

# 이종(異種) 광원 조합에 의한 복수 광원의 분광 방사특성과 광달(光達)거리 및 집어등 운용방법

최석진\*

특허청 기계금속건설심사국

## Characteristics of Spectral Irradiance Based on the Distance from the Light Source and Operating Method for Fishing Lamps with a Combined Light Source

Sok Jin Choi\*

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

Characteristics of spectral irradiance based on the distance from the light source, which combined metal halide lamp and high-luminance light-emitting diode (LED) light, were studied to investigate a suitable operating method for fishing lamps of the next generation. A 380-780 nm wavelength radiation was superior when using 1 W electrical power in the order of metal halide lamp, blue LED, white LED, and combined LED lights. The wavelengths at which the irradiance was at a maximum were fixed to 581 nm for the light source, which was combined for each ratio. If the irradiance characteristics at 300-1100 nm wavelengths were set as 100%, the irradiance rates at 400-599 nm were 100%, 72.7%, 88.9%, and 69.5% for the blue, white, combined LED lights, and metal halide lamp, respectively. This indicated that the color rendering of the LED lights was dependent on the metal halide lamp light source. When the horizontal profiles (450-550 nm wavelength) of irradiances were compared to a different type of light source in the ratio white LED: combined LED lights: blue LED: metal halide lamp, the irradiated area of more than 0.01  $\mu\text{mol}/\text{s}/\text{m}^2/\text{nm}$  was in the ratio 1.0 : 1.3 : 1.7 : 37.3, respectively. Based on the radiation characteristics and irradiance according to the distance from the light source, LED lights have an estimated economic efficiency if used before and after operation of a metal halide lamp.

Key words: Metal halide lamp, LED, Irradiance, Fishing Lamp, Operating Method

### 서 론

백열등 및 할로겐등과는 달리 메탈할라이드등 (Metal Halide Lamp)은 방전계열을 대표하는 광원으로, 1970년대 후반 집어등 어업의 에너지 절약을 목적으로 도입되었다 (Choi and Arimoto, 1996). 메탈할라이드 등의 도입과 함께 집어등은 광질 변화는 물론 발광효율 면에서도 큰 폭으로 향상되었으나 (Choi et al., 2002a), 어업경비 절감에 도움이 될 것으로 기대되었던 도입 당시의 목적과는 달리 오징어 채낚기 어선의 광원 출력을 증대시키는 결과를 낳게 만들었다 (Choi, 1997). 1990년대 초반 일본에서는 어선의 연료경비 절감을 목적으로 오징어 채낚기 어선의 광력 적정화 사업이 진행되어, 여기서 얻어진 결과를 토대로 소형 오징어 채낚기 어선에서 필요한 집어등 총 광력을 180 kW로 정하고 어장에서 광력규제를 실시하기에 이르렀다 (Choi et al., 2002a). 이러한 노력에도 불구하고 최근 수년간 급격하게 상승한 원유가는 어업경비를 한층 더 증가시켜 어업경영을 압박하는 주요한 요인으로 자리 잡게

되었다 (Choi, 2003a). 메탈할라이드 등이 집어등으로 보급된 지 30여 년이 지난 2000년대에 들어서는 원유가의 상승에 따른 어업경영의 부담을 줄이기 위한 대안으로 기존의 광원발전 체계와는 전혀 다른 반도체계열의 발광 다이오드 (Light Emitting Diode: 이하 'LED'라 한다)를 어업용 집어등으로 도입하기 위한 연구가 시작되었다 (Okamoto et al., 2001; Choi et al., 2002b; Inada et al., 2006; Inoue et al., 2006; Choi, 2006; Choi, 2008; Bae et al., 2008; Bae et al., 2009; Choi, 2009; An et al., 2009). 이러한 움직임은 종래의 백열계열, 방전계열의 광원을 주요 축으로 하는 지금까지의 집어등 어업을 획기적으로 변화시킬 수 있는 전환기에 해당하는 것으로 평가되고 있다.

한편, 1970년대 후반, 메탈할라이드 등이 어선에 집어등으로 도입되고 상용화되는 과정에서 어업자들은 당시 주류를 이루었던 집어등인 백열등을 메탈할라이드 등과 병행하여 혼용하였으며, 이러한 조업방식은 최근까지 메탈할라이드 등과 할로겐 등의 혼용사용 형태로 유지되어왔다 (Choi, 1997). 이와 같이 기존의 광원과는 다른 발전체계를 갖는 이종 광원이 집어등으로 새롭게 도입되기 시작한 1970년대 후반, 어업

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

계가 처했던 상황을 토대로, LED 광원을 차세대 집어등 광원으로 도입하기 위한 연구 등이 새롭게 진행되고 있는 현재 어업계의 상황을 비교하면, LED 광원이 집어등으로 도입된다고 하더라도 일정 기간 동안은 현재 집어등으로서 주류를 이루는 메탈할라이드 등을 병행 사용하는 과도기를 거칠 수밖에 없을 것으로 사료된다. 그럼에도 불구하고 LED 광원을 집어등으로 이용하기 위한 최근의 연구는 LED 광원 자체의 물리적 특성 또는 수조 실험결과에 한정되어 있고 (Bae et al., 2008; Bae et al., 2009; Choi et al., 2002b; Choi, 2006; Choi, 2008; Choi, 2009; An et al., 2009), LED 광원이 집어등으로 도입된 이후, 현재 주류를 이루는 메탈할라이드 등과 혼용하여 사용하는 경우를 가정한 복수 광원의 방사 특성 및 집어등 광원의 운용방법 등에 대한 검토까지는 미치지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 현재 집어등 어선의 대표적 광원인 메탈할라이드 등과 차세대 집어등 광원으로 주목받고 있는 LED 광원을 집어등으로 혼용하여 사용하는 경우를 가정하고, 이중 광원의 적절한 운용방법을 검토할 목적으로, 각각의 광원에 대한 분광 방사조도 및 연색성 등을 포함한 물리적 특성을 측정하였다. 또한, 서로 다른 이중 광원이 어선의 집어등으로서 각각 또는 동시에 점등된 경우의 광학적 도달 거리를 계산함으로써, 집어등 어장에서 어군을 집어하기 위한 이중 광원의 효율적 운용을 위한 조업방법 등에 대하여 검토하였다.

자료 및 방법

LED 광원에 대한 분광 방사조도 측정은 2001년 6월 25일부터 30일까지 6일간에 걸쳐, 메탈할라이드 등의 분광 방사조도 측정은 2003년 2월 17일부터 20일까지 3일간에 걸쳐, 일본 수산공학연구소의 실험동 암실에서 야간에 실시하였다. 측정에는 메탈할라이드 등 (日本電池, GM20WH, 백색)과 백색 LED 광원 (NICHIA, NSPW500BS) 및 청색 LED 광원 (NICHIA, NSPB500S)을 사용하였다. 측정에 사용된 메탈할라이드 등과 백색 및 청색 LED 광원의 정격전압과 전류는 Table 1에 나타내었다.

