

## LED 색광에 대한 갈치의 행동반응

김문관\* · 안영일<sup>1</sup> · 박수현 · 오태철 · 강형철 · 박용석  
제주특별자치도 해양수산연구원, <sup>1</sup>강원도립대학교

### Behavioral reaction of hairtail (*Trichinus lepturus*) to different colors of LED light

Mun-Kwan KIM\*, Young-Il AN<sup>1</sup>, Su-Hyeon PARK, Tae-Cheol OH,  
Hyeong-Cheol KANG and Yong-Seok PARK

*Ocean and Fisheries Researches Institute, Jeju Special Self-Governing Province, Jeju 63629, Korea*  
<sup>1</sup>*Department of Maritime Police and Technology, Gangwon State University, Gangneung 25425, Korea*

This study carried out an experiment to find out the reaction of hairtail, *Trichinus lepturus* to the colors of LED light as a basic study on the development of the trolling gear and a method to enable the day-night operation. We used hairtails caught around Seongsan-po, Jeju Island by set nets and hairtail angling. The seven hairtails of the average length 68.9 cm (SD 9.2 cm) and the average weight 135.9 g (SD 47.9 g) were adapted themselves in the experimental water tank, 15 m Self-Governing 1.7 m in height and 1.5 m in depth, and then they were studied. We conducted experiment at the Ocean and Fisheries Research Institute in Jeju Special Self-Governing Province, from November to December 2015, and the sea surface temperature was between 16.5 and 19.5°C. The four colors of LED light, blue, white, green and red, were set up to transmit downward from the marginal area of tank. The 1 meter depth light intensity of LED colors is as follows: 0.09 w/m<sup>2</sup>/s (blue), 0.18 w/m<sup>2</sup>/s (white), 0.04 w/m<sup>2</sup>/s (green) and 0.007 w/m<sup>2</sup>/s (red). To know the optimum LED color light, we selected one with better reaction rate after comparison of two colors simultaneously and the selected color was again compared to the other color in a tournament style two times a day (day and night) and ten times totally. The reaction rates were shown as the frequencies of hairtail appearance for 5 minutes in the lighting zone after turning on the LED lights. The reaction rate of the blue was at 97% unlike the red 3% ( $p < 0.001$ ). The blue was at 75% unlike the green at 25% ( $p < 0.001$ ). The blue was at 67% unlike the white at 33% ( $p < 0.001$ ). Therefore, the color of light source showing the highest reaction rate was the blue.

Keywords : LED light, Hairtail, Color light, Behavioral reaction

#### 서론

갈치 *Trichinus lepturus*는 우리나라 국민이 즐겨 찾는

국민생선으로 알려져 있지만, 갈치 어획량은 1990년도 103,736톤이었으나 매년 감소경향을 보이면서 2013년

\*Corresponding author: kmk6788@korea.kr, Tel: +82-64-710-8481, Fax: +82-64-710-8489

도에는 6,720톤으로 특히 감소가 심하였다 (KOSIS, 2015). 한편, 우리나라의 전체 어업종사자는 매년 감소 추세에 있고, 어업인구 수는 1970년에는 1,165,232명이었으나, 그 이후 매년 감소하여 2010년에는 1970년대의 약 1/7인 171,204명에 그치고 있다 (KOSIS, 2015). 그뿐만 아니라 어업종사자의 65세 이상 비중이 2003년에는 15.9%였는데 2015년에는 30.5%로 고령화가 심화되고 있고 (KOSIS, 2015), 외국인 고용은 많아지고 숙련된 어업인 부족이 심각한 상황에 있다.

갈치는 대형트롤, 연근해 안강망, 선망, 채낀기, 정치망 등에 의해서 어획되고 있으나, 노동집약적 조업형태가 많고, 어선어업은 연료 의존도가 매우 높아 유가 상승에 민감한 영향을 받고 있다. 따라서 어업인들은 연료 절감형 어업기술 도입과 인력절감형 자동화 조업시스템 연구수행을 통해서 어업경영의 개선책을 요구하고 있다.

한편, 끝낀시 어구는 낚시가 달린 줄을 선박이 끌고 일정한 속도로 전진하면 낚시의 먹이에 유혹된 물고기가 맹렬히 추격하다 걸려들게 하여 잡는 것으로서, 일본의 경우와 같이 갈치 조업에서도 새롭게 도입할 필요가 있다. 즉 1인 조업이 가능하도록 자동화하고 주·야간 조업이 가능한 집어등을 사용해야 한다. 일본에서는 갈치 끝낀시어구에 백열전구와 LED (발광다이오드)의 소형 집어등을 장착해서 조업하고 있다.

