

## 복수 조합에 의한 고휘도 발광 다이오드의 분광분포와 수중투과특성

최석진\*

특허청 기계금속건설심사국

### Spectral Irradiance and Underwater Transmission Characteristics of a Combined High-Luminance Light-Emitting Diodes as the Light Source for Fishing Lamps

Sok Jin Choi\*

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

The spectral irradiance and underwater transmission characteristics of a combined high-luminance light-emitting diode (LED) lights have been studied to evaluate suitable light sources for fishing lamps of the next generation. The wavelengths at which the irradiance was maximum were changed from 473, 501, 525, and 465 nm for blue, peacock blue, green, and white LED light to 475, 504 and 528 nm for [F<sub>WB</sub>], [F<sub>PB</sub>] and [F<sub>GB</sub>] combined LED lights, respectively. If the irradiance characteristics at 400-700 nm wavelengths are set as 100%, the irradiance rates at 450-499 nm and 500-549 nm were decreased from 82.4% and 56% for blue, peacock blue LED light to 60.0%, 38.5% for [F<sub>WB</sub>], [F<sub>WP</sub>] combined LED lights. The underwater transmission characteristics of the combined LED lights were superior in the order [F<sub>WB</sub>], [F<sub>BP</sub>], [F<sub>GB</sub>] in optical water type I; [F<sub>WB</sub>], [F<sub>PB</sub>], [F<sub>GP</sub>] in optical water type II-III; and [F<sub>GP</sub>], [F<sub>WP</sub>], [F<sub>PB</sub>] in optical water type I. Setting the 10m depth underwater transmission characteristics of the combined LED lights in optical water type I at 100%, the transmission of water types II, III and 1 drops to 29.5%, 8.0% and 2.2%. Based on the distribution of spectral irradiance and underwater transmission characteristics calculated in optical water types II-III, where was the jigging ground for fishing lamps, the [F<sub>WB</sub>] and [F<sub>GP</sub>] combined LED lights can be used as a suitable light sources for fishing lamps of the next generation.

Key words: LED, Optical water type, Irradiance, Fishing Lamps

#### 서 론

반도체 계열의 광원으로 부터 진화한 발광 다이오드 광원 (Light Emitting Diode: 이하 'LED'라 한다)은 1990년대 초 청색 LED 광원이 실용화됨에 따라 빛의 기본 삼원색이 갖추어졌다 (Nakamura et al., 1994). 이에 따라 LED 광원은 컬러디스플레이, 조명 및 생활환경 등의 여러 분야에서 응용되고 있다 (Okamoto, 2001; Seto et al., 2001; Choi, 2002). 최근 우리나라에서는 저탄소 녹색성장과 관련한 주요 정책이슈와 맞물리면서 LED 광원을 차세대 조명광원으로 주목하는 한편, 관련 연구 기관에서는 조명용 광원으로 활용하기 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 특히, 관공서 등 공공부분의 조명 및 일반 가정에서는 기존의 백열등을 LED 광원으로 교체하는 등의 가시적인 성과들도 나타나고 있다.

한편, 수산, 어업분야는 LED 광원을 어업용 집어등 광원으로 도입하기 위한 기초적 연구가 일본에서 시작되었다 (Okamoto et al., 2001; Choi, 2002; Inada et al., 2006; Inoue

et al., 2006; Miyagi et al., 2006). 국내에서는 LED 광원의 방사 및 광학적 수형에서의 수중투과특성에 관한 검토 결과 (Choi, 2006) 및 할로겐 등과 메탈할라이드 등에 대한 LED 광원의 방사특성을 조명경제 측면에서 검토한 결과가 보고되었다 (Choi, 2008). 또한, LED 광원에 대한 오징어의 대광 행동을 수조실험을 통하여 관찰하는 (Bae et al., 2008; An et al., 2009) 한편, 채낚기 어선용 공냉식 LED 집어 시스템과 관련한 설계 및 성능 평가와 관련된 연구 결과가 보고됨으로써 (Bae et al., 2009), 국내외를 불문하고 LED 광원은 수산, 어업을 포함한 산업분야 전반에 걸쳐 차세대의 광원으로 주목을 받고 있다.

특히, LED 광원의 어선용 집어등으로서의 대체 가능성과 관련하여 청색, 청록색, 녹색 및 백색 LED광원이 Jerlov가 정한 광학적 수형 (Jerlov, 1964; Kuroki, 1989)에서 좋은 투과 효율을 보였으며, 주요 집어등 어업의 어장에 해당하는 광학적 수형 IB와 III형에서는 (Choi, 1997; Choi et al., 1998) 각각 청색 및 청록색 LED 광원을 사용하는 것이 집어등 광원의 실용성 측면에서 좋은 효과를 기대할 수 있는 것으로 보고하였다 (Choi, 2006). 이와 관련하여 최근 LED 광원을 이용한

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

집어등 광원은 단색 LED 광원 뿐만 아니라, 서로 다른 파장범위를 갖는 LED 광원을 동시에 사용한 경우의 어휘 실험결과 등도 보고되고 있다 (Bae et al., 2009). 그러나 서로 다른 파장범위를 갖는 LED 광원을 어업용 집어등 광원으로 설계하기 위해서는 먼저 적절한 파장을 갖는 LED 광원이 선정되어야 한다. 다음으로 선정된 LED 광원을 조합한 경우 광원에 대한 방사특성과 광원의 연색성 변화 및 집어등으로서 사용되기 위한 광학적 수형에서의 수중투과특성 등을 포함한 LED 광원의 물리적 특성에 대한 검토가 현장에서의 어휘실험보다 우선적으로 선행되어야 함에도 불구하고 (Yamaguchi, 1987), 이와 관련한 연구는 보고되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 차세대 집어등 광원으로 주목받고 있는 LED 광원 (Choi, 2002)을 조합한 복수 LED 광원으로 집어등 광원을 설계하는데 필요한 기초자료를 제공할 목적으로, 조합된 복수 LED 광원에 대한 방사특성과 연색성 변화 및 광학적 수형에서의 수중투과특성을 계산하였다. 이를 토대로, 수중에서 대상 어종을 집어하기 위해 적합한 분광분포를 갖는 복수 LED 광원의 설계가능성에 대하여 검토하였다.

