

## 고휘도 발광다이오드와 집어등 광원의 방사특성 및 단위 전력당 방사량 비교

최석진  
특허청 기계금속건설심사국

### Comparison of Radiation Characteristics and Radiant Quantities per unit Electrical Power between High Luminance Light Emitting Diode and Fishing Lamp Light Source

Sok Jin CHOI  
Machinery & Metals and Construction Examinations Bureau, Korean Intellectual Property Office,  
Daejeon 302-701, Korea

The radiation characteristics and economic efficiency of high - luminance light - emitting diodes (LEDs), a metal halide lamp, and a halogen lamp were studied to evaluate their potential as an energy-saving light source for fishing lamps. The wavelengths at which irradiance was maximum were 709, 613, 473, 501, 525, 465, 578, and 973 nm for red, orange, blue, peacock blue, green, and white LEDs, the metal halide lamp, and the halogen lamp, respectively. If the irradiance characteristics at 300-1,100 nm wavelengths are set as 100%, the irradiance rates at 381-780 nm were 99-78%, 82%, and 24% for the LEDs, metal halide lamp, and halogen lamp, respectively. The economic efficiency was superior in the order metal halide lamp, halogen lamp, peacock blue LED, and blue LED at 381-780 nm and metal halide lamp, peacock blue LED, blue LED, and halogen lamp at 480-520 nm. Based on the radiation characteristics and economic efficiency evaluated at 480-520 nm, the blue and peacock blue LED light sources can be used as energy-saving light sources for fishing lamps.

Key words: LED, Fishing lamp, Irradiance, Radiation, Electrical power

#### 서 론

어업용 집어등은 1920년대 말 전기를 이용한 집어등이 등장한 이후, 선내 발전기에 의한 교류 전원을 이용한 백열계열의 백열전구 및 할로겐등을 거쳐 현재 방전계열의 메탈할라이드등이 1970년대 후반부터 보급되어 사용되고 있다 (Choi and Arimoto, 1996; Choi, 2006). 2000년대에 들어 일본에서는 수년간 유가 급등으로 인한 어업경비절감을 목적으로 기존의 광원 발전 체계와는 전혀 다른 반도체계열의 발광 다이오드 (Light Emitting Diode: 이하 'LED'라 한다) 광원을 어업용 집어등으로 도입하기 위한 연구가 시작되어 (Okamoto et al., 2001; Choi et al., 2002), 오징어 채낚기 어장에서 LED 광원과 메탈할라이드등을 점등한 경우의 어획량 비교실험 및 수중 방사조도 측정결과 등이 보고되었다 (Inada et al., 2006; Inoue et al., 2006; Miyagi et al., 2006; Kishi et al., 2008; Yamashida et al., 2008). 이러한 움직임은 종래의 백열계열, 방전계열의 광원을 주요 축으로 하는 지금까지의 집어등 어업을 획기적으로 변화시킬 수 있는 전환기를 맞이하는 것으로 평가되고 있다.

반도체계열 광원에 속하는 LED 광원은 종래의 백열계열,

방전계열의 집어등 광원과 다르게 발전해왔으며, 발광물질로서 GaAs, GaP 등의 제III족과 제V족의 반도체를 이용한 LED가 실용화된 후 (Yamaguchi, 1987), 1990년대 초반에는 InxGa1-xN를 활성층으로 하는 고희도 발광소자가 개발되어 초고광도 청색 LED가 실용화되었다 (Nakamura, 1994). 이러한 반도체 광원은 전기 에너지를 직접 빛으로 변환하기 때문에, 발광반응이 빠르고, 종래의 광원에 비해 소형으로 동작 전압도 낮으며, 수명도 길다는 특징을 갖는다 (Yamaguchi, 1987). 또한, 초고광도 청색 LED 광원이 개발됨에 따라 빛의 기본 삼원색이 갖추어지면서, 컬러디스플레이, 에너지 절약형 조명 및 생활환경 등의 여러 분야에 응용되고 있다 (Seto et al., 2001). 최근에는 우리나라에서도 여러 기관이 LED 광원을 어업용 집어등 광원으로 이용하기 위한 기초적 연구를 시작하였다. 특히 Choi (2006)는 초고휘도 LED 광원의 방사특성을 측정하는 한편, 광학적 수형에서의 수중투과특성을 계산하여 집어등 광원으로서의 도입 가능성 및 그 실용성에 대한 연구 결과를 보고하였다. An et al. (2008)은 LED 광원을 점등한 경우 오징어의 대광 행동을 수조실험을 통해 관찰한 결과를 보고함으로써, LED 광원은 수산업을 비롯한 여러 분야에서 차세대의 에너지 절약형 대체 광원으로 주목받고 있다.

\*Corresponding author: sokjin@yahoo.co.kr

본 연구에서는 LED 광원을 비롯하여 현재까지 사용되고 있는 대표적인 집어등 광원인 백열계열의 할로겐등, 방전계열의 메탈할라이드등의 파장별 분광 방사조도 값을 측정하여 분광분포 및 방사특성을 비교하였다. 또한, 단위 전력을 메탈 할라이드등 및 할로겐등에 공급한 경우에 출력되는 방사량과 동등한 값을 얻기 위해 필요한 LED 광원의 수 및 이를 운용하기 위한 전력량을 이론 계산하였다. 이를 토대로 할로겐등 및 메탈할라이드등에 대한 LED 광원의 조명효율을 포함한 경제적인 측면을 비교함으로써 차세대 에너지 절약형 광원으로의 대체 가능성에 대하여 검토하였다.

