 급을 대치한다.

(2) 직류와 고주파 교류의 점화한계를 비교한 결과, 직류와 동일 전압의 최대치의 교류에 의한 점화위험성은 약 1/10이다⁹⁾. 그러므로 입력전원은 고주파화한다.

(3) 고주파화 전원은 Fig. 7에서 알 수 있듯이 최소점화전압이 높아진다. 아울러 전구의 조도를 향상시킨다.

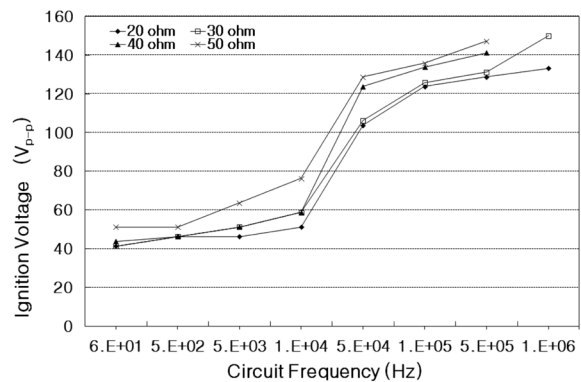


Fig. 7. Ignition voltage of acetylene-air mixtures as a function of line frequency.

3.2. 시작품의 특성

인화성 물질을 취급하는 화학공장의 보수작업이나 선박의 도장공정에서의 사용을 목적으로 한 휴대형 방폭등을 경량화 시키기 위하여 주로 사용되고 있는 소비전력 100

W 급의 단일전구를 복수개로 대체하고, 아울러 점화원과의 점화확률을 낮추기 위하여 고주파 전원을 채택하여 본질 안전 방폭구조를 시도하였다. Fig. 8은 시작품의 외형 사진 및 도면을 나타낸 것이며, Table 1은 그 명세를 나타낸 것이다.

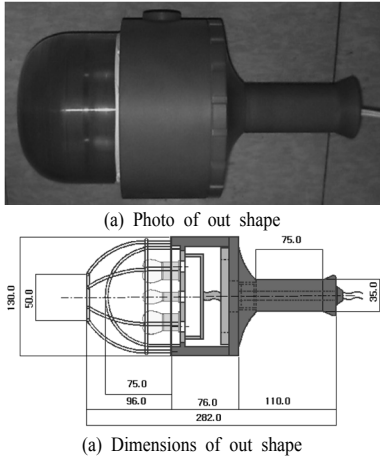


Fig. 8. Prototype hand lamp for intrinsically safe type.

Table 1. Specifications of prototype hand lamp.

Items	Constructions	Electrical Capacity
Hand Lamp	<ul style="list-style-type: none"> Weight: about 1.1 kg Size: $\Phi 130$ mm\timesL282 mm Type: Ex ia IIC T2~T3 Cable: 0.7 mm² \times20 C\times30 m 	<ul style="list-style-type: none"> Voltage: 12 Vr.m.s Frequency: 100 kHz Power: 100 W(10 W\times10 ea)
Power Supply	<ul style="list-style-type: none"> Size: H145 mm\timesL250 mm\timesW300 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Input: 110/220 VAC, 60 Hz, 200 W Output: 12 V, 100 kHz, 150 W

3.3. 광학적 물성 평가

3.3.1. 실험장치의 구성

시작품으로 제작한 휴대형 방폭등 및 기존 샘플에 대하여 내장된 전구의 광학적 물성치를 측정하였다. 특히, 휴대형 방폭형 작업등에 있어서 기존의 100 W 급 단일전구를 복수의 소형전구로 대체하였을 때의 광학적 특성을 측정하여 시제품 설계, 제작 및 평가에 필요한 자료를 얻고자 하였다. Fig. 9는 실험장치의 구성도를 나타낸 것이며, Table 2는 실험 및 측정장비의 명세를 나타낸 것이다.

3.3.2. 실험 방법 및 결과

Fig. 10은 AC 12 V, 10 W 용 전구에 입력 전압의 주파수를 가변하여 공급하였을 때의 조도를 측정하는 것이다. 조

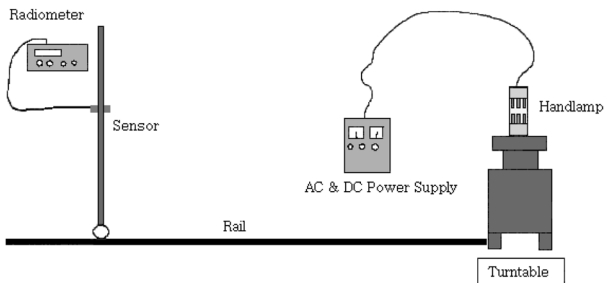


Fig. 9. Experimental set-up for optical measurement.