자료 및 방법

LED 광원의 분광 방사조도 측정자료

집어등으로 사용 가능성이 높은 것으로 인정된 청색, 청록색, 녹색 및 백색의 고휘도 LED 광원의 분광방사 조도 측정결과를 사용하여 (Choi, 2006), 복수 LED 광원의 파장별 방사조도분포, 연색성 변화 및 수중투과특성에 관하여 검토하였다. 각각의 LED 광원에 대한 분광 방사조도 측정은 2001년 6월 25일 부터 6월28일에 걸쳐, 일본 수산공학 연구소의 실험동 암실에서 야간에 실시하였다. LED 광원의 분광 방사조도 측정에는 분광 방사조도계 (LI-1800C, LI-COR Inc.)를 사용하였다. 각각의 LED 광원은 광원의 발광축 수직하방이 분광 방사조도계의 수광부와 1 m의 거리를 두고 마주보도록 설치하였다. 각각의 LED 광원에는 3 V의 전압을 공급하였다. 동일전압에 의해 출력된 LED 광원으로부터 방사된 빛은 분광 방사조도계의 수광부에 0°±1°의 범위에서 입사하도록 고정하고, 파장 400-700 nm 범위에서 1 nm 간격으로 3회씩 측정하여,

그 평균치를 사용하였다 (Fig. 1). 측정에 사용된 각각의 LED 광원의 정격전압과 전류는 Choi (2006)의 결과와 같다.

가법혼색에 의한 LED 광원의 파장별 분광방사 조도 값 계산

단색 LED 광원 각각의 분광 방사조도 측정값을 [F<sub>1</sub>], [F<sub>2</sub>] ... [F<sub>N</sub>] 이라 하고, 이들을 조합한 복수의 LED 광원의 분광 분포 값을 [F] 라고 하면, 단색 LED 광원의 강도를 α 배로 증가시키거나, 일정 비율로 조합하여 생성된 복수 LED 광원 [F] 사이에는 다음과 같은 비례법칙 및 가산법칙의 등색식이 성립한다 (Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003).

$$[F] = \alpha * [F_i] \tag{1}$$

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

백색 [W], 녹색 [G], 청색 [B] 및 청록색 [P]의 LED광원으로부터 측정된 파장 400-700 nm 범위의 분광 방사조도 값을 상기 등색식에 따라 일정 비율로 증감 및 조합하여 동일 파장 범위의 분광 방사조도 값을 갖는 혼색된 복수 LED 광원으로 구성하였다. 백색 [W], 녹색 [G], 청색 [B] 및 청록색 [P]의 LED 광원으로부터 조합하여 구성된 400-700nm 범위의 파장별 방사조도 분포를 갖는 복수 LED 광원 [F<sub>WB</sub>], [F<sub>WP</sub>], [F<sub>WG</sub>] 및 [F<sub>GB</sub>], [F<sub>GP</sub>], [F<sub>PB</sub>]의 등색식은 각각 다음과 같다.

$$[F_{WB}] = [W] + [B] \tag{3}$$

$$[F_{WP}] = [W] + [P] \tag{4}$$

$$[F_{WG}] = [W] + [G]$$

$$[F_{GB}] = [G] + [B]$$

$$[F_{GP}] = [G] + [P] \tag{4}$$

$$[F_{PB}] = [P] + [B]$$

복수 LED 광원의 연색성 계산

복수 LED 광원의 파장범위 400-700 nm의 분광방사 조도값으로부터 색도좌표 x, y, z를 다음 식에 따라 계산하여 CIE XYZ 색표시계상에 나타내었다 (Osaka, 1998).

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \tag{5}$$

단,

$$X = \int S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Y = \int S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d\lambda \tag{6}$$

$$Z = \int S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d\lambda$$

여기서 S(λ)는 표준광의 분광분포, R(λ)는 복수 LED 광원

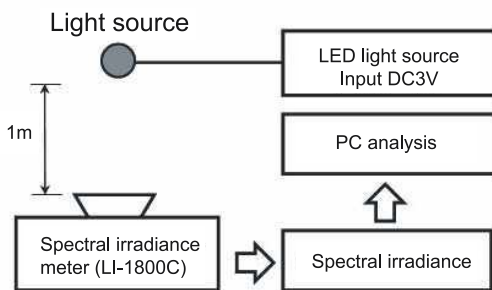


Fig. 1. The diagram showing the measurement concept of radiation characteristics using radiometer with high luminance light emitting diode (LED) light source.

의 분광 방사조도,  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  및  $\bar{z}(\lambda)$ 는 각각 CIE, 1986C 및 JIS Z 8701 규정에 따른 등색함수를 나타낸다.