메탈할라이드 등과 LED 광원의 분광 방사조도 측정 및 보정

메탈할라이드등과 LED 광원의 분광 방사조도 측정에는 분광 방사조도계 (LI-1800C, LI-COR Inc.)를 사용하였다. LED 광원은 광원의 발광축 수직하방이 분광 방사조도계의 수광부

Table 1 Voltage and electrical current of the blue and white color high luminance light-emitting diode (LED) lights and metal halide lamp light source

Light source	Voltage(V)	Electrical current(mA)
Blue LED light	3.6	20
White LED light	3.6	20
Metal halide lamp	230	9000

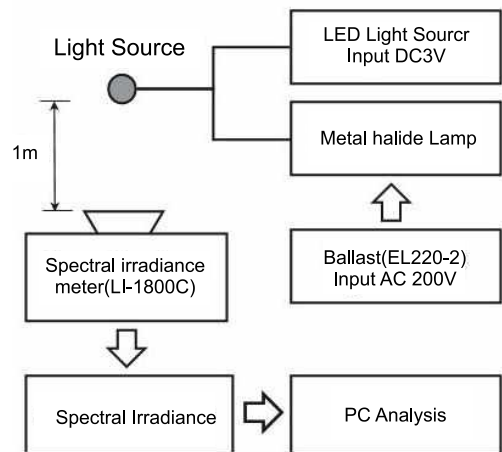


Fig. 1. The diagram showing the measurement concept of radiation characteristics using radiometer with high luminance light-emitting diode (LED) lights and metal halide lamp light source.

와 1 m의 거리를 두고 마주보도록 설치하였고, 메탈할라이드 등의 경우는 광원의 발광축 수평 90도 방향이 하방으로 되도록 하고, 분광 방사조도계의 수광부와 1 m의 거리를 두고 마주보도록 설치하였다. 각 광원의 분광 방사조도 측정은 광원을 소등한 상태로 암실 내의 분광 방사조도 분포를 측정하였다. 메탈할라이드 등에는 200 V 교류전압을 집어등용 안정기 (USHIO, GEL220-2 HD)에 입력하여, 출력된 교류 전압을 공급하는 한편, LED 광원에는 3 V의 직류 전압을 공급하였다. 메탈할라이드 등과 LED 광원 각각에 설정된 전압을 공급함에 따라 광원으로부터 방사된 빛은 분광 방사조도계의 수광부에 0°± 1°의 범위에서 입사하도록 고정하고, 파장 300-1100 nm 범위에서 1 nm 간격으로 3회씩 측정하여, 그 평균치를 구하였다 (Fig. 1). 각 광원으로부터 측정된 분광 방사조도 값으로부터 광원을 소등한 상태에서 측정된 암실 내의 분광 방사조도 분포 값을 보정한 각 광원의 분광 방사조도 측정값을 사용하였다.

가법혼색에 의한 광원의 단위 전력당 분광 방사조도 값 계산

분광 방사조도계에 의해 측정된 메탈할라이드 등과 LED 광원의 분광 방사조도 값은 가법혼색 등색식을 이용하여, 각 광원이 전력 1 W를 사용한 경우, 광원으로부터 방사되는 분광 방사조도 값으로 계산하였다. 즉 메탈할라이드 등과 LED 광원의 분광 방사조도 측정값을 [F<sub>1</sub>], [F<sub>2</sub>] ... [F<sub>N</sub>] 이라 하고, 이들을 조합한 복수 광원의 분광 분포 값을 [F] 이라고 하면, 광원의 강도를 α 배로 증가시키거나, 일정 비율로 조합하여 생성된 복수 광원 [F] 사이에는 다음과 같은 비례법칙 및 가산 법칙의 등색 식이 성립한다 (Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003).

$$[F] = \alpha \times [F_1] \tag{1}$$

$$[F] = [F_1] + [F_2] + \dots + [F_N] \tag{2}$$

따라서, 백색 LED 광원 [W], 청색 LED 광원 [B]과 메탈할라

이드 등 [M]으로부터 측정된 파장 300-1100 nm 범위의 분광 방사조도 값을 일정 비율로 증감 및 조합하여 만들어진 300-1100 nm 범위의 파장별 방사조도 분포를 갖는 복수 광원 [F<sub>WM</sub>], [F<sub>BM</sub>] 및 [F<sub>WBM</sub>]의 등색식은 각각 다음과 같이 정의할 수 있다.

1) 백색과 청색 LED 광원의 조합

$$[F_{WB}] = ([W] + [B]) / 2 \quad (3)$$

2) LED 광원과 메탈할라이드 등 1 : 1 조합

$$\begin{aligned} [F_{WM}] &= [W] + [M] \\ [F_{BM}] &= [B] + [M] \\ [F_{WBM}] &= [F_{WB}] + [M] \end{aligned} \quad (4)$$

3) LED 광원과 메탈할라이드 등 1 : 15 조합

$$\begin{aligned} [F_{WM}] &= [W] + [M] \times 15 \\ [F_{BM}] &= [B] + [M] \times 15 \\ [F_{WBM}] &= [F_{WB}] + [M] \times 15 \end{aligned} \quad (5)$$

4) LED 광원과 메탈할라이드 등 1 : 5 조합

$$\begin{aligned} [F_{WM}] &= [W] + [M] \times 5 \\ [F_{BM}] &= [B] + [M] \times 5 \\ [F_{WBM}] &= [F_{WB}] + [M] \times 5 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 LED 광원과 메탈할라이드 등의 1:1 조합은 각각의 광원이 1 W의 전력을 사용한 경우를 포함한 동일 비율로 조합되었을 때를 가정한 것이고, LED 광원과 메탈할라이드 등 1:15 조합은 단위 광원의 물리적 최소 단위로서 LED 광원이 100W, 메탈할라이드 등이 1.5 kW인 점을 고려한 비율이다. LED 광원과 메탈할라이드 등 1:5 조합은 오징어 채내기 어선이 LED 광원과 메탈할라이드 등을 각각 8 kW, 40 kW로 동시에 장비하여 조업하는 경우를 고려한 조합 비율에 해당한다 (Bae et al., 2009).

메탈할라이드 등과 LED 광원의 도달 거리별 방사조도 값 계산

메탈할라이드 등과 LED 광원의 단위 W당 분광 방사조도 값 중에서 어군의 집어에 주로 이용되는 파장범위 450-550 nm의 방사 조도값의 총합을 구하고, 이 구간의 값이 각각의 광원으로부터 방사되어 일정거리에 떨어진 피조점에 도달된 때의 방사조도 값을 계산하였다. 즉, 수면에서 높이 h(m)에 있는 광원에서 방사된 빛이 피조점에 도달하는 경우의 수평면 조도 I<sub>(λ)</sub>는 다음 식으로부터 구할 수 있다 (Choi, 1997).

$$I_{(\lambda)} = I_{0(\lambda)} \times \cos \theta / r^2 \quad (7)$$

단, I<sub>0(λ)</sub>는 광원에서 1 m의 거리에서 측정된 파장별 방사조도 값을 나타내고, r은 광원에서 피조점까지의 거리(m)를 나타내며, cos θ 값은 광원의 높이와 피조점까지의 거리(m)로부터 구할 수 있다.

광원의 연색성 계산 및 파장범위별 분광 방사조도 비교

분광 방사조도계에 의해 측정된 가시광선 구간에 해당하는 파장범위 381-780 nm의 측정값으로부터 메탈할라이드 등과 LED 광원 및 이들 광원의 조합에 의한 복수 광원 각각의 색도좌표 x, y, z를 다음 식에 따라 계산하여 CIE XYZ 색표시계상에 나타내었다 (Osaka, 1998).