어구의 어획효과를 높이기 위하여 집어등을 사용한 연구는 오래전부터 수행되어 왔는데 (Ben-Yami, 1976), 오징어를 대상으로 Inada and Ogura (1988), 고등어 및 정어리를 대상으로 Inoue (1963), 멸치를 대상으로 Isa (1961), 킨카를 대상으로 Tamura (1965), 콩치를 대상으로 Imamura (1961), 갈치를 대상으로 Chyn et al. (1996) 등이 있다. 최근에는 LED 광이 에너지 절약과 친환경 광원으로서 현재 사용되고 있는 메탈할라이드 집어등을 대체하기 위한 연구가 진행되어 왔다. 실험실에서 Choi (2006; 2008)가 LED광의 방사 및 수중투과 특성에 대하여, Bae et al. (2008)와 An et al. (2009)은 LED 색광에 대한 살오징어의 행동반응, Bae et al. (2011)은 멸치의 행동반응에 대하여 연구한 바 있다. 현장에서는 오징어를 대상으로 Matsushita et al. (2012), An et al. (2013), An (2014) 등이 있고, 콩치를 대상으로 Inada and Arimoto (2007), Okamoto et al. (2008) 등이 있고, 특히 Inada and Arimoto (2007)는 LED 집어등의 개발과 전망

에 대해서 보고하였다. 갈치를 대상으로 한 연구는 국내에서 An et al. (2012), Jung et al. (2013)이 있지만, 끝낀시와 관련된 보고는 없는 실정이다. 일본에서 갈치 끝낀시어구를 위한 수조실험과 현장 시험조업을 통해서 LED광의 집어효과를 조사하였으나, 갈치의 생태학적 특성 때문에 과학적인 데이터를 확보하지 못하였다 (Tokushima Fisheries Tech. S. C., 2010).

본 연구에서는 끝낀시의 주 야간 조업이 가능한 수중 LED 집어등을 개발하기 위한 기초적 연구로서, 대형수조에서 LED 색광에 대한 갈치의 행동반응을 조사·분석하였다.

## 재료 및 방법

실험은 2015년 11월부터 12월 사이에 제주해양수산 연구원의 대형수조에서 실시하였으며, 실험기간의 수온은 16.5~19.5℃였다. 실험어는 제주도 성산포 부근에서 정치망과 채낀기로 어획한 갈치 136마리를 사용하였다. 실험어인 갈치의 크기는 평균전장 68.9 cm (SD 9.2 cm), 평균체중 135.9 g (SD 47.9 g)이었다. 각 조건별 실험어는 사육수조와 실험수조로 구획하여 실험수조의 개체만을 이용하였으나, 실험어의 관리 어려움 때문에 일부 개체의 이동과 폐사가 발생하여 각 조건별로 실험할 때마다 동일한 마릿수를 설정하지 못하였다. 또한 현장에서 어획된 것을 사육수조에서 장기간 충분히 순응시킬 수 없었지만 (An et al., 2009; Bae et al., 2011), 본 연구에서는 5일 이상 순응시키고 그 중에서 건강한 4~8마리를 실험에 사용하였다.

실험전 암순응 시간으로서 Yang (1980)의 경우 돌돔과 복숭을 대상으로 40분간, Bae et al. (2008)은 오징어를 대상으로 1시간, An and Jeong (2011)은 오징어를 대상으로 3시간으로 하였는데, 본 연구에서는 갈치를 대상으로 7시간 이상하였다.

수조는 유수식 원형수조 (직경 15 m, 높이 1.7 m)를 Fig. 1과 같이 구획하고 각각 실험수조와 순응수조로 사용하였고, 수심은 1.5 m를 유지하였다. 또한 수조 내는 빛을 완전히 차단하여 암흑 상태를 유지하였다. LED 광원은 청색, 백색, 녹색, 적색의 4종이며, 수면상 70 cm 되는 수조 가장자리에서 빛이 하 방향으로 투과하도록 설치하였다. 특히 암실에서 LED 광에 대한 실험어의 행동관찰을 위하여 원격 제어하는 초저조도용 특수 관찰 카메라

라를 설치하였다. LED 광원은 0.5~1.5 W의 LED 필터 겸 깔때기 모양의 샷갓을 부착해서 수조 내에서 조명구역과 비 조명 구역으로 구분하기 위하여 배광각을 좁혔고, 조명구역의 크기는 직경 1.1 m이었다. 광의 밝기는 수중 분광 조도계 (J&C사, JCS-400)를 사용하여 광원으로부터 수직으로 70 cm (수면)와 170 cm (수심 1 m) 떨어진 지점에서 측정하였다.