복수 LED 광원의 수중투과특성 계산

복수 LED 광원이 어장에서 집어등으로 사용되는 경우를 가정하여 LED 광원의 수중투과특성을 광학적 수형별로 계산하였다. 복수의 LED 광원의 파장별 수중투과특성 계산에는 Jerlov가 정한 광학적 수형 (Jerlov, 1964; Kuroki, 1989)의 파장별 투과율 값을 소산계수  $k_{(\lambda)}$ 로 하고, 복수 LED 광원의 파장별 분광 방사조도 값을 수면상의 분광 방사조도 값으로 하여, 수심 1 m 와 10 m 수심에 투과한 경우의 분광 방사조도 값을 다음 식에 따라 각 파장별로 계산하였다 (Choi, 1998; Choi, 2006).

$$I_{(\lambda)} = I_{0(\lambda)} \exp(-k_{(\lambda)} \times z) \tag{7}$$

$$k_{(\lambda)} = z^{-1} \times \ln(I_{0(\lambda)}/I_{(\lambda)}) \tag{8}$$

단,  $I_{(\lambda)}$ 는 파장  $\lambda$ 의 하층의 분광 방사조도,  $I_{0(\lambda)}$ 는 파장  $\lambda$ 의 상층의 분광 방사조도,  $z$ 는  $I_{(\lambda)}$ 와  $I_{0(\lambda)}$ 의 수심차이 (m) 및  $k_{(\lambda)}$ 는 광학적 수형에서 파장  $\lambda$ 의 소산계수를 나타낸다.

결 과

복수 LED 광원의 파장별 방사조도 변화

복수 LED 광원의 파장별 방사조도 값의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 청색, 녹색, 및 청록색의 LED 광원에 백색 광원을 조합한 복수의 LED 광원 [F<sub>WB</sub>], [F<sub>WP</sub>] 및 [F<sub>WG</sub>]의 파장별 방사조도 분포는 각 광원 모두가 파장범위 430-700 nm에 걸쳐 넓게 분포하였다. 특히, 청색과 백색을 조합한 [F<sub>WB</sub>]의 경우, 파장범위 430-475 nm에서는 방사조도 값이 급격히 증가하였다. 파장범위 475-530 nm에서는 방사조도 값이 급격히 감소하였으며, 이후 700 nm까지 완만한 감소경향을 갖는 새로운 형상의 파장분포를 갖는 것으로 나타났다. 또한, 청록색과 백색을 조합한 [F<sub>WP</sub>]의 경우, 파장범위 430-505 nm에서는 방사조도 값이 급격히 증가하였고, 파장범위 505-560 nm에서는 방사조도 값이 급격히 감소한 후, 700 nm까지 완만한 감소경향을 보였다. 녹색과 백색을 조합한 [F<sub>WG</sub>]는 [F<sub>WB</sub>], [F<sub>WP</sub>] 경우와 달리 파장범위 468-526 nm에서 3개의 변곡점을 갖는 3차 곡선의 형상의 방사조도분포를 갖는 것으로 나타났다 (Fig. 2-A).

한편, 청색, 녹색 및 청록색 LED 광원을 각각 조합한 복수 LED 광원 [F<sub>GB</sub>], [F<sub>GP</sub>], [F<sub>PB</sub>]의 파장별 방사조도는 백색을 조합한 경우와는 달리 파장범위 435-585 nm의 좁은 범위에 걸쳐 분포하였다. 특히, 청색과 청록색을 조합한 [F<sub>PB</sub>]의 경우, 파장 430-475 nm 범위에서는 방사조도 값이 급격히 증가하였고, 파장 476-501 nm 범위에서는 방사조도 값이 거의 변화가 없는 수평상태의 방사 조도값을 유지하였으며, 이후 파장 501-560 nm 범위에서는 급격히 감소하는 경향을 보였다. 청록색과 녹색을 조합한 [F<sub>GP</sub>]의 경우, 파장범위 460-513 nm에서는 방사조도 값이 급격히 증가하였고, 파장범위 513-585 nm에서는

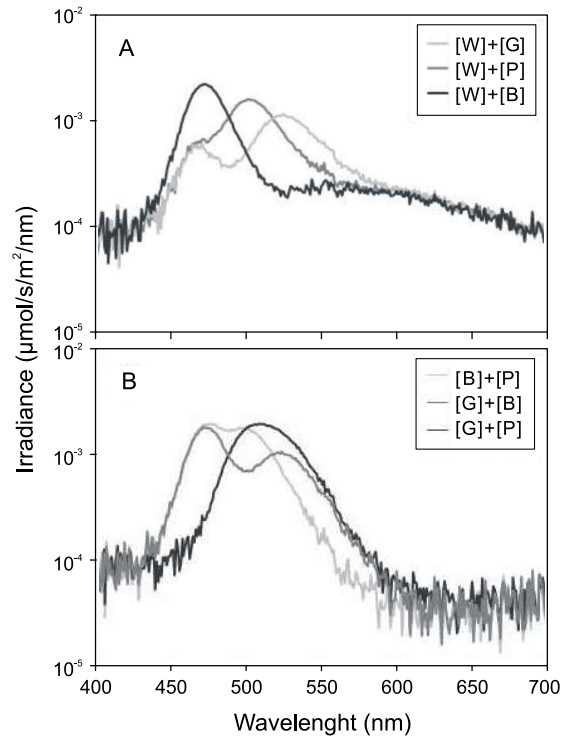


Fig. 2 Change of spectral radiance according to the combined LED lights. [W]: White LED light, [B]: Blue LED light, [P]: Peacock Blue LED light, [G]: Green LED light.