Table 2. Specifications of measuring equipment.

Item	Model	Maker	Range(Output)
Radiometer	730A	OPTRONIC LABORATORY	9.99 \times 10 ⁻⁵ ~19,9990 lux
Oscilloscope	9350AL	Lecroy	500 MHz
Audio Amplifier	7824-1	SOLAR Electronic Co.	100 Watt, 600 Ohm
R.F. Amplifier	500A100	Amplifier Research	500 Watt 100 kHz~100 MHz
Function Generator	3040	BK	1 Hz~13 MHz
Optical Bench	Self-made	Self-made	Vertical: 4,300 mm Horizontal: \pm 1,100 mm Horizontal Angle: 360 $^\circ$
Digital Multimeter	863	Fluke	V, I, Ω
AC Power Supply		TIAC	220 VAC, 5 kVA
DC Power Supply		ED	50 V, 30 A
Standard Light Source	Q100T4/CL	GE, USA	6.6 A

도는 광원으로부터 2 m의 거리에서 연직각 방향으로 측정하였다. 전구입력 주파수가 증가함에 따라 조도도 함께 증가하였으나 100 kHz 이상에서는 오히려 감소하였다. 이는 전원공급장치 특성상 이 주파수 이상에서 파형의 첨두 부분이 일그러졌기 때문이다.

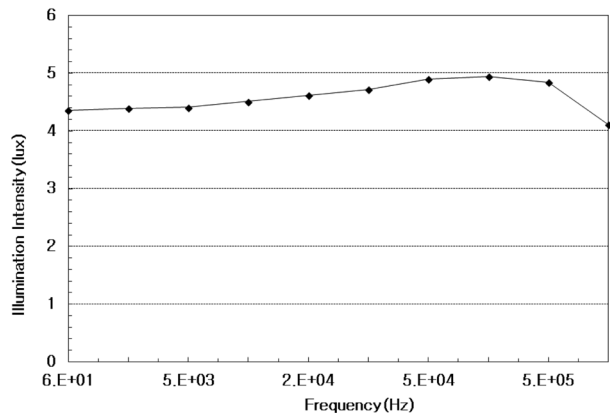


Fig. 10. Illumination intensity as a function of input frequency.

Fig. 11은 시작품의 조도를 4개의 방향(0 $^\circ$, 90 $^\circ$, 180 $^\circ$, 270 $^\circ$)으로 놓고, 광원으로부터 2 m, 3 m의 거리에서 상향(광원으로부터 상향 14 $^\circ$) 방향에서 조도를 측정하는 것이다. 전구는 10 W로, 입력전원은 AC 12 V, 100 kHz로 하였다. 각 방향에서의 조도 차이는 전구의 필라멘트의 배치 특성에 기인된 것으로 사료된다.

3.3.3. 주요 실험 결과 및 검토

- 시제품 중 24 V 용은 12 V 용보다 동일의 소비전력 조건하에서는 조도가 훨씬 떨어지기 때문에 12 V 급의 전구로 작업등을 개발하는 것이 조도면에서 훨씬 유리하다⁴⁾.
- 단일 전구에서 복수의 전구로 교체하였을 때 전구의

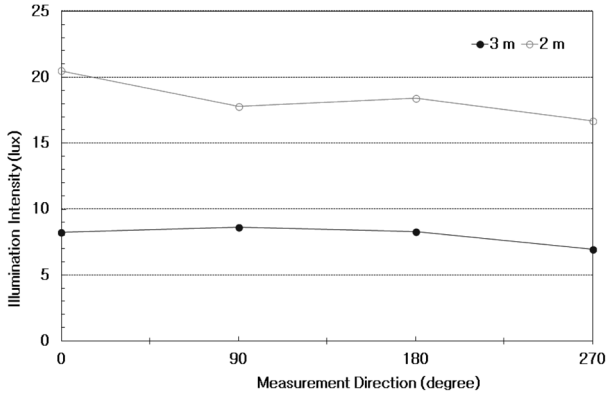


Fig. 11. Illumination intensity as a function of illuminating direction.

배치가 중요하다. 가능하면 전구를 작업등의 중심에 가까이 배치하여 점광원으로 빛을 집중시킨다.

- 기존의 내압, 압력, 안전증 방폭구조 작업등을 고주파 전원을 채용한 본질안전 방폭구조로 하고, globe를 기존 유리에서 poly carbonate로 대체한 결과 기존 작업등에 비해 약 50%의 경량화를 이룩할 수 있었다.

- 복수개로 조합한 휴대형 작업등은 전구의 전압, 전류, 필라멘트 등을 잘 조합하여 선정하면 동일 소비전력에서 단일의 전구에 걸맞은 조도를 얻을 수 있다.