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z} \end{aligned} \quad (8)$$

단,

$$\begin{aligned} X &= \int S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot d\lambda \\ Y &= \int S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d\lambda \\ Z &= \int S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d\lambda \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 S(λ)는 표준광의 분광분포, R(λ)는 메탈할라이드 등과 LED 광원 및 이들 광원의 조합에 의한 복수 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, 메탈할라이드 등과 LED 광원 및 이들 광원의 조합에 의한 복수 광원으로부터 측정된 300-1100 nm 범위의 파장별 분광 방사조도 값의 총합을 100%로 정하고, 측정된 파장범위를 100 nm 구간으로 각각 나누어 각 파장 구간별로 분포하는 분광 방사조도 값을 합산하여 전체 파장범위의 총합과 비교하였다.

복수 광원의 수중투과특성 계산

메탈할라이드 등과 LED 광원의 조합에 의한 복수 광원이 어장에서 집어등으로 사용되는 경우를 가정한 복수 광원의 수중투과 특성을 광학적 수형별로 계산하였다. 복수 광원의 파장별 수중투과특성 계산에는 Jerlov가 정한 광학적 수형 (Jerlov, 1964; Kuroki, 1989)의 파장별 투과율 값을 소산계수 k<sub>(λ)</sub>로 하고, 복수 광원의 파장별 분광 방사조도 값을 수면상의 분광 방사조도 값으로 하여, 수심 1 m와 10 m 수중에 투과한 경우의 분광 방사조도 값을 다음 식에 따라 각 파장별로 계산하였다 (Choi, 1998; Choi, 2006).

$$I_{(\lambda)} = I_{0(\lambda)} \exp(-k_{(\lambda)} \times z) \quad (10)$$

$$k_{(\lambda)} = z^{-1} \times \ln(I_{0(\lambda)} / I_{(\lambda)}) \quad (11)$$

단, I<sub>(λ)</sub>는 파장 λ의 하층의 분광 방사조도, I<sub>0(λ)</sub>는 파장 λ의 상층의 분광 방사조도, z는 I<sub>(λ)</sub>와 I<sub>0(λ)</sub>의 수심차 (m) 및 k<sub>(λ)</sub>는 광학적 수형에서 파장 λ의 소산계수를 나타낸다.

결 과

메탈할라이드 등과 LED 광원 및 복수 광원의 파장별 방사조도 변화

메탈할라이드 등과 LED 광원을 분광 방사조도계의 수광부로부터 1 m 거리에 설치하여 측정된 파장별 방사조도 값을 각 광원이 전력 1 W를 사용한 경우 광원으로부터 방사되는 분광 방사조도 값으로 계산하여 Fig. 2에 나타내었다.

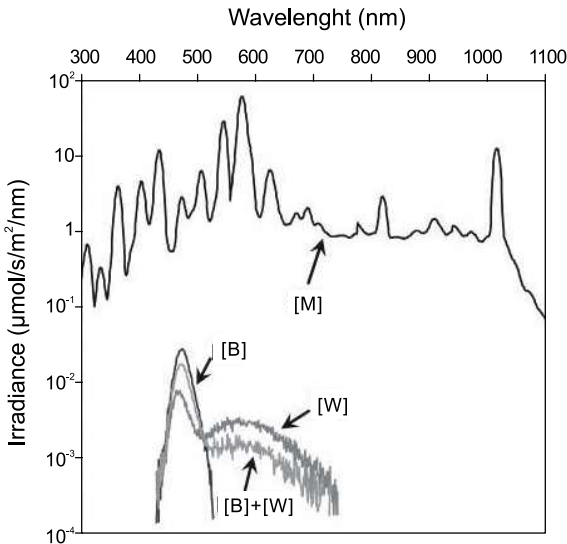


Fig. 2 Change of spectral radiance according to the metal halide lamp and each LED lights. [W]: White LED, [B]: Blue LED, [M]: Metal halide lamp.

LED 광원의 분광 방사조도 분포는 파장범위 434-720 nm에서 방사조도 값이 측정된 것으로 나타났다. 백색, 청색 및 백색과 청색 광원을 조합한 LED 광원 [B], [W] 및 [F<sub>WB</sub>]의 파장별 방사조도의 수평적 분포는 백색이 파장범위 420-720 nm에서 유효한 값을 갖고, 파장 465 nm에서 최대값을 갖는 것으로 나타났다. 청색은 파장범위 434-532 nm에서 유효한 값을 갖고, 파장 473 nm에서 최대값을 갖는 포물선형태의 정규분포 형상을 보였다. 이들 광원의 분광 방사조도 값의 수직적 분포는 10<sup>-1</sup>-10<sup>-4</sup> μmol/s/m<sup>2</sup>/nm 범위에서 분포하였고, 청색과 백색 LED 광원을 조합한 [F<sub>WB</sub>]의 경우, 파장범위 430-720 nm에 걸쳐 넓은 범위에서 유효한 값을 갖는 것으로 나타났다. 특히, 파장범위 430-530 nm에서는 방사조도 값이 백색의 경우보다 높은 값을 보였고, 파장범위 530-700 nm 부분의 방사조도 값은 백색보다 낮은 값을 갖는 파장분포를 보였다. 청색과 백색이 혼합됨으로써 최대값을 갖는 파장은 475 nm로서 청색이 473 nm인 것과 비교하면 미소하나마 장파장 방향으로 이동하였다. 이는 청색을 기준으로 볼 때, 단색인 때의 방사조도 값이 최대를 갖는 파장에서의 방사조도 분포 특성을 유지하면서, 방사조도 값이 측정되지 않았던 532 nm 이후 부분의 파장에서도 유효한 방사조도 값을 갖는 새로운

광원으로 혼색된 것을 나타낸다.

메탈할라이드 등의 경우 분광 방사조도는 300-1100 nm의 전체 측정범위에서 10<sup>2</sup>-10<sup>-1</sup> μmol/s/m<sup>2</sup>/nm 범위의 높은 방사조도 값을 갖는 것으로 나타났고, 특히 파장 300-660 nm 범위에서 심한 굴곡을 갖는 분광 방사조도 값을 보였다. 최대값은 파장 581 nm에서 6.56×10<sup>2</sup> μmol/s/m<sup>2</sup>/nm의 값을 보였고, 다음으로 549, 438 nm에서 높은 값을 보였다.

이중 광원의 혼합 비율에 따른 복수 광원의 파장별 방사조도 변화

메탈할라이드 등과 LED 광원을 각각의 비율로 혼합한 경우의 복수 광원 [F<sub>WM</sub>], [F<sub>BM</sub>] 및 [F<sub>WBM</sub>]으로부터 방사되는 분광 방사조도 값을 계산하여 Fig. 3에 나타내었다. 동 결과에는 3개의 분광 방사조도 분포곡선을 나타내고 있으나, 이들 각각의 분광 방사조도 곡선은 각각의 비율로 혼합된 복수 광원 [F<sub>WM</sub>], [F<sub>BM</sub>] 및 [F<sub>WBM</sub>]의 분광 방사조도 분포가 동일하게 겹쳐진 상태를 나타낸다. 이는 메탈할라이드 등의 분광 방사조도 값에 비해 LED 광원의 분광 방사조도 값이 상대적으로 미소하여 이중 광원의 분광 방사조도 값이 혼색되더라도 LED 광원의 분광 방사조도 값이 메탈할라이드 등의 분광 방사조도 값을 변화시키는데 영향을 미치지 못하였다는 것을 나타낸다. 메탈할라이드 등과 LED 광원이 서로 다른 비율로 조합된 총 9 종류 복수 광원의 분광 방사조도 곡선의 전체적인 변화는 파장범위 300-1100 nm에서 높은 방사조도 값을 갖는 것으로 나타났다. 각각의 조합 비율에 따른 복수 광원의 방사조도가 최대값을 갖는 파장은 모두 581nm로 동일하였고, 최대파장에서의 분광 방사조도 값은 메탈할라이드 등과 LED 광원의 비율이 1:1, 1:15 및 1:5 비율별로 각각 5.7×10<sup>2</sup> μmol/s/m<sup>2</sup>/nm, 9.23×10<sup>2</sup> μmol/s/m<sup>2</sup>/nm 및 3.44×10<sup>2</sup> μmol/s/m<sup>2</sup>/nm를 나타내었다.