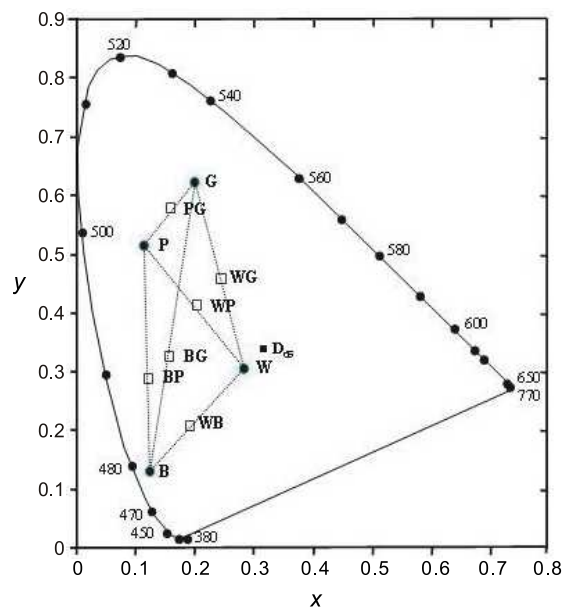


Fig. 3 CIE chromaticity diagram of the combined LED lights. W: White LED light, B: Blue LED light, P: Peacock blue LED light, G: Green LED light, WB: White+Blue LED light, WP: White+Peacock Blue LED light, WG: White+Green LED light, BG: Blue+Green LED light, BP: Blue+Peacock blue LED light, PG: Peacock blue+Green LED light.

방사조도 값이 급격히 감소하는 2차 포물선 형태의 분포를 나타내었다. 또한, 녹색과 청색을 조합한 [F<sub>GB</sub>]의 경우, [F<sub>GP</sub>], [F<sub>PB</sub>]와는 달리 파장범위 475-527 nm에서 3개의 변곡점을 갖는 3차 곡선의 형상을 갖는 방사조도 분포를 갖는 것으로 나타났다 (Fig. 2-B).

복수 LED 광원의 연색성

복수의 LED 광원의 파장별 분광 방사조도 값으로부터 색의 3 자극치를 구하여 CIE XYZ 색표시계 상에 나타내었다 (Fig. 3). 단색 LED 광원의 색채 특성은 청색, 청녹색 및 녹색 이 각각 D<sub>65</sub> 표준광원을 기준으로 파장 477 nm, 504 nm, 525 nm를 연결하는 가상직선상에 분포하였고, 백색은 D<sub>65</sub> 표준광원의 백색과 청색을 연결하는 가상직선상에 분포하였다.

백색을 조합한 경우, 복수 LED 광원의 색채 값 분포는 [F<sub>WP</sub>], [F<sub>WG</sub>]이 각각 녹색과 백색 및 청록색과 백색을 연결하는 가상직선의 중간선상에 분포하였으나, 청색과 백색을 조합한 [F<sub>WB</sub>]는 백색보다 청색쪽에 가까운 가상직선상에 분포하였다. 또한, 유채색의 단색 LED 광원을 조합한 [F<sub>GB</sub>], [F<sub>GP</sub>], [F<sub>PB</sub>]는 청색과 녹색, 녹색과 청록색 및 청록색과 청색을 연결하는

가상직선상에 분포하였고, 청색이 조합된 [F<sub>GB</sub>], [F<sub>PB</sub>]의 경우는 녹색과 청록색보다 청색에 가까운 두 개의 색상을 연결하는 가상직선상에 분포하였다.

파장구간별 복수 LED 광원의 분광 방사조도 비율

단수의 LED 광원으로부터 조합 생성된 복수 LED 광원 [F<sub>WB</sub>], [F<sub>WP</sub>], [F<sub>WG</sub>] 및 [F<sub>GB</sub>], [F<sub>GP</sub>], [F<sub>PB</sub>]의 파장범위 400-700 nm의 분광 방사조도 값의 총합을 100%로 한 경우, 파장을 400-449 nm, 450-499 nm, 500-549 nm, 550-599 nm, 600-649 nm 및 650-699 nm 범위로 각각 나누고, 각 파장범위에서 분포하는 분광 방사조도 값의 합을 전체 파장범위의 총합으로 나누는 비율로 구하여 Fig. 4에 나타내었다. 단색 LED의 경우, 분광 방사조도 값의 비율이 가장 높은 값을 갖는 파장범위 구간은 청색이 450-499 nm에서 82.4%, 청녹색과 녹색이 500-549 nm에서 각각 56.0%, 62.9%의 값을 갖는 것으로 나타났다. 백색이 조합된 복수 LED 광원 [F<sub>WB</sub>], [F<sub>WP</sub>] 및 [F<sub>WG</sub>]의 경우, 분광 방사조도 값이 가장 높은 값을 갖는 파장범위 구간은 [F<sub>WB</sub>]가 450-499 nm에서 60.0%, [F<sub>WP</sub>]와 [F<sub>WG</sub>]가 500-549 nm에서 각각 38.5%, 42.5%로 나타났다.