**재료 및 방법**

메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원의 분광 방사조도 측정은 2001년 6월 25일부터 30일까지 6일간에 걸쳐, 일본 수산공학연구소의 실험동 암실에서 야간에 실시하였다. 측정에 사용된 광원은 백색, 적색, 녹색, 청색, 청록색 및 오렌지색의 LED 광원과 집어등 광원으로서 메탈할라이드등 (IWASAKI DENKI GMS-2000) 및 할로겐등 (USHIO GJVC 200 V)을 사용하였다. 측정에 사용된 메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원의 정격전압과 전류는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Voltage and electrical current of the each color high luminance light emitting diode (LED), metal halide lamp and halogen lamp light source

Light source	Voltage (V)	Electrical current (mA)
Red LED	2	20
Green LED	3.6	20
Blue LED	3.6	20
White LED	3.6	20
Orange LED	3.3	10
Peacock blue LED	2	20
Metal halide Lamp	200	10,000
Halogen Lamp	200	10,000

**광원의 분광 방사조도 측정 및 광원의 단위 전력당 방사량 비교**

메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원의 분광 방사조도 측정에는 분광 방사조도계 (LI-1800C, LI-COR Inc.)를 사용하였다. 할로겐등과 각각의 LED 광원은 광원의 발광축 수직하방이 분광 방사조도계의 수광부와 1m의 거리를 두고 마주보도록 설치하였고, 메탈할라이드등의 경우는 광원의 발광축 수평하방이 분광 방사조도계의 수광부와 1m의 거리를 두고 마주보도록 설치하였다. 메탈할라이드등과 할로겐등에는 200 V 교류전압을 집어등용 안정기 (USHIO GEL220-2 HD)에 입력하여, 출력된 교류 전압을 공급하는 한편, LED 광원에는 3 V의 전압을 공급하였다. 메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원 각각에 설정된 전압을 공급함에 따라 광원으로부터 방사된 빛은 분광 방사조도계의 수광부에 0°±1°의 범위에서 입사하도록 고정하고, 파장 300-1,100 nm 범위에서 1 nm 간격

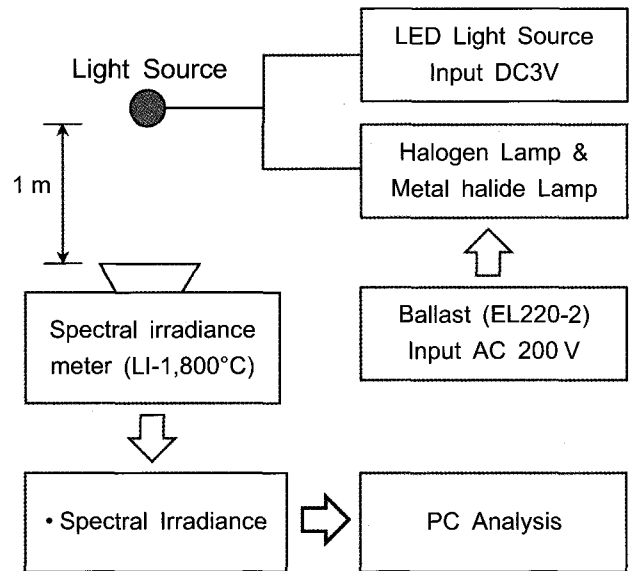


Fig. 1. The diagram showing the measurement concept of radiation characteristics using radiometer with high luminance light emitting diode and fishing lamp light source.

으로 3회씩 측정하여, 그 평균치를 사용하였다 (Fig. 1).

분광 방사조도계에 의해 측정된 메탈할라이드등 및 할로겐등의 파장별 분광 방사조도 값을 해당 광원에 전력 1W를 입력한 경우 방사되는 파장별 분광 방사조도 값을 이론적으로 환산하였다. 전력 1W를 입력한 경우의 메탈할라이드등 및 할로겐등과 동등한 분광 방사조도 값을 얻기 위해 필요로 하는 LED 광원의 개수를 집어등 어장의 광학적 수형에서 빛의 수중투과특성이 높은 것으로 나타난 흰색, 청색, 녹색 및 청록색의 LED 광원 (Choi, 2006)에 대하여, 각각 계산하는 한편, 이를 점등하는데 필요한 전력 (W)을 이론 계산함으로써, 메탈할라이드등과 할로겐등에 대한 LED 광원의 경제적 효율에 대하여 비교하였다.

**광원의 연색성 계산 및 파장 구간별 분광 방사조도**

분광 방사조도계에 의해 측정된 파장범위 381-780 nm의 측정값을 기초로 하여 메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원 각각의 색도좌표 x, y, z를 다음 식에 따라 계산하여 CIE XYZ 색표시계 상에 나타내었다 (Osaka, 1998).