실험은 LED 광원의 집어효과와 최적의 LED 색광을 찾고자 하였으며, 2종류의 색광을 동시에 비교하여 반응률이 우세한 색광을 다른 색광과 비교하는 토너먼트 식으로 실시하였다. 즉 광원의 조합은 청색과 적색, 청색과 녹색, 청색과 백색으로 하였다. 또한 청색광에 한해서 조명구역의 넓이 차 (광원의 배광각)에 의한 집어효과를 비교 분석하기 위해서 좁은 구역 (직경 0.4 m)과 넓은 구역 (직경 1.5 m)으로 나누고, 각각의 구역에 출현하는 갈치의 빈도를 계수하였다. 실험 순서는 실험어를 실험 수조에 넣고 암순응이 된 상태에서 2종류의 LED 광을 동시에 점등하고 5분 이내에 각각의 조명구역에 출현하는 갈치의 빈도를 계수하였고, 총 출현계수에 대한 각각의 빈도율을 구하고 반응률이라고 하였다. 관찰시간을 5분 이내로 한 것은 본 실험에서 갈치가 LED광에 대해서 1분 이내에 행동반응을 보였고, 갈치 끝났시의 경우, 선속이 있으므로 짧은 시간에 행동 반응을 보여야 어획

에 연결된다고 판단되었기 때문이다.

2종류의 색광을 조합한 실험에서는 광원의 위치를 아침과 저녁에 맞바꾸면서 1일 2회씩 실시하였고, 각 광원의 조합별로 10회씩 반복하였다. 갈치의 행동관찰은 카메라와 함께 3명의 연구원이 동시에 직접 조사하였다. 한편, LED 색광원에 대한 반응결과에 대해서는 t-test를 이용하여 유의성 검증을 실시하였다.

### 결과 및 고찰

실험에 사용한 LED 광원의 특성은 Fig. 2와 같다. 광원의 중심파장은 청색광 462 nm, 녹색광 520 nm, 적색광 625 nm, 백색광은 462~627 nm로 연속 스펙트럼으로 넓은 대역으로 나타났다. 각 색광별 조명구역의 조도와 방사조도는 Table 1과 같다. 수면과 수심 1 m에서의 조도는 백색광이 136.50 lx과 34.54 lx로 가장 높고, 다음으로 녹색광 73.25 lx와 20.01 lx, 청색광 22.81 lx와 5.87 lx, 적색광 7.23 lx와 1.79 lx 순이었다. 방사조도는 백색광 0.72 w/m<sup>2</sup>/s와 0.18 w/m<sup>2</sup>/s로 가장 높고, 다음으로 청색광 0.34 w/m<sup>2</sup>/s와 0.09 w/m<sup>2</sup>/s, 녹색광 0.14 w/m<sup>2</sup>/s와 0.04 w/m<sup>2</sup>/s, 적색광 0.03 w/m<sup>2</sup>/s와 0.007 w/m<sup>2</sup>/s 순이었다. 이와 같이 현장에서의 광 환경을 고려하여 광자극의 밝기를 낮추었기 때문에 색광별 조도 값의 차이가 조금 있었지만 방사조도 값의 차이는 미미하였다. 그리고 청

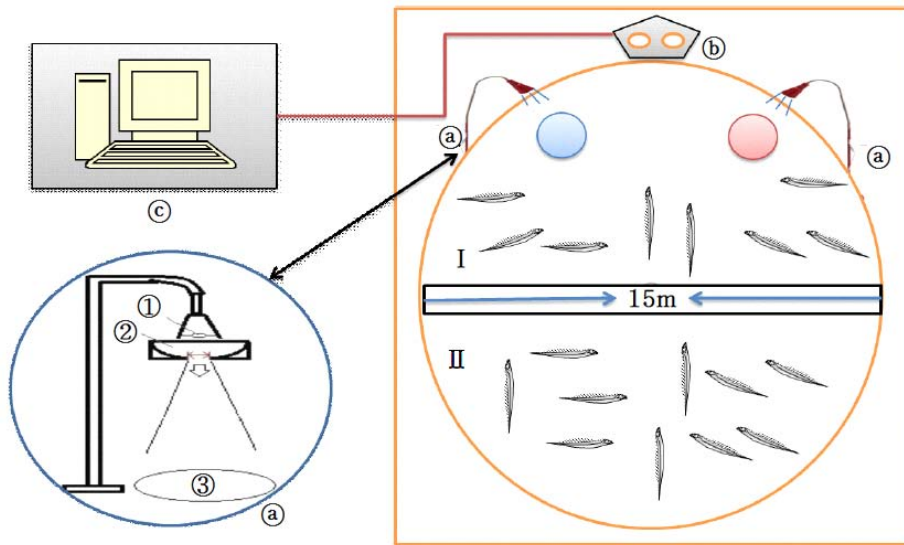


Fig. 1. Experimental tank and position of LED (Light Emitting Diode) light source.