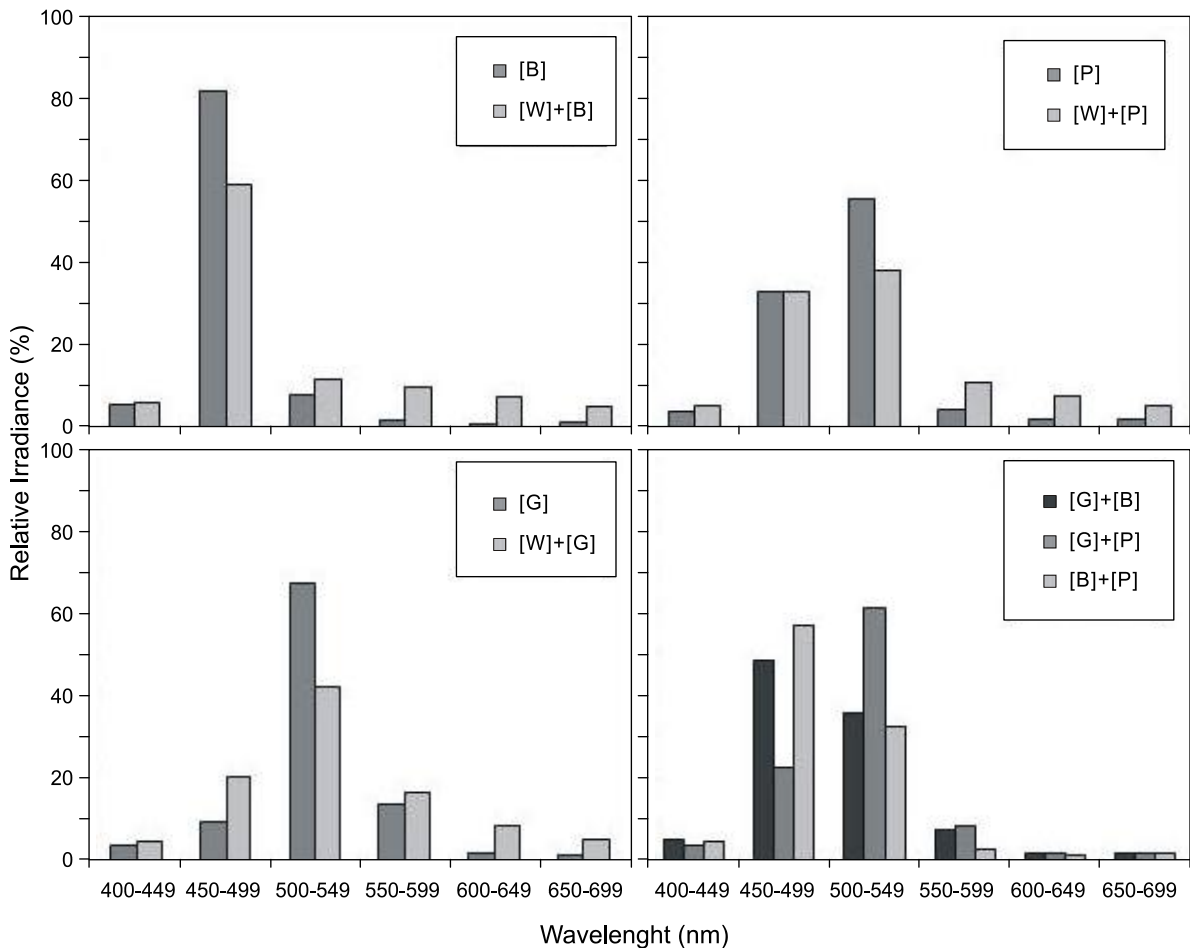


Fig. 4 Distribution of relative irradiance by LED lights in each wavelength range. [W]: White LED light, [B]: Blue LED light, [P]: Peacock Blue LED light, [G]: Green LED light.

또한 청색, 청녹색 및 녹색 LED 광원을 각각 조합한 복수 LED 광원의 분광 방사조도 비율은 파장범위 450-499 nm, 500-549 nm의 두 개의 구간에서 80% 이상의 값을 갖는 것으로 나타났다. 녹색에 청색과 청녹색을 각각 조합한 복수 LED 광원 [F<sub>GB</sub>], [F<sub>GP</sub>]의 경우, 단색 LED 광원일 때 최대 값을 갖는 파장범위에서의 분광 방사조도 값의 비율은 감소한 반면, 인접하는 다른 하나 구간에서의 비율은 증가하는 경향을 보였다. 즉 청색과 녹색을 조합한 [F<sub>GB</sub>]의 경우, 청색을 기준으로 보면, 단색일 때 최대 값을 갖는 파장 450-499 nm 범위에서의 방사조도 값의 비율은 82.4%에서 48.7%로 낮아진 반면, 인접하는 파장범위 500-549 nm 구간에서의 방사조도 값의 비율은 8%에서 35.7%로 증가하였다.

### 복수 LED 광원의 수중투과특성

복수 LED 광원이 어장에서 집어등으로 사용되는 경우를 가정하여 복수 LED 광원에 대한 수중투과 특성을 광학적 수형별로 계산하여 Fig. 5에 나타내었다. 동 그림에 표시된 곡선은 Jerlov의 광학적 수형에서 제시된 파장별 투과율을 소산계수로 사용하여 수심 1 m 및 10 m에 도달한 경우, 각 수심에서 분포하는 파장별 방사조도 값의 계산 결과를 나타낸다. 복수 LED 광원으로부터 방사된 빛이 광학적 수형 I, II, III 및 1의 수층을 통과하여 수심 1 m에 도달한 경우, 파장별 방사조도 값의 수평적 분포는 광원의 조합에 따라 미소한 차이는 있으나, 전체적으로 파장범위 430-700 nm에 걸친 넓은 영역에서 유효값을 갖는 것으로 나타났다. 또한, 광학적 수형 I에서 1로 갈수록 복수 LED 광원의 파장별 방사조도 분포범위는 점점 좁아지면서, 방사조도 값은 감소하였다. 그러나 파장별 분포형상은 공중에서 측정된 LED 광원이 갖는 방사조도 값이 갖는 분포형상과 비교하여 비교적 원형을 유지한 파장 분포 형상을 갖는 것으로 나타났다.