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\
 y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \dots\dots\dots(1) \\
 z &= \frac{Z}{X+Y+Z}
 \end{aligned}$$

단,

$$\begin{aligned}
 X &= \int S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot d\lambda \\
 Y &= \int S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d\lambda \dots\dots\dots(2) \\
 Z &= \int S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d\lambda
 \end{aligned}$$

여기서  $S(\lambda)$ 는 표준광원의 분광분포,  $R(\lambda)$ 는 메탈할라이드 등과 할로겐등 및 LED 광원의 분광 방사조도,  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  및  $\bar{z}(\lambda)$ 는 각각 CIE, 1986C 및 JIS Z 8701 규정에 따른 등색함수를 나타낸다.

또한, 메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원으로부터 측정된 300-1,100 nm 범위의 파장별 분광 방사조도 값의 총합을 100%로 정하고, 파장범위 300-380 nm를 자외선구간, 파장범위 381-780 nm를 가시광선구간, 파장범위 781-1,100 nm를 적외선구간으로 각각 나누고, 각 파장 구간별로 분포하는 분광 방사조도 값을 합산하여 메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원의 전체파장범위 총합의 비율과 서로 비교하였다.

### 결 과

#### 광원의 파장별 방사조도 분포

메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원을 분광 방사조도계의 수광부로부터 1 m 거리에 설치하여, 파장별 방사조도 분포를 측정된 결과를 각각 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 메탈할라이드의 분광 방사조도는 300-1,100 nm의 전체측정 범위에 걸쳐  $10^4$ - $10^5 \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 의 높은 방사조도 값을 보였고, 특히 파장 300-650 nm 범위에서 심한 굴곡을 갖는 형태의 분광 방사조도 값을 보였다. 최대값을 보인 파장은 578 nm로 분광 방사조도 값  $7.40 \times 10^5 \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 를 나타냈다. 할로겐등의 분광 방사조도는 파장 300-1,000 nm 범위에 걸쳐, 매끈한 상승곡선 형태를 보이면서 분포하였고, 특히 파장 300-700 nm 범위에서는 장파장으로 갈수록 분광 방사조도 값이 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 최대값을 나타낸 파장과 분광 방사조도 값은 각각 973 nm에서  $1.53 \times 10^5 \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 로 나타났다 (Fig. 2).

LED 광원의 분광 방사조도 분포는 파장 300-1,100 nm의 전체 측정 범위에 걸쳐 방사조도 값이 측정되었다. 측정값의

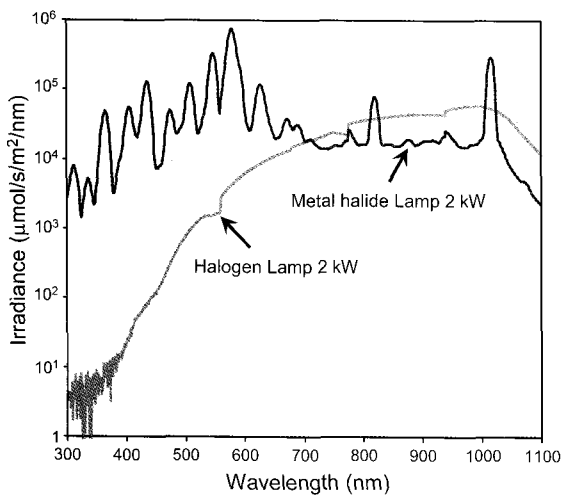


Fig. 2. Change of spectral irradiance according to the metal halide lamp and halogen lamp light source.

수직적 분포는  $10^2$ - $10^5 \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$  범위의 값을 보였으며, 수평적 분포는 백색이 파장 420-720 nm 범위에 걸쳐 넓게 분포하고 있는 것을 제외하면, 녹색을 비롯한 다른 LED 광원은 측정된 분광 방사조도 최대값을 갖는 파장을 중심으로 정규분포 형상을 보였다. 분광 방사조도 값이 최대를 갖는 대표 파장과 측정값을 순서대로 나열하면, 적색이 709 nm에서  $1.1 \times 10^2 \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 로 가장 높았고, 다음으로 오렌지색이 613 nm에서  $3.2 \times 10^{-3} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ , 청색이 473 nm에서  $1.73 \times 10^{-3} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ , 청록색이 501 nm에서  $1.42 \times 10^{-3} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ , 녹색이 525 nm에서  $9.68 \times 10^{-4} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 를 보였으며, 백색이 465 nm에서  $5.10 \times 10^{-4} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 로 최소값을 보였다 (Fig. 3).

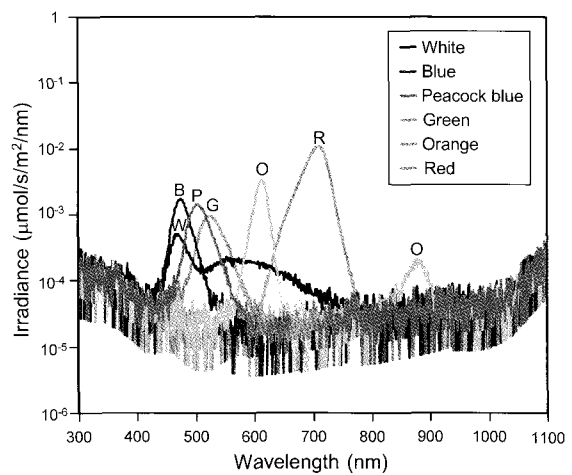


Fig. 3. Change of spectral irradiance according to the high luminance light emitting diode light source.