I : Experimental zone, II : Adaptation zone, (a) : LED light source, (b) : Camera, (c) : Computer, (1) : LED light source, (2) : Funnel shade, (3) : Lighting zone

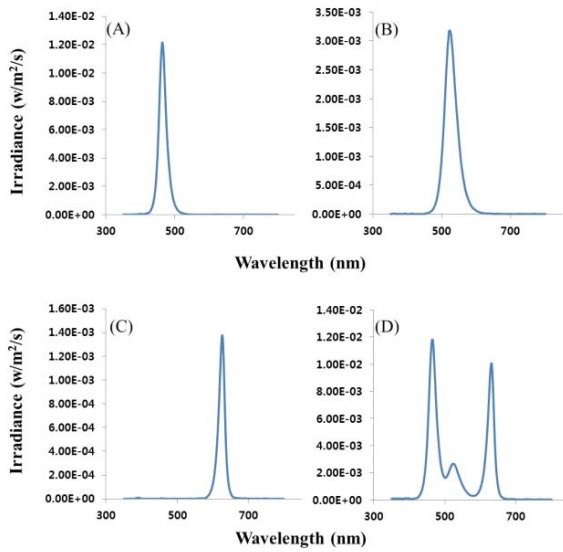


Fig. 2. Spectral distribution of LED light. (A) Blue, (B) Green, (C) Red, (D) White.

Table 1. Light intensity for the LED color light in accordance with the depth

Color	Surface		Depth of 1 meter	
	Illuminance (lux)	Irradiance (w/m <sup>2</sup> /s)	Illuminance (lux)	Irradiance (w/m <sup>2</sup> /s)
Blue	22.81	0.34	5.87	0.09
Green	73.25	0.14	20.01	0.04
Red	7.23	0.03	1.79	0.007
white	136.5	0.72	34.54	0.18

Table 2. Light intensity for the Blue LED light in accordance with the size of lighting zone

Depth	Wide zone	Narrow zone
	Irradiance(w/m <sup>2</sup> /s)	Irradiance(w/m <sup>2</sup> /s)
Surface	0.624	0.116
Depth of 1 meter	0.127	0.098

색광에서의 좁은 조명구역과 넓은 조명구역의 수면과 수심 1 m의 방사조도는 Table 2에 나타난 바와 같이 좁은 구역에서 0.116 w/m<sup>2</sup>/s와 0.098 w/m<sup>2</sup>/s이고, 넓은 구역에서 0.624 w/m<sup>2</sup>/s와 0.127 w/m<sup>2</sup>/s이었다.

LED 광원의 조합에 따른 반응률은 Fig. 3과 같다. 청색광과 적색광에서는 97%와 3% (p<0.001)로 두 광원에 대한 반응의 차이가 컸다. 또한 청색광과 녹색광에 대한 반응률은 각각 75%와 25% (p<0.001)이고, 청색광과 백색광에서도 67%와 33%로서 (p<0.001) 두 광원간의 반

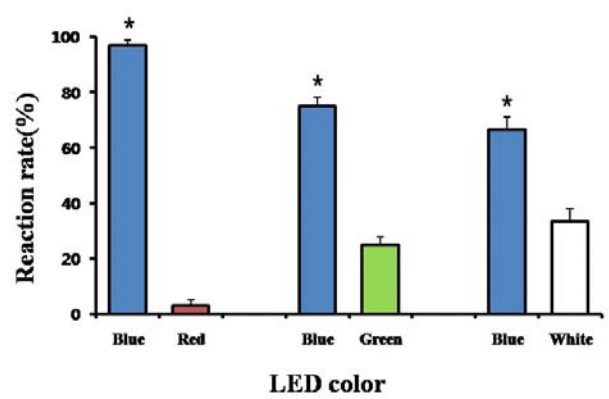


Fig. 3. Reaction rate of hairtail to the different colors of LED light. Vertical lines denote standard errors. The mark “ \* ” represent the significant differences at the 0.1% levels.