- 램프의 입력전원을 고주파화하면 상용 교류전원에서보다 높은 조도를 얻을 수 있다.

- 고주파 전원을 채택하는 경우는 직류나 저주파 전원보다도 점화위험성을 낮출 수 있다.

4. 점화방지 기술의 한계 및 확장

4.1. 손전등의 방폭기술 적용의 공학적 한계

Fig. 12는 비방폭형의 일반 손전등을 나타낸 것이다. 단순하게 백열전구에 소켓만 장착하여 사용하기 때문에 이들 손전등에 방폭기술을 적용하기 위하여 작업자가 요구하는 경량화를 만족시킬 수 있는 무게까지 감소시킨다는 것은 공학적으로 어느 정도 한계점에 다다라 있다고 본다. 즉, 방폭형 손전등을 비방폭형의 무게와 동등 이하로 제작하는 것은 곤란하다는 것이다.



Fig. 12. Hand lamp for general purpose.

4.2. LED를 이용한 방폭화 기술

과거에 신호용으로만 사용되던 LED(light emitting diode) 소자의 대용량화 발전기술은 LED를 이용하여 조명기구

로의 역할이 가능하게 되었다. Fig. 13은 power LED를 이용하여 본질안전 방폭형으로의 응용을 위하여 시작한 손전등의 사진이다.

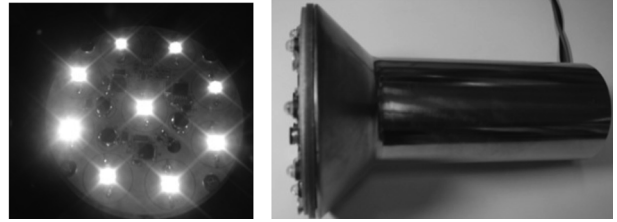


Fig. 13. Hand lamp equipped power LEDs.

신호용의 LED는 과거 오래전부터 사용되었으나, 근래에 와서 power LED가 개발되어 조명용으로 각광을 받고 있는 실정이다.

LED는 반도체를 이용하여 발광하므로 일반 전구에 비하여 수명이 몇 배로 길며, 또한 소비전력이 작다는 특징을 갖는 반면 가격이 비싸고, 방열 및 색도 문제가 따른다.

지금까지 개발된 power LED의 용량은 대략 5 W 이하이기 때문에 그 자체 하나만으로는 본질안전 방폭구조를 적용하는 데에는 문제가 되지 않으나, 손전등으로의 적용을 위해서는 복수개의 power LED를 사용하여야 하기 때문에 power LED에서 발생하는 열을 발산시키기 위하여 방열판이 커지며 또한, 무거워지므로 결국 손전등 본래의 목적인 경량화를 달성할 수 없다는 한계점을 가지게 된다.

그러나 머지않아 power LED의 근본적인 방열 문제만 해결된다면 한층 경량화된 손전등(0.5 kg 이하)의 개발도 가능하리라 판단된다.

4.3. 광케이블을 이용한 방폭화 기술

현재까지 대부분의 점화원에 대해서는 그 메커니즘이 규명되어 있으나, 광 방사(optical radiation)에 의한 점화 위험성의 메커니즘은 최근에 와서 기초 연구가 시작된 상태이다.

전기·전자 신호 등 데이터 전송에 사용되던 신호용 전선이 무손실, 무잡음의 장점을 갖는 광케이블(optical cable)로 대체되어 가고 있는 실정이며, 산업현장에서도 설비의 감시와 자료 취득 및 제어를 위한 광섬유 기술의 응용은 최근 급격하게 증가하여 왔다. 광섬유를 이용한 기술은 전기적 스파크가 없고 일반적으로 광케이블 자체가 갖고 있는 안전성 때문에 기존의 전기시스템을 대체하는데 사용되어 왔다. 이 분야에서 나타나는 점화 위험성은 만약 파괴된 광섬유로부터의 방사가 고체입자 또는 국부가열을 발생하는 표면과 충돌하는 경우에 점화가 발생할 수 있다는 것이다.

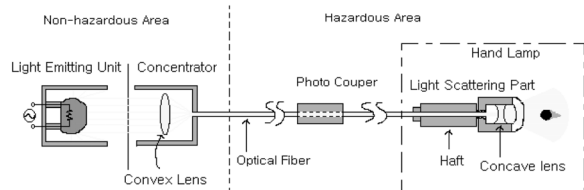


Fig. 14. Concept of explosion-proof technology using fiber-optic cable.

Fig. 14는 비폭발위험장소에 광원을 설치한 후에 폭발위험장소로 광케이블을 사용하여 광원을 조사시키는 개념도를 나타낸 것이다¹⁰⁾.