#### 광원의 연색성

메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원의 파장별 분광 방사조도 측정결과로부터 색의 3 자극치를 구하여 CIE의 XYZ 색표시계 상에 나타내었다 (Fig. 4). 종래의 집어등 광원으로 대표되는 메탈할라이드등과 할로겐등의 색채특성은 메탈할라이드등이 D<sub>65</sub> 표준광원의 백색역과 녹색 및 노란색의 경계선상에 분포하는 것으로 나타났고, 할로겐등은 오렌지색역에 분포하는 것으로 나타났다.

LED 광원은 백색의 경우, D<sub>65</sub> 표준광원에 가까운 백색역에 분포하였고, 청록색 LED 광원은 청색보다는 녹색역에, 오렌지색 LED 광원은 적색역에 가까운 경계선상에 분포하였다. 특히 오렌지색 LED 광원은 할로겐등의 색채특성과 가까운 연색성을 보였으며, 적색, 녹색 및 청색 LED 광원은 D<sub>65</sub> 표준광원과의 거리가 멀어 높은 채도값을 갖고, 분광 방사조도 최대값을 갖는 파장을 중심으로 범위의 색도 좌표를 갖는 것으로 나타났다

#### 광원의 파장 구간별 분광 방사조도 출력비율

메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원으로부터 측정된

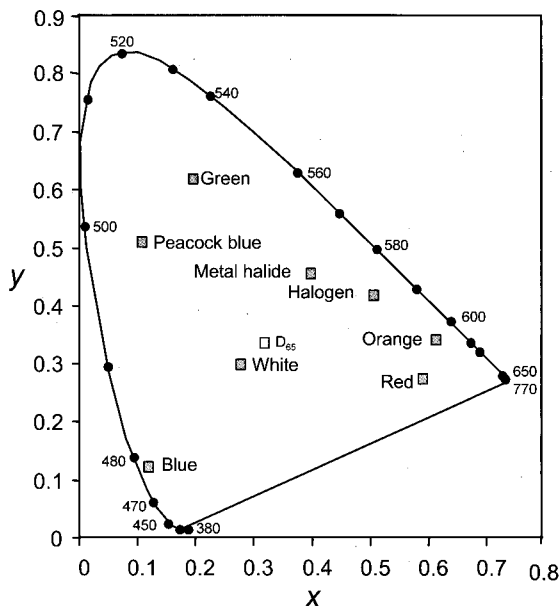


Fig. 4. CIE chromaticity diagram of high luminance light emitting diode(white, blue, green, peacock blue, orange and red colors), metal halide lamp and halogen lamp light source.

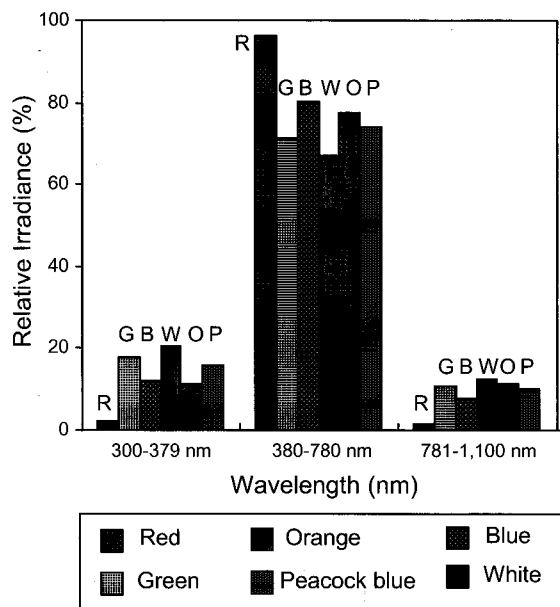


Fig. 5. Distribution of relative irradiance by high luminance light emitting diode light source in each wavelength range.

파장 30-1,100 nm 범위의 파장별 분광 방사조도 값의 총합을 100%로 한 경우, 파장범위 300-380 nm, 381-780 nm, 781-1,100 nm를 각각 자외선구간, 가시광선구간, 적외선구간으로 나누고, 각 파장범위에서 분포하는 분광 방사조도 값의 합을 전체 파장범위 총합의 비율로 구하여 각각 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원의 가시광선구간에서 분포하는 분광 방사조도 값의 비율은 LED 광원의 경우, 적색 LED 광원이 96%로 가장 높고, 그 외의 LED 광원은