한편, 복수 LED 광원으로부터 방사된 빛이 광학적 수형 I, II, III 및 1의 수층을 통과하여 수심 10 m에 도달한 경우, 파장범위 445-575 nm를 제외한 다른 파장 대의 빛은 수중에 흡수되어 수중 광 환경 값으로서의 의미를 잃은 것으로 나타났다. 복수 LED 광원의 최대 방사조도 값을 기준으로, 광학적 수형에 따른 감쇄율을 비교하면 [F<sub>WB</sub>]의 경우, 광학적 수형 I의 수심 10 m에 도달하는 조도 값을 100%로 하면, 광학적 수형 II에서 29.5%, 광학적 수형 III에서는 8.0% 및 광학적 수형 1에서는 2.2%로 감소한 것으로 나타났다. 또한, 복수 LED 광원의 방사조도 최대 값을 기준으로 수중투과특성이 우수한 복수 LED 광원의 순서를 광학적 수형별로 살펴보면, 광학적 수형 I에서는 [F<sub>WB</sub>] > [F<sub>PB</sub>] > [F<sub>GB</sub>]의 순서로 투과율이 우수하였다. 광학적 수형 II-III에서는 [F<sub>WB</sub>] > [F<sub>PB</sub>] > [F<sub>GP</sub>]의 순서를 갖는 것으로 나타났고, 광학적 수형 1에서는 [F<sub>GP</sub>] > [F<sub>WP</sub>] > [F<sub>PB</sub>]의 순서로 우수한 투과율을 보인 것으로 나타났다.

## 고 찰

집어등으로서 사용가능성이 높은 것으로 인정된 청색, 청록색, 녹색 및 백색 LED 광원 (Choi, 2006)을 복수로 조합하면,

각각의 광원이 갖는 방사조도 및 연속성이 기능을 발휘하여 혼색됨으로서 기존의 단색 LED 광원과는 다른 새로운 방사특성을 갖는 LED 광원이 만들어지는 것으로 나타났다 (Fig. 2). 단색 LED 광원의 조합에 의해 만들어진 복수 LED 광원의 방사특성 및 연속성 변화를 비교하면, 백색을 제외한 다른 유채색 LED 광원의 분광방사 조도분포는 특정의 파장범위를 중심으로 한 포물선 형태의 정규분포 형상을 갖는다 (Choi, 2006). 이에 반해, 복수 LED 광원의 파장별 방사조도 분포는 백색과 유채색의 광원을 조합한 경우, 단색인 때의 방사조도 값이 최대를 갖는 파장에서의 방사조도 분포 특성을 유지하면서, 방사조도 값이 측정되지 않았던 그 외의 파장범위에서도 유효한 방사조도 값을 갖는 광원으로 변화되는 것으로 나타났다. 또한, 분광 방사조도 값이 최대를 갖는 파장은 단색 광원의 경우, 청색, 청록색 및 녹색이 각각 473 nm, 501 nm 및 525 nm 였으나 (Choi, 2006), 조합에 의한 복수 LED 광원 [F<sub>WB</sub>], [F<sub>WP</sub>] 및 [F<sub>WG</sub>]은 각각 475 nm, 504 nm 및 528 nm로 나타나, 미소하나마 장파장 방향으로 이동하는 현상을 보였다. 이러한 결과들은 단색 LED 광원이 갖는 특정범위의 한정된 파장을, 파장 400-700 nm 범위에서 가시광선이 방사되는 특성을 갖는 백색 광원이 조합됨에 따라, 한정된 파장범위에 편중된 단색 광의 방사조도 값을 서로 보완한 것으로 판단된다. 이를 뒷받침하는 결과는, 백색 광의 결합에 따라, 단색인 경우의 방사조도가 최대 값을 갖는 파장범위에서의 방사조도 값의 비율이 감소된 반면, 인접하는 장파장 범위구간에서의 방사조도 비율은 증가되는 결과를 보인, 복수 LED 광원의 파장구간별 분광 방사조도 비율 분포에서도 확인할 수 있다 (Fig. 4). 이와 같이 서로 다른 LED 광원의 조합에 의해 생성된 복수 LED 광원의 방사조도 분포 및 광원의 연속성 변화 결과를 종합하면, 복수 LED 광원의 조합에 따라, 단색 LED 광원이 갖는 장점이자 단점인 한정된 파장범위에서의 방사조도 분포를 그대로 유지하면서 단점을 보완할 수 있는 새로운 파장분포를 갖는 광원으로 설계 가능하다는 것을 의미한다.

다음으로, 복수 LED 광원이 갖는 방사특성을 기초로 이들 광원이 광학적 수형 (Jerlov, 1964; Kuroki, 1989)에서 집어등으로 사용되는 경우를 가정한 수중투과특성 계산결과에 대해 살펴보면, 백색과 청색을 조합한 경우, 1 m 수심에 도달하는 방사조도 분포는 파장 475 nm에서 방사조도 최대값을 갖고, 파장 510 nm 이상의 부분에서 완만하게 감소하는 형상을 보인 것으로 나타났다. 이러한 방사조도 분포 곡선은 청색과 청록색, 녹색과 청록색의 조합에서도 비슷한 형상을 갖는 것으로 확인되었다 (Fig. 5). 이와 같이 복수 LED 광원이 광학적 수형에서 갖는 파장별 방사조도 분포 형상과 소형 오징어 채낚기 어선에서 사용되는 메탈할라이드 등에 의한 수중조도분포 실측 값이 갖는 조도 분포 형상 (Choi, 1996; Choi, 1997; Choi, 2001)을 비교하여보면, 양자의 서로 다른 광원에 의한 조도 분포는 매우 유사한 형상을 갖는 것으로 나타났다. 특히, 수심 10 m에 도달한 경우의 복수 LED 광원이 갖는 파장별 분포 역시, 광학적 수형 1을 제외한 광학적 수형 I-III의 경우, 방사조도 값의 감쇄율면에서 차이는 있으나, 파장별 방사조도 값이