응률의 차이가 컸으며, 모든 경우에 청색광의 반응률이 높게 나타났다.

청색광 대비 각 색광의 반응률은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 백색광이 50.1%, 녹색광이 33.3%, 적색광이 3.1% 였다. 이상과 같이 색광에 대한 갈치의 반응률은 청색광이 가장 우수하고 다음은 백색광, 녹색광, 적색광 순이었다. 이와 같은 결과는 청색광과 녹색광이 해수의 수중투과 특성에서 우수하고 (Jerlov, 1976), 집어등으로서의 사용 가능성이 높은 LED 색광이며 (Choi, 2006), 어류의 유집하는 효과가 높을 것이라고 한 것 (Imamura, 1968a; b)과 비슷하였다. 또한 Bae et al. (2008)은 살오징어가 청색광에서 가장 민감한 반응을 보였다고 하였다. 또한 청색광이 백색광보다 어둡고 다른 광보다 밝음에도 불구하고 청색광에 갈치의 반응이 좋은 것은 파장의 영향도 있고, 조도 5.87 lx, 방사조도 0.09 w/m<sup>2</sup>/s가 갈치의

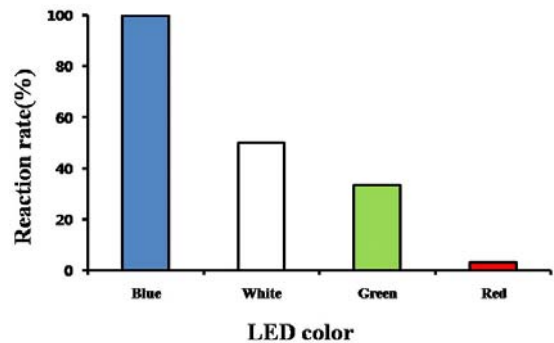


Fig. 4. Relative reaction rate of each LED color against the blue color.

호적밝기 범위 내에 포함되기 때문이라고도 생각되었다 그러나 앞으로 밝기가 동일한 조건에서 갈치의 반응률을 조사할 필요가 있으며, 또한 호적밝기를 알기 위해서도 좀 더 적절한 광 조건이 필요하다.

청색광에서의 좁은 조명구역과 넓은 조명구역에서의 반응률은 Fig. 5와 같이 36%와 64%였다 ( $p < 0.01$ ). 조명 넓이 3.8배 차이와 비교하면 반응률의 차이는 1.8배로 그다지 높지 않지만, 조명구역의 차이에 따른 반응률의 차이는 분명히 있는 것으로 나타났다. 어업현장에서 어업인들은 집어등의 광력이 강할수록 많이 어획한다는 것으로 판단하고 경쟁적으로 광력을 증가시키는 경향이 있어 왔다 (An, 2013). LED광에 대한 연구에서도 초기에는 파장의 연구가 중심이었지만 (Bae et al., 2008; An et al., 2009), 최근에는 파장보다 광력을 중시하고 있다 (Bae et al., 2011; Yamashita et al., 2012; An, 2014). 이와 같이 광력을 높여 조명구역을 넓히고자 하는 현상은 본 연구의 결과에서 조명구역이 넓은 경우에 반응률이 높은 것과 유사하였다.

한편, 갈치는 활어 상태로 바다에서 수조까지 운송, 대형수조에서의 실험 및 갈치의 생태학적 특성으로 인하여 관찰하는데 어려움이 있었지만 다음과 같이 갈치의 행동을 알 수 있었다. LED 광의 점등과 동시에 갈치의 수조 내 분포는 대체로 수조의 벽과 전 구역에 골고루 분포하고 개체행동을 하였다.

LED 광에 대한 갈치의 행동은 보통 수면에 수직으로 있다가 LED 광을 점등하면 곧바로 10~60초 사이에 광원을 향하여 모여들기 시작하였다. 두 광원을 동시에 점등하면 광에 반응하는 갈치의 행동 (Fig. 6)은

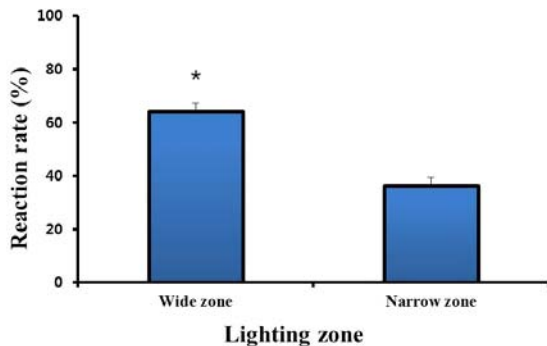


Fig. 5. Comparison of reaction rate between wide zone and narrow zone. Vertical lines denote standard errors. The mark “ \* ” represent the significant differences at the 1% levels.