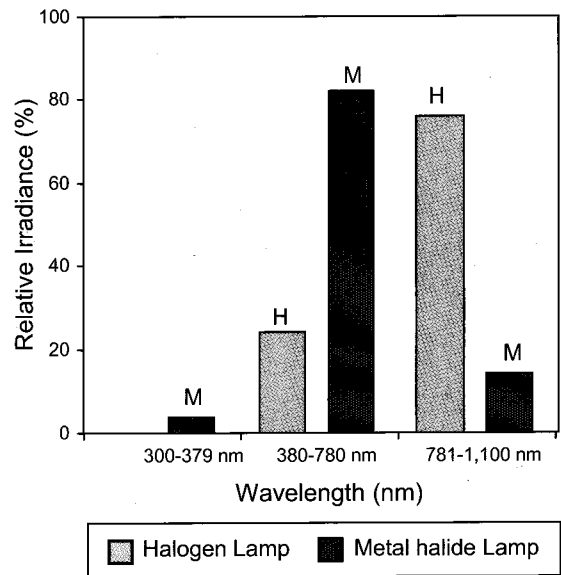


Fig. 6. Distribution of relative irradiance by metal halide lamp and halogen lamp light source in each wavelength range.

평균 77.7%의 비율 값을 갖는 것으로 나타났다 (Fig. 5). 이에 반해 메탈할라이드등은 82%, 할로겐등은 24%의 비율 값을 갖는 것으로 나타나 (Fig. 6), LED 광원과 메탈할라이드등은 다른 광원에 비해 가시광선구간에서의 출력되는 분광 방사조도의 비율이 높은 것으로 나타났다. 또한, 자외선구간과 적외선구간에서의 분광 방사조도 값의 비율은 LED가 평균 13.4%, 8.9%를 보인데 반해, 메탈할라이드등과 할로겐등은 각각 3.8%, 14.2% 및 0.01%, 75.93%의 비율 값을 보였다.

집어등 광원의 단위 전력당 방사량과 LED 광원의 전력 비교

분광 방사조도계에 의해 측정된 메탈할라이드등 및 할로겐 등의 파장별 분광 방사조도 값을 각각의 광원이 전력 1W를 사용한 경우의 파장별 분광 방사조도 값으로 환산하였다. 메탈할라이드등 및 할로겐등과 동등한 분광 방사조도 값을 얻기 위해 필요로 하는 흰색, 청색, 녹색 및 청록색 각각의 LED 광원의 개수와 이를 점등하는데 필요한 전력 (W)을 계산한 결과를 Table 2와 Table 3에 나타내었다. Table 2는 비교대상 파장을 380-780 nm 범위의 가시광선범위로 설정하여 계산결과를 나타내고, Table 3은 주광성을 갖는 어업대상 생물의 시감도 파장이 480-520 nm 범위에서 분포하는 것으로부터 (Hasegawa, 1998) 비교대상 파장범위를 480-520 nm로 설정한 경우의 계산결과를 나타낸다.

파장 380-780 nm 범위를 기준으로 한 계산결과에 의하면, 메탈할라이드등에 전력 1W를 공급하여 출력되는 방사량과 동등한 값을 얻기 위해서 필요한 LED 광원을 각각의 색상에 따라 계산하면, 1,820-4,616개의 광원이 필요한 것으로 산출되었다. 이들 각각의 색상에 따라 계산된 LED 광원의 개수를 점등하는데 필요한 전력을 계산하면 65.6-332.4 W의 전력량

Table 2. Electrical power and number of LED which is equal with sum of spectral irradiance of 1 W fishing lamp light source output in 381-780 nm visible ray

	381-780 nm							
	White		Green		Blue		P. Blue	
	Number of LED	Electrical power (W)	Number of LED	Electrical power (W)	Number of LED	Electrical power (W)	Number of LED	Electrical power (W)
Halogen Lamp	383	27.59	381	27.41	306	22.02	151	5.44
Metal halide Lamp	4,616	332.35	4,587	330.24	3,685	265.33	1,820	65.54

Table 3. Electrical power and number of LED which is equal with sum of spectral irradiance of 1 W fishing lamp light source output in 480-520 nm wavelength range

	480-520 nm							
	White		Green		Blue		P. Blue	
	Number of LED	Electrical power (W)	Number of LED	Electrical power (W)	Number of LED	Electrical power (W)	Number of LED	Electrical power (W)
Halogen Lamp	35	2.55	17	1.22	14	0.97	3	0.12
Metal halide Lamp	2,541	182.92	1,216	87.54	969	69.73	232	8.34

이 필요한 것으로 나타났다. 할로겐등에 전력 1W를 공급하여 출력되는 방사량과 동등한 값을 얻기 위해서 필요한 흰색, 녹색, 청색 및 청록색의 LED 광원의 개수는 각각 383, 381, 306 및 151개가 필요하고, 이들 광원의 개수를 점등하는 데는 필요한 전력은 각각 27.6, 27.4, 22.0 및 5.5 W가 필요한 것으로 계산되었다 (Table 2).