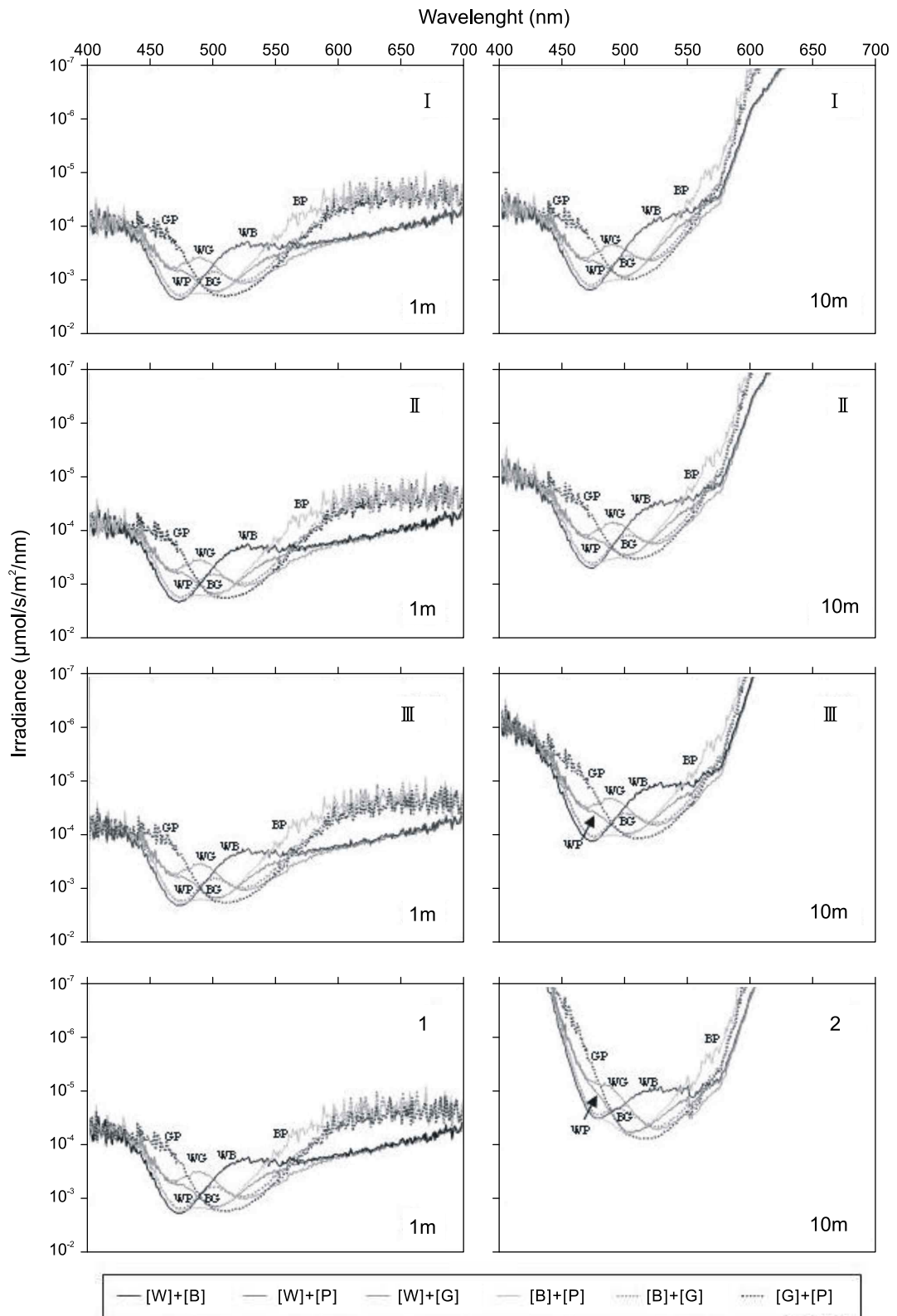


Fig. 5 Change of underwater transmission characteristic according to the combined LED lights.  
 I: Optical water type I, II: Optical water type II, III: Optical water type III, 1: Optical water type 1, [W]: White LED light, [B]: Blue LED light, [P]: Peacock Blue LED light, [G]: Green LED light.