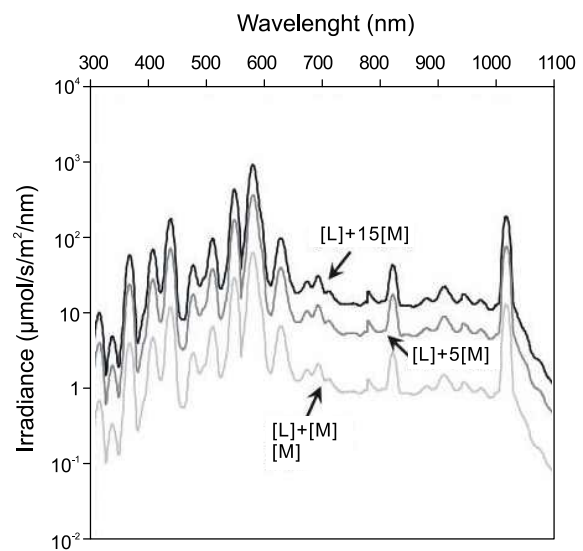


Fig. 3 Change of spectral radiance according to the light source which combined at each ratio. [L]: LED, [M]: Metal halide lamp.

파장구간별 광원의 분광 방사조도 출력 비율 변화

메탈할라이드등과 청색, 백색 및 청색과 백색을 혼합한 LED 광원의 파장범위 300-1100 nm 의 분광 방사조도 값의 총합을 100%로 한 경우, 파장을 300 nm부터 1100 nm까지 각각 100 nm 간격으로 나누고, 각 파장구간에서 분포하는 방사조도 값의 합을 전체 파장범위의 총합으로 나눈 비율 값을 구하여 Fig. 4에 나타내었다.

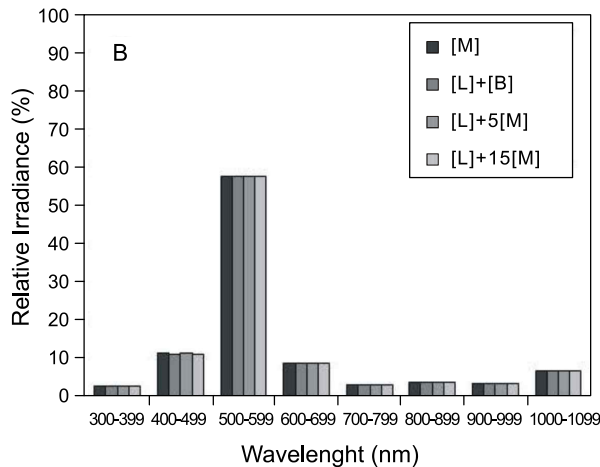
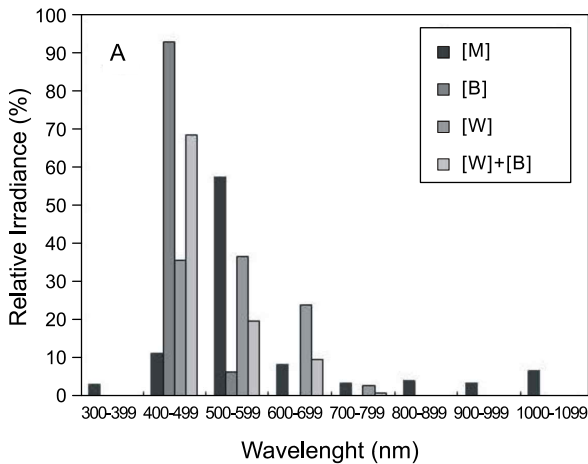


Fig. 4 Distribution of relative irradiance by the metal halide lamp and LED lights in each wavelength range. [W]: White LED, [B]: Blue LED, [M]: Metal halide lamp.

분광 방사조도 값의 비율이 가장 높은 값을 갖는 파장범위 구간은 청색 LED가 400-499 nm에서 93.3%를 갖는 것으로 나타났고, 파장구간 500-599 nm 에서 6.7%의 방사량을 갖는 것으로 나타났다. 백색 LED의 경우, 분광 방사조도 값은 파장구간 400-499 nm, 500-599 nm 및 600-699 nm에서 각각 35.9%, 36.8% 및 24.2%의 방사조도 값을 보였다. 청색과 백색이 조합된 LED 광원의 경우, 파장구간 400-499 nm, 500-599 nm에서 68.8%, 20.1%의 분광 방사조도 값을 갖는 것으로 나타나, 파장 400-499 nm 구간에서 백색 LED의 경우보다 분광 방사조도

값의 비율이 상대적으로 높은 방사조도 값을 갖는 것으로 나타났다. 메탈할라이드 등의 경우는 파장구간 500-599 nm, 400-499 nm에서 각각 58%, 11.5%의 방사량을 보였고, 그 외의 범위에서는 10% 미만의 방사량을 갖는 것으로 나타났다(Fig. 4-A).

메탈할라이드 등과 LED 광원을 3종류의 비율로 조합한 복수 광원의 방사조도 값은 파장구간 500-599 nm에서 58%로 최대 값을 보였고, 다음으로 파장구간 400-499 nm에서 11.5%를 나타내었다. 이러한 파장 분포변화는 3종류 각각의 비율로 조합된 모든 광원에서 동일한 값을 보였으며, 메탈할라이드 등을 단독으로 한 경우의 파장 분포 값과도 동일한 결과를 나타내었다. 메탈할라이드 등의 방사조도 값에 비해 LED 광원의 방사조도 값이 상대적으로 미소하고 또한, 이중 광원 모두가 400-599 nm 구간에서의 방사량의 분포가 60% 이상의 값을 가지므로, 복수의 광원이 혼합되더라도 주요 파장구간을 포함한 전구간에서 분광 방사조도 값의 비율 분포를 변화시키는데 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다 (Fig. 4-B).

광원의 연색성

메탈할라이드등과 청색, 백색 및 청색과 백색을 조합한 LED 광원의 파장별 분광 방사조도 값으로부터 색의 3 자극치를 구하여 CIE XYZ 색표시계 상에 나타내었다(Fig. 5).