상대 광원에 따라서 조금씩 달랐다. 청색광과 적색광이 동시에 점등했을 경우의 청색광에 대한 행동 패턴은 크게 3가지로 분류할 수 있었다. 광원 밑인 조명구역으로 모여들어 계속해서 수직으로 체류하는 행동과 조명구역으로 모여들어 계속해서 수조벽을 중심으로 조명구역에서 수평으로 체류하는 행동, 그리고 조명구역으로 모여들고 조명구역과 조명구역 밖을 왔다 갔다 반복하는 행동이 있었다. 특히 체류시간은 조명구역보다는 조명구역 경계선인 주변역에서 오래 체류하였다.

청색광과 녹색광이 점등했을 경우의 청색광에 대한 행동 패턴은 다음과 같이 분류할 수 있었다. 광원 밑인 조명구역으로 수평으로 이동하고 계속해서 수직으로 체류하다가 조명구역 밖으로 나가는 행동과 조명구역으로 수평으로 이동하고 조명구역에서 계속해서 수평으로 체류하다가 조명구역 밖으로 나가는 행동, 그리고 조명구역으로 수평적으로 모여들고 체류하다가 녹색광 조명구역으로 이동하는 행동이 있었다. 체류시간은 녹색광원 구역보다는 청색광원구역에서 길었다.

이와 같이 밝은 구역에 오래 체류하지 않고 밝은 구역과 어두운 구역의 경계 구역을 왔다 갔다 하는 행동은 오징어가 집어등에 의해 조명된 구역을 피해서 경계구역을 왔다 갔다 하는 행동과 유사한 것으로 생각된다 (Ben-Yami, 1976).

앞으로 본 연구의 결과와 관련한 갈치의 유전적 특성 규명과 끝낚시에 적용하기 위한 수중집어등에 대한 연구도 필요하다.

## 결론

갈치끝낚시의 주야간 조업이 가능한 수중 LED 집어등을 개발하기 위한 기초적 연구로서 대형수조에서 LED 색광에 대한 갈치의 행동반응을 저조도용 카메라 시스템과 연구원에 의한 동시 조사한 결과, 청색광에 대한 반응이 가장 우수하였고 다음은 백색광, 녹색광, 적색광 순이었고 또한 청색광에 대한 조명구역의 넓이 차에 따른 반응률의 차이도 약 1.8배였다. LED 광자극에 대하여 갈치는 1분 이내 반응하였고 조명구역에 체류하기도 하고 경계구역을 왔다 갔다 하는 행동을 하였다. 이와 같이 청색광의 밝기가 백색광보다 어둡고 다른 색광보다 밝음에도 불구하고 청색광에 대하여 갈치