분포하는 전체적인 형상면에서는 수심 1 m 인 경우와 유사한 분포를 갖는 것으로 나타났다. 이상의 복수 LED 광원의 방사 특성과 수중투과특성 결과를 종합하면, 집어등 어장에서 필요로 하는 LED 광원을 설계하기 위해서는 먼저 적절한 파장분포를 갖는 LED 광원의 선정 또는 조합이 우선적으로 선행되어야 한다는 것을 알 수 있다 (Yamaguchi, 1987). 적절한 파장분포를 갖는 LED 광원을 선정하기 위해 고려되어야 할 조건으로, 집어등 어법의 주요 어획대상이 되는 어업생물의 자극원으로써 중요한 파장범위를 고려해야 한다. Hara (1968)는 두족류 망막의 감광성 색소의 분광흡수 최대값을 측정된 결과, 490-508 nm에서 분포하는 것으로 보고하였고, Hasegawa (1998)는 집어등에 모이는 전갱이, 정어리, 꽁치 등의 시물질 분광흡수 최대값을 측정된 결과, 각 어종별로 490-513 nm의 범위에서 분포하는 것으로 보고하였다. 따라서, 어종에 따른 대상 어군을 집어하기 위해 필요한 파장범위를 갖는 LED 광원은 단색 광원을 한 종류로 사용하는 것보다, 복수의 광원을 조합하여 사용하는 것이 단색 광원의 단점을 보완할 수 있는, 수중 투과 특성이 좋은 집어등 광원으로 설계하는데 유용할 것이다. 적절한 파장을 갖는 LED 광원이 선정되면, 수면상에서 분포하는 광원의 파장별 방사조도로부터 수중에서의 방사조도 분포를 어느 정도까지 유추할 수 있다. 또한, 조명공학, 수중광학 및 색채공학과 관련된 연구를 종합함으로써, 광학적 수형을 투과한 일정 수심에서 필요한 파장범위를 갖는 광 환경을 조성하기 위해 필요한 최적의 파장을 갖는 LED 광원의 조합 역시 설계 가능할 것으로 사료된다 (Choi 1997; Ohta, 1993; Osaka 1998; Yamaguchi, 1987). 다만, LED 광원을 어업 현장에서 적용하기 위해서는 여러 개의 광원을 하나의 관벨에 집적해야 하고, 해수 및 파랑으로부터 광원을 보호하기 위해 투명 막을 형성하는 등의 반사기구 또는 조명 기구의 부가 사용이 필요하므로, 이에 대한 광질의 변화를 함께 고려해야 할 필요가 있다 (Choi 1997).

마지막으로, 단색 광원의 조합에 의해 만들어진 복수 LED 광원의 수중투과율 및 수중조도분포 형상과 관련하여 살펴보면, 오징어 채낚기 어업이 활발한 동해와 같은 광학적 수형을 갖는 (Choi, 1998) 광학적 수형 II-III에서 우수한 투과율을 보인 LED 광원의 조합은  $[F_{WB}] > [F_{PB}] > [F_{GP}]$  의 순으로 나타났다. 이 중,  $[F_{PB}]$ 의 경우 파장별 분포형상은 다른 광원의 조합과 달리, 포물선이 아닌 3개의 변곡점을 갖는 3차 곡선형태를 보여 메탈할라이드 등에 의한 수중조도분포 실측 값이 갖는 조도분포 형상과는 동떨어진 형상을 하고 있는 것을 알 수 있다 (Choi, 1996; Choi, 1997; Choi, 2001). 따라서, 수중조도분포 형상에서 차이가 있는 복수 LED 광원의 조합  $[F_{PB}]$ 을 제외하고, 파장별 방사조도 값의 분포형상과 광학적 수형에서의 수중투과특성 결과를 종합하면, 복수 LED 광원  $[F_{WB}]$ 와  $[F_{GP}]$ 의 조합이 오징어 채낚기 어업에서 사용 가능한 적절한 LED 광원의 조합인 것으로 판단된다. 다만, LED 광원을 어선에 설치하여 집어등으로 사용하는 경우, 광원의 높이와 각도에 따라 수중에 투과되는 방사분포가 변화될 수 있으므로 (Choi, 2003), 이러한 점을 종합적으로 고려해야 할 것이다.

## 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 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- An YI, Jeong HG and Jung BM. 2009. Behavioral reaction of common squid *Todarodes pacificus* to different colors of LED light. J Kor Fish Tech 45, 135-143.
- Bae BS, Jeong EC, Park HH, Chang DS and Yang YS. 2008. Behavioral characteristic of Japanese flying squid *Todarodes pacificus* to LED light. J Kor 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 Kor 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, 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 Kor Fish Soc 34, 624-631.
- Choi SJ, Kim DA and Kim DS. 2002. 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. 2002. Abstract, Ann Meet. Jap Soc Fish 113.
- Choi SJ, Arakawa H, Arimoto T and Nakamura Y. 2003. Underwater illuminance of line light source model for fishing lamps of coastal squid jigging boats. Nippon Suisan Gakkaishi 69, 44-51.

- Choi SJ and Shin JC. 2003. Color Engineering. Kukje publish, Seoul, Korea, 71-75.
- 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.
- 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, 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, U.S.A, 45-49.
- Kuroki T. 1989. Measurement of Ocean environment. Kouseisya, Tokyo, Japan, 18-70.
- Miyagi Y, Inada H, Lee H, Sato M, Tsukada M, Inoue D, Sato H, Noda M, Sano E, Hirata S and Sakurai Y. 2006. Abstract, Ann Meet. Jap Soc Fish 9.
- Nakamura S, Mukai T and Senoh M. 1994. Candera-class high-brightness InGaN/AlGaIn double-heterostructure blue-light-emitting diodes. Appl Phys 64, 1687.
- 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, pp. 373.
- Ohta N. 1993. Color Engineering. Tokyo denki University Press, Tokyo, Japan, pp. 115-170.
- Osaka N. 1998. Handbook of color science. The Color Science Association of Japan, University of Tokyo Press, Tokyo, Japan, pp. 1-85.
- Seto T, Uchida Y and Taguchi T. 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 Japan 85, 577-584.
- Yamaguchi S. 1987. Lighting Handbook. The Illuminating Engineering Institute of Japan, Ohmsha, Tokyo, Japan, pp. 609.

---

2009년 8월 25일 접수  
 2009년 9월 29일 수정  
 2009년 12월 2일 수리