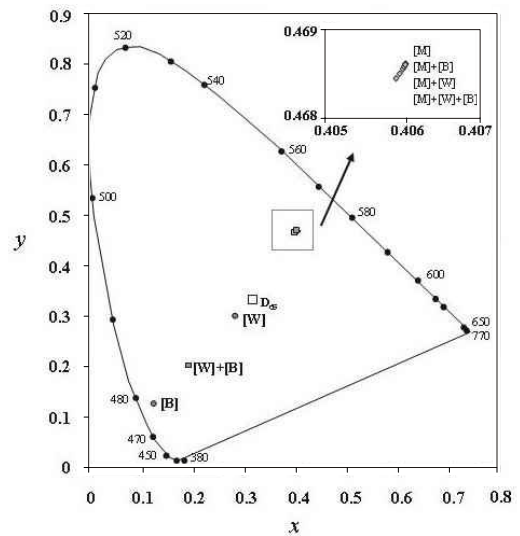


Fig. 5 CIE chromaticity diagram of the metal halide lamp, each color of LED lights and combined light source. [W]: White LED, [B]: Blue LED, [M]: Metal halide lamp.

LED 광원의 색채 특성은 청색과 백색 LED 광원이 D<sub>65</sub> 표준광원을 기준으로, 파장 477 nm를 연결하는 가상직선상에 분포하였고, 청색과 백색을 조합한 [F<sub>WB</sub>]는 백색과 청색 LED를 연결하는, 청색쪽에 가까운 가상직선상에 분포하였다. 메탈할라이드 등의 경우 D<sub>65</sub> 표준광원과 570 nm를 연결하는 가상직선상에 분포하였다. 메탈할라이드 등과 LED 광원을 일정비율로 혼합한 3종류의 복수 광원의 경우, x 값이

0.405-0.407의 범위,  $y$  값이 0.468-0.469의 범위에서 분포하여 메탈할라이드 등을 단독으로 측정한 때의 광원색과 거의 동일한 연색성을 갖는 것으로 나타났다. 즉, 광원의 연색성에서도 메탈할라이드 등의 방사조도 값에 비해 LED 광원의 방사조도 값이 상대적으로 적어 광원의 연색성 변화에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

복수 광원의 도달 거리별 조도 변화

메탈할라이드 등과 청색, 백색 및 청색과 백색을 조합한 LED 광원의 단위 W당 파장별 분광 방사조도 값 중에서 집어등 어업에서 주로 이용되는 파장범위 450-550 nm의 방사조도 값의 총합을 구하고, 이 값이 광원으로부터 방사된 경우, 일정 거리에 떨어진 피조점에 도달되는 방사조도 값을 계산한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 메탈할라이드 등의 경우, 광원으로부터 1 m 거리에 분포하는 파장범위 450-550 nm의 방사조도 값의 합은  $5.3 \times 10^2 \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$  였고, 3 m 거리에서는 1/10 수준으로 감소하였으며, 70 m 에서  $1 \times 10^{-1} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$  까지 감소하였다. 광원으로부터 거리가 멀어짐에 따라 분광 방사조도 값은 더욱 감소하여 225 m 에서  $1 \times 10^{-2} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 의 값을 보였다. 청색, 백색 및 청색과 백색을 혼합한 LED 광원의 경우, 광원으로부터 1 m 거리에 분포하는 파장범위 450-550 nm의 방사조도 값의 합은 각각  $9 \times 10^{-1} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ ,  $4 \times 10^{-1} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$  및  $7 \times 10^{-1} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 를 나타내었다. 또한,  $1 \times 10^{-1} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 의 방사조도 값을 갖는 각각의 LED 광원으로부터의 거리는 청색이 3 m, 백색이 2 m, 청색과 백색의 조합이 2.5 m로 나타났고,  $1 \times 10^{-2} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 의 방사조도 값을 갖는 LED 광원으로부터의 거리는 청색, 백색 및 청색과 백색의 조합이 각각 10 m, 6.5 m 및 8 m로 나타났다.

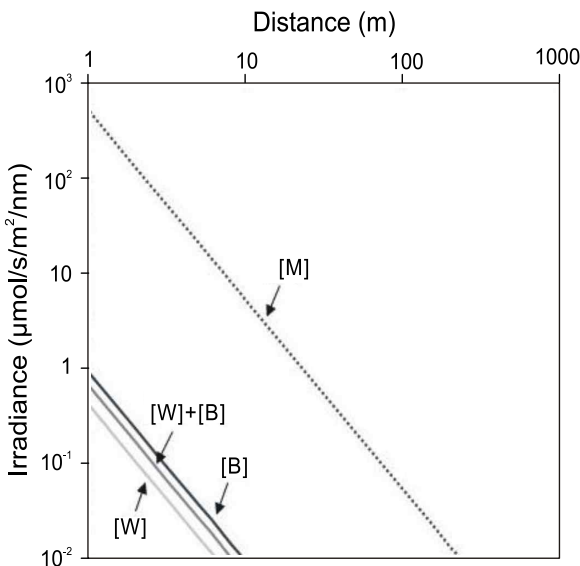


Fig. 6 Decrease of irradiance according to the distance from each color of LED lights and metal halide lamp light source. [W]: White LED, [B]: Blue LED, [M]: Metal halide lamp.

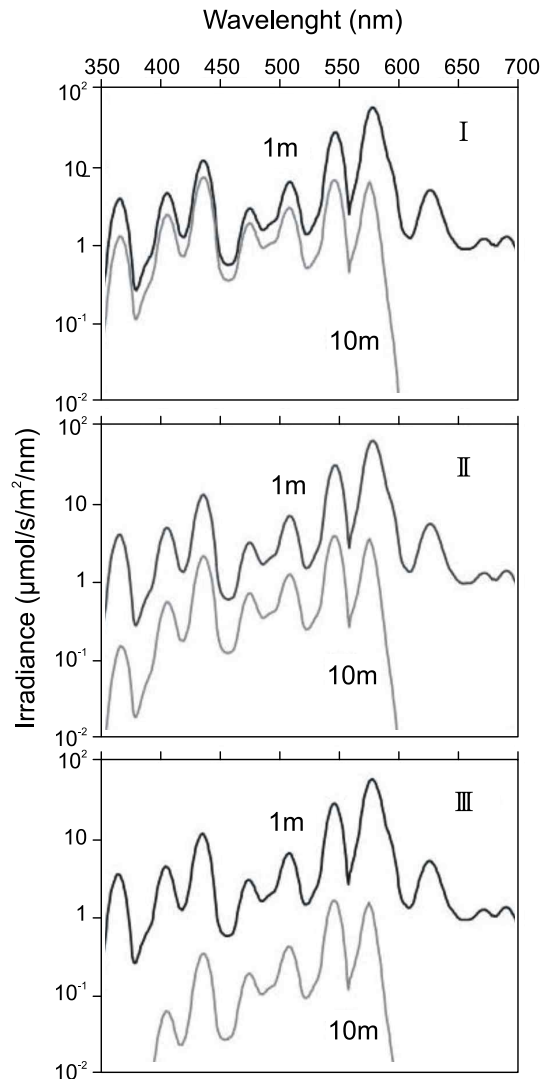


Fig. 7 Change of underwater transmission characteristic according to the light source which combined at each ratio. I: Optical water type I, II: Optical water type II, III: Optical water type III.