한편, 파장을 480-520 nm 범위로 한정된 계산결과에 따르면, 메탈할라이드등에 1W를 공급하여 출력되는 방사량과 동등한 값을 얻기 위해서 필요한 LED 광원을 각각의 색상에 따라 계산하면, 232-2,541개의 광원이 필요한 것으로 나타났고, 이들 LED 광원의 개수를 점등하기 위해서는 8.5-182.9 Wh의 전력이 필요한 것으로 산출되었다. 또한, 할로겐등에 1W를 공급하여 출력되는 방사량과 동등한 값을 얻기 위해서 필요한 흰색, 녹색, 청색 및 청록색의 LED 광원의 개수는 각각 35, 17, 14 및 3개가 필요하고, 이들 광원을 점등하는데 필요한 전력은 각각 2.6, 1.2, 0.97 및 0.12 W가 필요한 것으로 산출되었다 (Table 3).

### 고찰

본 연구에서 측정된 LED 광원의 파장별 분광 방사조도 값을 파장구간별로 정리한 결과를 살펴보면, 가시광선구간을 제외한 자외선구간과 적외선구간의 파장범위에서도 평균 13.4%, 8.9%의 분광 방사조도 값이 측정된 것으로 나타났다 (Fig. 5). 이는 특수한 목적으로 제조된 LED 광원을 제외한 일반적인 LED 광원의 분광분포와는 배치되는 것이라고 볼 수 있다 (Yamaguchi, 1987). 이와 같은 결과가 나타나게 된 주요원인을 살펴보면, 통상 LED 광원을 점등하여 측정된 분광 방사조도 값으로부터 LED 광원을 점등하지 않은 상태의 암실의 환경조도, 즉 분광 방사조도계가 측정 가능한 파장별 최소값을 차감하는 보정을 해야 한다. 그러나 본 연구가 LED 광원을 집어등 광원으로 도입하기 위한 목적의 기초 연구라는

점에서 될 수 있는 한 분광 방사조도계의 측정 정밀도 등이 포함된 실측자료를 그대로 제공하기 위해, 암실에서 측정된 LED 광원의 분광 방사조도 값을 소등시 암실의 환경조도 값과 보정하지 않은 실측값을 그대로 자료해석에 사용한 점에 주요한 원인이 있다. 즉, 측정된 LED 광원의 분광분포는 자외선 및 적외선구간의 파장범위의 분광 방사조도 값  $10^{-4} \mu\text{mol}/\text{s}/\text{m}^2/\text{nm}$  보다 낮은 값에서, 불규칙한 굴곡의 측정값이 나타나는 현상을 볼 수 있고, 이 값의 대부분은 암흑상태에서의 측정된 환경조도 값 또는 분광 방사조도계가 측정 가능한 최소한계 값을 의미한다. 따라서 이 값을 보정하면 LED 광원으로 부터 출력되는 분광 방사조도 값은 오렌지 색을 제외한 나머지 광원의 경우, 가시광선 구간에서의 비율이 전체의 대부분을 차지하게 될 것이고, 메탈할라이드등의 가시광선구간에서의 비율 82%보다 높게 나타날 것으로 사료된다.

메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원 3종류의 분광 방사조도 분포를 비교하면, 메탈할라이드등은 파장 300-1,100 nm 범위의 전역에 걸쳐 높은 출력의 수평적분포, 할로겐등은 파장 300-700 nm 범위에서 급격한 상승곡선의 형상분포를 갖는 반면 (Fig. 2), LED 광원은 백색을 제외하고, 특징의 파장 범위를 중심으로 한 정규분포 형상으로 분포하는 것으로 나타났다 (Fig. 3). 이는 방전계열, 백열계열 및 반도체계열 각각의 광원이 그 기원 및 특성을 달리하고 있고, 광원의 연구개발 방향에 있어서도, 메탈할라이드등은 가시광선대역의 출력을 극대화하고 할로겐등은 가시광선보다는 광원의 연색성 또는 열방사를 이용하기 위한 목적이 중시되었으며, LED 광원의 경우, 반도체 발광물질에 따른 단파장을 효과적으로 이용하기 위한 목적이 반영되었기 때문으로 사료된다 (Yamaguchi, 1987). 이와 같은 각 광원의 방사특성의 차이는 파장 380-780 nm 범위의 가시광선구간만을 한정하여 비교한 분광 방사조도 값의 비교결과에서도 확인할 수 있다. LED 광원과 메탈 할라이드등을 제외한 할로겐등은 가시광선구간에서 방사되

는 분광 방사조도 값은 전체의 24%만이 방사되고 나머지 76%는 적외선 구간에서 열방사되는 것으로 나타났다 (Figs. 5, 6). 이를 바꾸어 말하면 할로겐등의 조명효율은 100%의 입력 전압 대비 24%만이 어군을 유집하는데 필요한 집어등으로서의 기능을 하고 나머지는 어군의 집어와는 무관한 열방사로 소모된다는 것을 의미하는 것으로 (Yamaguchi, 1987), 백열계열의 집어등으로 대표되는 할로겐등은 가시광선 구간을 필요로 하는 집어등 어업에 있어서, 조명효율이 매우 낮은 비경제적인 광원이라 할 수 있다. 따라서, 풍치 봉수망 어선에서 어군을 신속하게 유도하기 위한 목적으로 사용되고 있는 백열계열의 집어등을 LED 광원으로 대체한다면, 전기신호를 빛으로 바꾸는 점등속도가 빠른 제어특성뿐만 아니라 (Kishi et al., 2008), 가시광선의 파장범위를 효과적으로 이용함으로써 집어등 어선의 조명효율을 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다 (Choi, 2006).