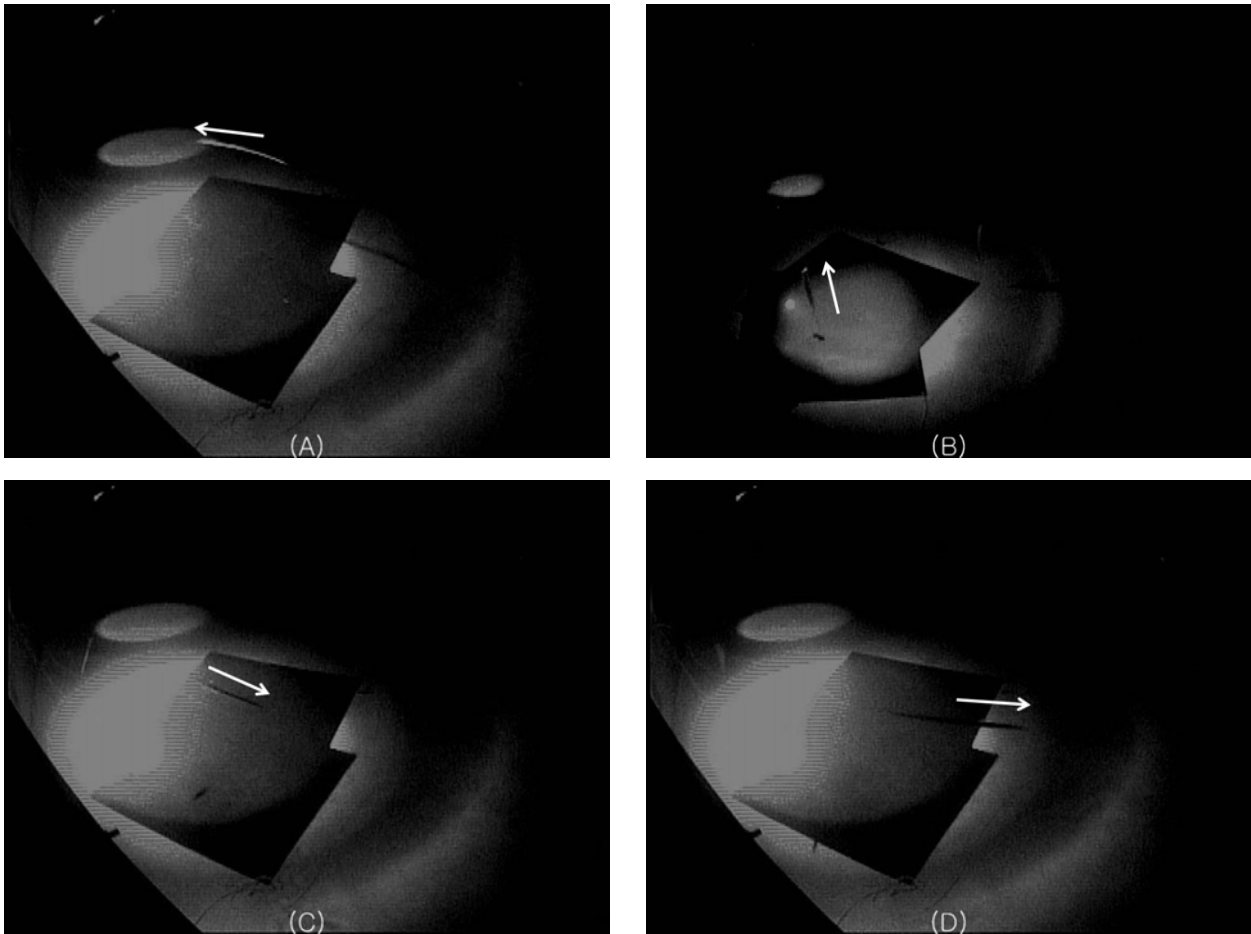


Fig. 6. Behavioral reaction of hairtail to different colors of LED light.

- (A) Approaching behavior toward the lighting zone
- (B) Upright behavior in the lighting zone
- (C) Behavior moving horizontally in the lighting zone
- (D) Behavior leaving the lighting zone

가 빠르게 반응하고 반응률이 높게 나타났다는 사실을 알 수 있었다. 또한 조도 5.87 lx, 방사조도 0.09 w/m<sup>2</sup>/s의 밝기가 갈치의 호적밝기범위에 포함될 것이라고 생각되었다. 따라서 앞으로 갈치끝낚시 어구에 적합한 수중집어등을 개발하는데 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

### 사 사

이 논문은 한국해양과학기술진흥원 수산실용화과제(20150374)의 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다. 실험어인 갈치포획에 도움을 주신 정치

망과 채낚기 선장님께도 고마움을 표합니다. 또한 본 논문의 심사에 많은 조언을 해주신 심사위원님께도 감사의 뜻을 전합니다.

### References

- An HC, Bae BS, Lee KH, Park SW and Bae JH. 2012. Operating performance of hair-tail angling vessel using the LED and metal halide fishing lamp combination. J Korean Soc Fish Technol 48, 337-345. (DOI:10.3796/KSFT.2012.48.4.337)
- An HC, Bae JH, Bae BS and Park JM. 2013. Operating performance of squid jigging vessel using the LED and