이중 광원의 혼합 비율에 따른 복수 광원의 수중투과 특성

메탈할라이드 등과 청색, 백색 및 청색과 백색을 조합한 LED 광원이 어장에서 집어등으로 사용되는 경우를 가정하여 각 광원에 대한 수중투과특성을 광학적 수형별로 계산하여 Fig. 7에 나타내었다. 동 그림에 표시된 곡선은 수심 1m와 10m 에 도달한 경우, 각 수심에서 분포하는 파장별 방사조도 값의 계산 결과를 나타낸다. 또한, Fig. 7 에 나타낸 각각의 분광 방사조도 곡선은 메탈할라이드 등과 청색, 백색 및 청색과 백색을 1:1로 조합한 복수 광원  $[F_{WM}]$ ,  $[F_{BM}]$  및  $[F_{WBM}]$ 의 분광 방사조도 분포가 모두 겹쳐진 상태를 나타낸다. 복수 광원으로부터 방사된 빛이 광학적 수형 I, II 및 III 의 수중을 통과하여 수심 1 m 에 도달한 경우, 파장별 방사조도 값의

수평적 분포는 곡선의 요철부분이 비교적 완만해지는 한편, 공중에서의 최대값을 보였던 파장값에서 최대값을 유지한 채로 전체적으로 공중에서의 측정값과 유사한 형상의 분포를 갖는 것으로 나타났다. 복수 광원으로부터 방사된 빛이 광학적 수형 I, II 및 III의 수중을 통과하여 수심 10 m에 도달한 경우, 파장범위 576-700 nm 범위의 파장은 급속하게 감소하였으며, 특히 광학적 수형 III에서는 파장범위 350-406 nm에서의 방사조도 값의 감소가 광학적 수형 I, II에 비해 두드러지게 나타났다. 복수 광원의 1 m 수심에서의 파장범위 350-700 nm의 방사조도의 합을 100%로 하면, 수심 10 m에 도달되는 방사량의 합은 광학적 수형 I, II 및 III이 각각 21%, 8% 및 3%의 값을 나타내었다.

## 고 찰

현재 집어등 어업의 대표적인 광원인 메탈할라이드 등과 차세대 집어등 광원으로 주목받고 있는 LED 광원을 조합하여 사용하는 경우, 집어등 광원의 적절한 운용을 위한 기초자료를 제공할 목적으로, 각 광원의 분광 방사조도 및 연색성을 포함한 물리적 특성에 대해 살펴보았다. 광원의 사용 전력을 1W로 정한 경우, 광원으로부터 방사되는 파장별 조도 값을 계산하면 LED 광원이  $10^1$ - $10^4$   $\mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 의 범위에서 분광 방사조도 값이 분포하고 있는데 반해, 메탈할라이드 등은  $10^2$ - $10^1$   $\mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$  범위에서 분포하는 것으로 나타났다 (Fig. 2). 이러한 결과는 동일한 전력을 사용하여 메탈할라이드 등과 LED 광원을 점등하는 경우, 양 광원으로부터 방사되는 광량은 메탈할라이드 등이 LED 광원보다 더 우수하다는 것을 의미한다. 즉, 파장 380-780 nm 범위를 기준으로 메탈할라이드 등에 전력 1W를 공급하여 출력되는 방사량과 동등한 값을 얻기 위해서 필요한 LED 광원을 계산하면, 실험에 사용된 동등한 용량의 LED를 기준으로 백색, 청색이 각각 4,616개, 3685개가 필요한 것으로 계산되며, 이들 개수의 LED 광원을 점등하기 위한 전력은 각각 265.3-332.4 W가 필요한 것으로 보고하고 있다 (Choi, 2008). 다만, 이와 같은 수치적 결과는 광원의 방사량 측정 당시 밀폐된 공간에서 이루어져 천정, 벽 등으로부터의 반사광으로 인한 불필요한 2차 광의 입사에 대한 대책이 원활하지 않았다는 점, 실험에 사용된 LED 광원이 2001년 당시 제조기술로 생산된 것을 사용한 때문에, 그동안의 기술 발전에 따른 LED 광원의 효율이 향상된 점이 고려되지 않아, 이 결과를 현재 상용화되고 있는 LED 광원과 대비하여 일반화시키기에는 무리가 있을 수 있다. 그러나 2009년 현재 개발된 LED 광원의 효율은 메탈할라이드 등의 광원 효율과 비교하더라도 그 폭이 좁혀져 가고는 있으나, 아직까지는 메탈할라이드 등의 광원효율을 넘지 못하고 있는 것이 현실이다 (Son, 2009).

이와 같이 이종 광원에서 방출되는 광량이 현저하게 차이나는 이유는 메탈할라이드 등이 방전관에 가스 충전물을 주입하고 여기에 전극을 통해 전기 방전을 일으켜 빛을 발생시키는 반면, LED 광원의 경우는 P형 반도체 물질과 N형 반도체 물질을 접합한 PN 접합면에 순방향 전류를 통함으로써 생기는

과잉전자가 빛으로 전환되는 기본 원리가 서로 상이한 때문인 것으로 판단된다 (Yamaguchi, 1987). 따라서, 불안정한 전자에 의해 빛이 발생하는 LED 광원보다 아크 방전을 통해 얻어지는 메탈할라이드 등이 대량의 빛을 방출하게 되며, LED 광원은 빛을 발생하는데 걸리는 전기적 응답시간이 매우 짧은 반면, 메탈할라이드 등은 완전한 광속을 얻기 위해서는 점등 후 일정한 가동시간이 필요하게 된다. 또한 광원의 배광 곡선에서도 LED 광원은 빛을 직접 발광하는 수직하방  $0^\circ$  방향이 가장 밝고, 각도가 증가함에 따라 조도 값은 급격히 감소하여  $30^\circ$  이상의 각도에서는 빛이 거의 도달하지 않고, 조도 값이 반감(半減)하는 각은 약  $8^\circ$ - $15^\circ$ 로서, 지향성이 매우 강한 특성을 갖는 평면적인 광원 특성을 갖는다 (Choi, 2006). 메탈할라이드 등은 수직하방  $0^\circ$  방향과 수직상방  $180^\circ$  방향이 가장 어둡고, 각도가 증가함에 따라 조도 값은 증가하는 입체적인 배광곡선을 갖게 되며 (Choi, 1996; Choi et al., 1997), 광원의 배광곡선을 부가하여 고려하면, 양 광원으로부터 방사되는 광량의 차이는 더욱 크게 벌어질 것으로 사료된다.

일반적으로 비슷한 방사량을 갖는 LED 광원을 복수로 조합하면, 각각의 광원의 방사분포 및 연색성이 기능을 발휘하여 혼색됨으로서 기존의 단색 LED 광원과는 다른 새로운 방사특성과 연색성을 갖는 광원이 만들어진다 (Choi, 2009). 이에 반해, 본 연구에서와 같이 서로 다른 방사량을 갖는 메탈할라이드 등과 LED 광원을 1:1 또는 서로 다른 비율로 조합하여 복수 광원을 구성하는 경우, 어느 한쪽의 광원이 다른 한쪽의 방사량 값과 대등한 수준이 되지 않는 한, 각각의 비율로 조합하여 만들어진 복수 광원의 분광 방사조도 분포는 혼색되더라도 새로운 연색성을 갖는 분광분포를 만들지 못하고 어느 한쪽의 분광분포 값에 종속되는 결과를 만들게 된다 (Fig. 3, 4, 5). 분광분포 값이 어느 한쪽의 광원에 종속되면 광학적 수형에서의 수중투과 분포 결과에서도 각각의 광원의 특유한 연색성 및 분광분포가 발현되지 못하고 종속된 쪽의 광원의 수중투과 분포와 동일한 유사한 분포를 갖는 결과로 나타나게 된다 (Fig. 7).