한편, 주요 어획대상이 되는 어업생물은 파장 490-513 nm의 범위에서 망막의 시물질인 로돕신의 흡수 극대값을 나타내는 것으로 보고함으로써 (Hara, 1968; Hasegawa, 1998), 집어등 광원으로부터 방사되는 파장 중에서 490-513 nm 범위가 어업생물의 광 감각과 관련된 주요 자극원이 되는 것으로 추정하고 있다. 또한, 광학적 수형 (Jerlov, 1964; Kuroki, 1989)에서의 수중투과 특성이 좋은 것으로 나타난 LED 광원의 주요파장은 465-525 nm 범위에 분포하고 있는 것으로 보고하고 있다 (Choi et al., 1998; Choi, 2006). 이러한 점들을 종합하면, 집어등 어법에서 광원으로부터 방사되는 빛은 가시광선 전 범위의 파장이 필요한 것이 아니라, 극히 제한된 일부 구간의 파장범위에 한정된다 할 것이므로, 집어등 광원으로부터 방사된 파장범위의 선택적 이용은 어선의 연료절감 측면에서 매우 중요한 의미를 갖는다고 할 것이다.

이러한 보고를 토대로 집어등 어업에서 필요로 하는 파장의 선택적 이용과 관련하여 파장구간을 480-520 nm로 한정하여 LED 광원에 대한 할로겐등과 메탈할라이드등의 조명효율을 비교하여보면, 할로겐등 1 W와 동등한 분광 방사조도 값을 얻기 위해서 필요한 청록색과 청색 LED 광원의 전력은 각각 0.12 W, 0.97 W가 필요한 것으로 계산되어, 청색과 청록색 LED 광원은 할로겐등에 비하여 조명효율이 좋은 광원인 것으로 밝혀졌다. 또한, 동일 파장범위에서 메탈할라이드등 1 W와 동등한 광원 출력을 얻기 위해서 필요한 청녹색과 청색 LED 광원의 전력은 각각 8.5 W, 69.7 W가 필요한 것으로 계산되어 LED 광원은 메탈할라이드등과 비교하여 조명효율이 좋은 광원이라고 말할 수 없다 (Table 3). 그러나, LED 광원은 제조기술 발전에 따라 광원의 단위출력이 증가하고 있고 (Nakamura, 1994; Seto et al., 2001), LED 광원은 백열계열 광원과 같이 공급되는 전압에 따라 출력되는 조도 값이 증가되는 특성을 갖고 있으며, 3 V 전압 공급시의 LED 광원의 출력조도 값은 정격전압을 공급한 경우를 100%로 할 때 약 20%의 조도 값에 상당하는 것으로 보고하고 있다 (Choi, 2006). 따라

서, 이러한 전반적인 조건들을 종합하면, LED 광원 역시 파장 범위 480-520 nm 범위에서 메탈할라이드등과 비교하여 조명효율이 좋지 않다고 단정할 수는 없는 것으로 사료된다.

다음으로 메탈할라이드등과 할로겐등 및 LED 광원의 초기설비비를 포함한 경제적인 측면에 대해서 검토한다. 2001년 실험 당시 일본에서 할로겐등 2 kW의 개당 가격은 11,000 엔, 메탈할라이드등 2 kW는 각 제조사의 제품에 따라 차이가 있으나, 23,000-34,000엔 범위에서 판매되었고, 메탈할라이드등을 점등하기 위해서 필요한 안정기는 대당 62,000엔에 판매되었다. 2008년 현재, 우리나라에서는 메탈할라이드등 1 kW와 메탈할라이드등 1 kW용 안정기의 가격이 각각 93,000원 및 216,000원에 거래되고 있고, 할로겐등 500 W의 개당 가격은 2,570원에 거래되고 있다 (www.isayprice.com 참조). 이로부터 할로겐등과 메탈할라이드등의 1 W당 광원의 초기설비비는 2001년을 기준으로 하면 각각 55원 (환율1/10 기준), 455-480원 (환율1/10기준)이 되며, 2008년을 기준으로 하면 5.14원 309원이 된다. 이에 반해, LED 광원의 개당 단가는 2001년 일본에서의 판매가격 기준으로 청색이 300엔, 청녹색이 200엔에 판매되었고, 2008년 현재 우리나라에서는 청색이 280원, 녹색이 450원, 백색이 600원에 판매되고 있다 (www.zeilcar.net 참조). 이를 기준으로 메탈할라이드등 및 할로겐등 1 W와 동등한 방사광을 얻기 위해 필요로 하는 LED 광원의 초기설비비를 Table 2와 3으로부터 계산하면, 단가가 가장 싼 청색을 기준으로 최저 3,920원이 필요하므로, LED 광원의 초기설비비는 종래의 집어등 광원과 비교하여 경제성이 떨어진다고 볼 수 있다. 그러나 광원의 정격 수명이 할로겐등의 경우, 약 1,500-2,000시간, 메탈할라이드등이 약 6,000-9,000시간인데 반해, LED 광원은 수만 시간을 넘는 반영구적 (Osaka, 1998; Yamaguchi, 1987)이며, LED 광원의 제조기술 발전에 따라 광원의 단위출력이 증가하고 있는 점, LED 광원의 공급 확대에 따라 청색 LED의 판매가격이 2008년 현재, 2001년 대비 1/10 수준으로 떨어지고 있는 점 및 LED 광원을 사용함으로써 안정기가 불필요하게 되어 어선의 적하 하중이 줄어, 어선 운항시 연료비를 절감할 수 있는 점 등의 LED 광원의 초기설비비와 관련한 직, 간접적인 측면을 고려하면, LED 광원의 조명효율이 메탈할라이드등에 비해 경제성이 떨어지는 광원이라고 단정할 수는 없는 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구에 많은 도움을 주신 日本 水産工學研究所 渡部俊廣 博士를 비롯한 漁法研究室 여러분과 논문 작성에 좋은 의견을 주신 특허청 화학생명공학심사국 남기창 박사님 및 편집위원 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