광케이블을 이용한 손전등은 이의 경량화에 대한 방폭 전기의 공학적인 한계를 극복할 수 있는 기술이라고 판단된다. 광케이블을 이용한 손전등은 가장 큰 특징은 폭발위험장소에서 전기 에너지를 전혀 사용하지 않음으로서 폭발 가능성을 더욱 억제시킨 구조이기 때문에 현존하고 있는 정형의 방폭구조를 따르지 않아도 된다. 그러나 아래와 같은 광방사에 의해 가연성 분진의 폭발 가능성¹¹⁾ 및 전기를 이용한 발광부 및 집광부의 방폭구조에 대하여 성능평가를 실시하여야 한다.

- 광학 분광범위에서의 방사, 특히 초점의 경우는 분진운 또는 분진층의 점화원이 될 수 있다.

- 오목거울, 렌즈 등과 같은 물체로 방사열이 한 점에 모인다면 광으로 인해 점화될 수 있다.

- 광 후레쉬 램프처럼 고 밀도 광원으로부터의 방사에너지는 분진입자에 많이 흡수된다. 이들 입자는 분진층 또는 분진운의 점화원이 될 수 있다.

그러므로 조사밀도 또는 조사량이 5 mW/mm^2 , 정상상태의 펄스에서 0.1 mJ/mm^2 을 초과하지 않아야 한다²⁻³⁾.

광케이블을 사용하여 손전등으로 적용한다면 초경량화(약 200 g)가 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 휴대형 방폭등에 대하여 경량화를 시도하여 시작품을 제작하고, 아울러 광학적 물성평가를 실시하였다. 또한, 조명소자의 발달과 광케이블을 응용한 손전등의 적용 가능성 등에 대하여 그 동안의 연구 및 기술 동향에 대한 검토를 통하여 새로운 손전등 방폭기술로의 응용 및 타당성 등에 대하여 제안하고자 하였다. 그 결과 아래와 같은 것을 얻을 수 있었다.

- 개발된 작업등은 폭발위험장소 중 1종장소에 사용될 수 있는 소비전력 100 W 급의 본질안전 방폭구조를 채택한 작업등으로 그 무게가 1.1 kg이며, 입력전원을 100 kHz로 고주파화하여 인화성 물질이 존재하는 폭발위험장소에서의 점화확률을 낮춘 것이 특징이다.

- 방폭형 손전등을 경량화하기 위해서는 기존의 내압/안전증 방폭구조를 탈피하여 본질안전 방폭구조를 적용하여야만 한다.

- Power LED의 근본적인 방열 문제만 해결된다면 0.5 kg 이하의 손전등 개발도 가능하리라 판단된다.

- 손전등으로 광케이블을 적용한다면 약 200 g 정도의 초경량화가 가능할 것으로 판단된다.

References

- 1) KSCIEC60079-10-1, Explosive Atmospheres - Part 10-1: Classification of areas - Explosive Gas Atmospheres, 2012.
- 2) KSCIEC60079-14, Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres - Part 14: Electrical Installations in hazardous areas (other than mines), 2004.
- 3) KSCIEC60079-17, Explosive Atmospheres Part 17 : Electrical Installation Inspection and Maintenance, 2012.
- 4) Sang-Won Choi, Gwan-Hyung Lee, Myung-Seob Kim and Eie-Soo Lim, "Development of a Light Weight Hand Lamp of Explosion-Proof Type", Fall Conference of the Korean Society of Safety, pp.135-142, 1997.
- 5) IEC 60079-11 Part 11, Explosive Atmospheres-Equipment Protection by Intrinsic Safety "i", 2006.
- 6) H. G. Bass, Intrinsic Safety Instrumentation for Flammable Atmospheres, Quartermaine House., U.K., 1984.
- 7) Robin Garside, Intrinsically Safe Instrumentation: a Guide, Urwin Brothers Ltd., U.K., 1982.
- 8) Sang-Won Choi, "An Experimental Study on the Minimum Ignition Energy in Low Voltage Spark Discharge by Electrode Material", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 27, No. 3, pp. 63-70. 2012.
- 9) Sang-Won Choi, "An Experimental Study on Minimum Ignition Energy of Flammable Mixtures by Electric Power Frequency", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 27, No. 4, pp. 25-32. 2012.
- 10) Sang-Won Choi, Seong-Choul Kim, "Explosion Protection Technique of Equipment and Transmission System Using Optical Radiation", Fall Conference of the Korean Society of Safety, p.8, 2010.
- 11) IEC 60079-28(2006) / BS EN 60079-28(2007) : Explosive Atmospheres-Protection of Equipment and transmission Systems using Optical Radiation