메탈할라이드 등과 LED 광원의 조합에 의한 복수 광원의 방사조도 분포 및 광원의 연색성 변화 결과를 토대로 복수 광원을 장비한 집어등 어선의 집어등 운용과 관련한 조업방법을 검토한다. LED 광원의 분광 방사조도 값은 메탈할라이드 등의 분광 방사조도 값에 비해 상대적으로 미약하므로, 어장에서 양 광원을 점등하는 경우, LED 광원은 어군을 집어하는데 독자적인 기능을 하지 못하는 것으로 판단된다. 따라서, 집어등 어선의 광원설비를 보수하는 경우, 메탈할라이드 등 전부를 철거하고, 새롭게 LED 광원으로 바꾸기 보다는 단위 W당 LED 광원의 출력이 기술 진보와 함께 메탈할라이드 등의 방사조도 값과 동등한 수준이 될 때까지는 이종의 광원을 병행사용을 하는 것이 어업 경영 면에서 효과적인 것으로 판단된다. 이 경우, 메탈할라이드 등과 LED 광원을 동시에 장비한 집어등 어선이 어장에서 어군의 집어를 위해 이종의 광원을 동시에 점등하게 되면, LED 광원의 점등속도가 메탈할라이드 등에 비해 빠르므로, LED 광원이 어선주변을 밝히

게 되어 집어등으로서의 기능을 하게 되므로, 메탈할라이드 등이 점등되어 일정 광량을 방사 가능한 안정상태로 유지되기 전까지는 LED 광원에 의한 집어 효과를 기대할 수 있을 것이다. 메탈할라이드 등이 안정된 이후는 LED 광원의 연색성 및 방사분포는 메탈할라이드 등의 연색성에 종속되어 LED 광원의 집어 기능은 상실되고, 전체 파장범위에서 메탈할라이드 등에 의한 집어 효과가 기능을 하므로, LED 광원을 소등하는 것이 바람직할 것이다. 이와 같은 집어등의 운용은 가솔린의 효율성을 위해 일정 토크 이상이 되면, 전기모터에서 가솔린구동으로 자동 변경되는 하이브리드 자동차의 엔진운용과 유사한 운용방법이라 할 수 있다 (Park et al., 2008).

다음으로, 집어등 어업에서 어획대상생물을 유집하는데 주로 이용되는 파장 450-550 nm 범위의 방사조도 값이 (Hasegawa, 1998; Hara, 1968), 광원으로부터 방사되어 일정거리의 피조점에 도달되는 방사조도 계산 값을 살펴보면, 청색, 백색 및 청색과 백색이 혼합된 LED 광원이 각각 10 m, 7 m 및 8 m에서  $1 \times 10^{-2} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 의 값을 보였고, 메탈할라이드 등은 225 m에서  $1 \times 10^{-2} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 의 값을 보였다. 특히,  $1 \times 10^{-2} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 의 조도 값은 광원으로부터 방사된 조도 값이 주변의 환경조도와 동화되어 광원으로부터 방사된 빛이 대상생물의 집어에 영향을 미칠 수 있는 최소값이라 할 수 있다 (Arakawa et al., 1998). 이를 바꾸어 말하면, 광원으로부터 떨어진 피조점에 도달되는 방사조도 값이  $1 \times 10^{-2} \mu\text{mol/s/m}^2/\text{nm}$ 의 방사조도 값을 갖는 거리분포는 집어등 어선에 장비된 광원이 대상 생물의 집어에 영향을 미칠 수 있는 조업반경을 정하는데 중요한 기준이 될 수 있다는 것을 의미한다 (Choi et al., 1997). 집어등 광원으로부터 방사된 일정 광량의 빛의 도달하는 거리는 백색 LED 광원이 7 m로 가장 짧고 메탈할라이드 등이 225 m로 가장 길었으며, 백색 LED 광원의 도달거리를 1로 하면, 메탈할라이드 등, 청색 및 백색과 청색을 조합한 LED 광원은 각각 37.3:1.7:1.3의 비율로 계산된다. 이는 메탈할라이드 등의 조업반경이 LED 광원의 조업반경에 비해 1-37배로 넓다는 것을 시사한다. 따라서 어장에서 LED 광원을 점등한 어선과 메탈할라이드 등을 점등한 어선이 동시에 조업을 하는 경우, 각각 상대방의 광원의 영향을 받지 않기 위해 필요한 집어등 어선의 적정조업 거리를 단순 계산하면 메탈할라이드 등을 점등한 어선은 LED 광원을 점등한 어선의 조업반경으로부터 최소 22-38배 떨어진 거리에서 조업을 해야 한다는 것을 알 수 있다. 다만, 적정조업반경을 정하는데 있어 본 연구에서는 광원 대 광원을 비교하기 위한 목적으로 점광원의 조도계산에 사용되는 이론 계산식을 사용하였으나, 실제 집어등을 장비한 19톤급의 소형 오징어 채낚기 어선의 경우는 광원의 길이가 약 17 m, 광원의 높이가 약 3 m 내외이므로, 집어등 설비조건을 점광원으로 고려하여 광원의 도달거리를 계산하는 데는 무리가 있고, 광원의 길이를 고려한 선광원의 이론식을 적용할 필요가 있을 것이다 (Choi et al., 1998; Choi et al., 2003c).

이상에서 살펴본 바와 같이, 이중 광원으로부터 방사되는 빛의 도달 거리와 조업반경을 고려한 오징어 채낚기 어선의

집어등 광원의 적절한 운용방법 및 조업방법에 대해서 검토한다. 집어등 어선이 어장에 도착하여 조업을 시작하는 경우, LED 광원과 메탈할라이드 등을 동시에 점등하여 조업을 시작하여, 일정시간이 지나 메탈할라이드 등이 안정화되면 LED 광원을 소등한 후 계속 조업을 한다. 이후 시간당 어획량이 감소하는 경향이 보이면, 메탈할라이드 등을 소등하는 한편, LED 광원을 점등함으로써 조업 반경을 좁혀, 어군이 좁혀진 조업 반경 내로 유집되도록 하여 조업하는 집어등 광원의 운용방법을 고려할 수 있다. 특히, 메탈할라이드 등을 장비한 오징어 채낚기 어선에서의 시간당 어획량 변화는 대체로 어선이 어장에 도착하여 집어등 광원을 점등하여 조업을 시작하는 초저녁부터 자정 전까지의 시간당 어획량이 높은 값을 보이는 것으로 나타났다 (Choi and Arakawa, 2001). 즉, 오징어 채낚기 어선에서 집어등의 기능은 탐어된 어군이 분포하는 해역의 수면상에서 광원을 점등하게 되면 어선을 중심으로 한 광달거리 내에 분포하는 어군을 어선 하부에 만들어지는 음영대로 집어하여 조상기에 의한 어획으로 연결시키는 역할을 한다 (Choi, 1996). 시간 경과에 따라 최초 점등시 집어하여 음영대에 확보된 어군이 어획되고 나면, 새로운 어군이 집어등으로부터 방사된 빛이 도달되는 영향 범위로 들어오지 않는 한, 긴 거리의 조업반경을 갖는 메탈할라이드 등의 운용은 적절하지 않은 것으로 판단된다. 따라서, 광원의 도달 거리를 더욱 좁혀, 작은 반경내로 모아야 할 필요가 있고, 시간당 어획량 등을 종합하여 고려하면, 어장에서의 메탈할라이드 사용은 자정 이전까지의 사용이 가장 적절한 것으로 판단된다. 또한, 레이다 측정에 의한 오징어 채낚기 어장에서 어선간 최단거리 평균은 어장별로 0.5-1.25 km로 나타난 것으로 보고하였다 (Choi, 1996; Choi and Nakamura, 2003b). 어선과 어선이 각각의 집어등 광원의 영향범위 밖에서 조업하는 경우는 광원에 의한 빛의 간섭이 이루어지지 않으므로 문제가 되지 않으나, 쓰가루 해협과 같이 어선과 어선이 가깝게 접근하여 조업하는 협소한 어장에서는 양측 어선의 집어등 광원에 의한 빛의 간섭으로 인해 수중조도 분포 또한 간섭되므로 어군의 집어에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다 (Choi, 1996; Choi and Nakamura, 2003b). 따라서, 협소한 어장에서 어선과 어선의 접근 조업이 이루어지는 경우는 광달거리가 긴 메탈할라이드 등을 사용하는 것보다 광량의 도달거리가 짧은 LED 광원을 주로 사용하는 것이 어장의 질서를 위해서도 효과적인 집어등의 운용방법이라고 판단된다. 다만, LED 광원과 메탈할라이드 등의 적절한 사용이 효과적으로 이루어지기 위해서는 어선의 집어등으로서 일정량의 LED 광원을 장비하도록 하는 행정적 규제와 어장에서의 어업인에 의한 자율 규제가 선행되어야 할 필요가 있다. 어선별 일정 광력의 LED 광원의 장비의 의무화하게 하는 등의 조치가 취해지고, 이중 광원의 적절한 사용이 이루어지게 되면, 어선에 장비할 수 있는 집어등 광원의 물리적인 양은 한정되어 있으므로, LED 광원을 장비하는 만큼의 메탈할라이드 등을 줄일 수 있게 되는 반사적 이익을 얻을 수 있을 것이다. 이는 메탈할라이드 등을 운용하는데 필요한 전력 및 안정기를 줄일 수 있게 됨으로써, 메탈할라이드