An, Y.I., H.G. Jeong, B.B. Jeong and U.J. Jang. 2008.

- The reaction behaviour of squid to the LED colour light, Fishery Science Association of Korea, 72.
- Choi, S.J. 1997. Rationalization of the light power output on small-size squid jigging boat. Ph.D. Thesis, Tokyo University of Fisheries, Tokyo, Japan, 1-289.
- Choi, S.J. and T. Arimoto. 1996. Corroborative field research, In Report of rationalization of the light power on small-type squid jigging boat. National federation of fisheries co-operative associations, Tokyo, 1-14.
- Choi, S.J., H. Arakawa, Y. Nakamura and T. Arimoto. 1998. Transmittance characteristics of fishing light according to the optical water type in the squid jigging ground of the Sea of Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 64, 650-657.
- Choi, S.J., T. Watanabe and N. Honda. 2002. Abstract, *Ann. Meet. Jap. Soc. Fish.*, 113.
- Choi, S.J. 2006. Radiation and underwater transmission characteristics of a high-luminance light emitting diode as the light source for fishing lamp. *J. Kor. Fish. Soc.*, 39, 480-486.
- Hara, T. 1968. Photosensitive Pigments in the Cephalopod Retina. *Zoological Magazine*, 77, 99-108.
- Hasegawa, E. 1998. Study on measurement of spectral sensitive under scotopic conditions using optometer reaction in fishes. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 64, 626-630.
- Inada, H., D. Inoue, M. Sato, Y. Miyagi, S. Inoue, T. Watanabe, E. Sano, M. Noda, S. Hamade and S. Fuzihara. 2006. Abstract, *Ann. Meet. Jap. Soc. Fish.*, 7.
- Inoue, D., H. Inada, Y. Miyagi, S. Inoue, T. Watanabe, E. Sano, M. Noda, T. Yamamoto and S. Hamade. 2006. Abstract, *Ann. Meet. Jap. Soc. Fish.*, 8.
- Jerlov, N.G. 1964. Optical classification of ocean water, In: *Physical aspects of light in the sea*. Hawaii University Press, Honolulu, 45-49.
- Kishi, A., H. Inada, T. Muramoto, T. Mino and K. Satoh. 2008. Underwater irradiance distribution of onboard fishing light for saury lift net and squid jigging, 5th World Fisheries Congress, Yokohama, Japan, 313.
- Kuroki, T. 1989. Measurement of Ocean environment, *Kouseisya*, Tokyo, 18-70.
- Miyagi, Y., H. Inada, H. Lee, M. Sato, M. Tsukada, D. Inoue, H. Sato, M. Noda, E. Sano, S. Hirata and Y. Sakurai. 2006. Abstract, *Ann. Meet. Jap. Soc. Fish.*, 9.
- Nakamura, S., T. Mukai and M. Senoh. 1994. Candera-class high-brightness InGaN/AlGaIn double-heterostructure blue-light-emitting diodes. *Appl. Phys.*, 64, 1687.
- Okamoto, K., D. Kato, K. Morimoro, T. Yanagi and T. Ochi. 2001. Development of fishing lamp using bluish-color light emitting diode, 2001 National Convention Record I.E.E. Japan, 373.
- Osaka, N. 1998. Handbook of color science. The Color Science Association of Japan, University of Tokyo Press, Tokyo, 1-85.
- Seto, T., Y. Uchida and T. Taguchi. 2001. Illuminance characteristics of energy-saving luminaire with white-light emitting diode and a solar-cell and battery system for street lighting. *J. Illum. Inst. Jpn.*, 85, 577-584.
- Yamaguchi, S. 1987. Lighting Handbook. The Illuminating Engineering Institute of Japan, Ohmsha, Tokyo, 1-609.
- Yamashita, H., H. Inada, H. Okamura, Y. Ochi and M. Ogawa. 2008. Comparison of jigging catchabilities by underwater fishing light with different light source, color and irradiance for neon fling squid, 5th World Fisheries Congress, Yokohama, Japan, 313.

---

2008년 8월 28일 접수

2008년 11월 26일 수리