드 등만을 운용하는 경우와 비교하여 적은 광원출력을 사용하는 만큼, 사용어선의 연료를 절감할 수 있을 것으로 판단된다 (Choi and Nakamura, 2003a).

## 사 사

본 연구에 많은 도움을 주신 日本 水産工学研究所 渡部俊廣 博士를 비롯한 漁法研究室 여러분과 논문작성에 좋은 의견을 주신 편집위원 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- An YI, Jeong HG and Jung BM. 2009. Behavioroal reaction of common squid *Todarodes pacificus* to different colors of LED light. J Korean Fish Tech 45, 135-143.
- Arakawa H, Choi SJ, Arimoto T and Nakamura Y. 1998. Relationship between underwater irradiance and distribution of Japanese common squid under fishing lights of a squid jigging boat. Fisheries Science 64, 553-557.
- Bae BS, Jeong EC, Park HH, Chang DS and Yang YS. 2008. Behavioroal characteristic of Japanese flying squid *Todarodes pacificus* to LED light. J Korean Fish Tech 44, 294-303.
- Bae BS, Park BJ, Jeong EC, Yang YS, Park HH, Chun YY and Chang DS. 2009. Design and performance evaluation of fish-luring system using the air cooled LED lamp for jigging and angling boat. J Korean Fish Tech 45, 85-95.
- Choi SJ and Arimoto T. 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, Japan, 1-14.
- Choi SJ. 1997. Rationalization of the light power output on small-size squid jigging boat. Ph.D. Thesis, Tokyo University of Fisheries, Tokyo, Japan.
- Choi SJ, Nakamura Y and Arimoto T. 1997. Horizontal illuminance of line source model for fishing lamps around the coastal squid jigging boats. Nippon Suisan Gakkaishi 63, 160-165.
- Choi SJ, Arakawa H, Nakamura Y and Arimoto T. 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 SJ and Arakawa H. 2001. Relationship between the Catch of Squid, *Todarodes pacificus Steenstrup*, according to the Jigging Depth of Hooks and Underwater Illumination in Squid Jigging Boat. J Korean Fish Soc 34, 624-631.
- Choi SJ, Kim DA and Kim DS. 2002a. Present state and future prospect of Korean squid jigging fishery. Technical Report of National Research Institute of Fisheries Engineering 24, 1-13.
- Choi SJ, Watanabe T and Honda N. 2002b. Abstract, Ann Meet Jap Soc Fish 113.
- Choi SJ, Arakawa H, Arimoto T and Nakamura Y. 2003c. Underwater illuminance of line light source model for fishing lamps of coastal squid jigging boats. Nippon Suisan Gakkaishi 69, 44-51.
- Choi SJ and Nakamura Y. 2003a. Analysis of the optimum light source output and lighting management in coastal squid jigging boat. Fisheries engeering 40, 39-46.
- Choi SJ and Nakamura Y. 2003b. Spatial distribution of squid jigging boats and shortest distance between boats in fishing ground of the Japan Sea in the summer season by radar observation. Nippon Suisan Gakkaishi 69, 584-590.
- Choi SJ and Shin JC. 2003. Color Engineering. Kukje publish, Seoul, Korea, 71-124.
- Choi SJ. 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.
- Choi SJ. 2008. Comparison of Radiation Characteristics and Radiant Quantities per unit Electrical Power between High Luminance Light Emitting Diode and Fishing Lamp Light Source. J Kor Fish Soc 41, 511-517.
- Choi SJ. 2009. Spectral Irradiance and Underwater Transmission Characteristics of a Combined High-Luminance Light-Emitting Diodes as the Light Source for Fishing Lamps. J Kor Fish Soc 42, 703-710
- 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. NipponSuisan Gakkaishi 64, 626-630.
- Inada H, Inoue D, Sato M, Miyagi Y, Inoue S, Watanabe T, Sano E, Noda M, Hamade S and Fuzihara S. 2006. Abstract, Ann Meet Jap Soc Fish 7.
- Inoue D, Inada H, Miyagi Y, Inoue S, Watanabe T, Sano E, Noda M, Yamamoto T and Hamade S. 2006. Abstract, Ann. Meet. Jap Soc Fish 8.
- Jerlov NG. 1964. Optical classification of ocean water,

- In: Physical aspects of light in the sea. Hawaii University Press, Honolulu, pp. 45-49.
- Kuroki T. 1989. Measurement of Ocean environment, Kouseisya, Tokyo, Japan, pp. 18-70.
- Okamoto K, Kato D, Morimoro K, Yanagi T and Ochi T. 2001. Development of fishing lamp using bluish-color light emitting diode, 2001 National Convention Record I.E.E. Japan, 373.
- Ohta N. 1993. Color Engineering. Tokyo Denki University Press, Tokyo, Japan, 115-170.
- Osaka N. 1998. Handbook of color science. The Color Science Association of Japan, University of Tokyo Press, Tokyo, Japan, pp. 1-85.
- Park C, Choi Y and Kim C. 2008. Study on consumption improvement in SI engine with EGR for hybrid electric vehicle. Transactions of KSAE 16, 128-135.
- Son WK. 2009. Development condition and business trend of illumination LED markets. IT Comin mailzine 29, 20-26.
- Yamaguchi S. 1987. Lighting Handbook. The Illuminating Engineering Institute of Japan, Ohmsha, Tokyo, Japan, pp. 609.

---

2009년 9월 29일 접수

2009년 11월 30일 수정

2009년 12월 8일 수리