- metal halide fishing lamp combination. *J Korean Soc Fish Technol* 49, 395-403. (DOI:10.3796/KSFT.2013.49.4.395)
- An YI, Jeong HG and Jung BM. 2009. Behavioral reaction of common squid *Todarodes pacificus* to different colors of LED light. *J Korean Soc Fish Technol* 45(3), 135-143. (DOI:10.3796/KSFT.2009.45.3.135)
- An YI and Jeong HG. 2011. Catching efficiency of LED fishing lamp and behavioral reaction of common squid *Todarodes pacificus* to the shadow section of color LED light. *J Korean Soc Fish Technol* 47, 183-194. (DOI:10.3796/ KSFT.2011.47.3.183)
- An YI. 2013. Fishing efficiency of LED fishing lamp for squid jigging vessels. *J Korean Soc Fish Technol* 49, 385-394. (DOI:10.3796/KSFT.2013.49.4.385)
- An YI. 2014. Fishing efficiency of high capacity (360W) LED fishing lamp for squid *Todarodes pacificus*. *J Korean Soc Fish Technol* 50, 326-333. (DOI:10.3796/KSFT.2014.50.3.326)
- Bae BS, Jeong EC, Park HH, Chang DS and Yang YS. 2008. Behavioral characteristic of Japanese flying squid, *Todarodes pacificus* to LED light. *J Korean Soc Fish Technol* 44, 294-303. (DOI:10.3796/KSFT.2008.44.4.294)
- Bae BS, Cho SK, Cha BJ, Park SW and An HC. 2011. The study on the Anchovy's (*Engraulis japonica*) reaction to several light colors in a tank. *J Korean Soc Fish Technol* 47(4), 327-337. (DOI:10.3796/KSFT.2011.47.4.327)
- Ben-Yami M. 1976. Fishing with light. In: *FAO fishing manual*. Fishing News Books Ltd, Farnham Surrey, England. 1-114.
- Choi SJ. 2006. Radiation and underwater transmission characteristics of a high-luminance light-emitting diode as the light source for fishing lamps. *J Kor Fish Soc* 39(6), 480-486. (DOI:10.5657KFAS.2006.39.6.480)
- 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 Soc Fish* 41(6), 511-517. (DOI:10.5657KFAS.2008.41.6.511)
- Chyn SS, Lee KT and Liao CH. 1996. Shoal density, distribution and fluctuation rhythm of swordtip squid influenced by mackerel and hairtail in the illumination zone during the light fishing operation. *J Fish Soc Taiwan* 23, 67-78.
- KOSIS. 2015. Fishery production survey 2015.
- Imamura Y. 1961. Study on the fishery operating the stick held dip net with aid of luring light for saury. *Bull Jap Soc Sci Fish* 27, 440-445. (DOI:10.2331/SUISAN.27.440)
- Imamura Y. 1968a. Etude de l'effet du feu dans la peche et de son operation(Ⅲ). *La mer*, 6, 26-44.
- Imamura Y. 1968b. Etude de l'effect du feu dans la peche et de son operation(Ⅲ). *La mer*, 6, 32-44.
- Inada N and Ogura M. 1988. Historical changes of fishing light and its operation in squid jigging fisheries. *Report Tokyo Univ Fish* 24, 189-207.
- Inada H. and Arimoto T. 2007. Trends on research and development of fishing light in Japan. *J Illum Engng Inst Jpn* 91(4), 199-209.
- Inoue M. 1963. Fish schools attracted by light stimuli observed in the operation of Hasso-ami or eight-boat-lift-net. *Bull Jap Soc Sci Fish* 27, 925-929. (DOI:10.2331/SUISAN.29.925)
- Isa Y. 1961. A study on effects of different kinds of fishing lamps. *Bull Jap Soc Sci Fish* 27, 493-500. (DOI:10.2331/SUISAN.27.493)
- Jung BM, Choi WG, Lim JG and An, YI. 2013. Development of the Optimal LED Fishing Lamp System. Research report, Ministry of Knowledge Economy, 75-77.
- Jerlov NG. 1976 *Marine optics*. Elsevier Sci Pub Co Amsterdam. 127-150.
- Matsushita Y, Azuno T and Yamashita Y. 2012. Fuel reduction in coastal squid jigging boats equipped with various combinations of conventional metal halide lamps and low-energy LED Panels. *Fish Res* 125-126, 14-19. (DOI:10.1016/J.FISHRES.2012.02.004)
- Okamoto T, Takahashi K, Ohsawa H, Fukuchi KI, Hosogane K, Kobayashi S, Moniwa M, Sasa K, Yoshino H, Ishikawa H, Harada M, Asakura K and Ishii H. 2008. Application of LEDs to Fishing Lights for Pacific Saury. *J Light & Vis Env* 32, 88-92. (DOI:10.2150/JLVE.32.88)
- Tamura T. 1965. Fundamental studies on the visual sense in fish. In: *Modern fishing gear of the world* Krjstjonnsson H ed Fishing News Ltd, London, England, 543-547.
- Tokushima Agriculture, Forestry, and Fisheries Technology Support Center. 2010. Operation guideline of the hairtail trolling fishery that utilized an LED fishing.
- Yamashita Y, Matsushita Y, Azuno T. 2012. Catch performance of coastal squid jigging boats using LED panels in combination with metal halide lamps. *Fish Res* 113,

182-189. (DOI:10.1016/J.FISHRES.2011.10.011)

Yang YR. 1980. Response of rock bream and grass puffer to the colored lights. Bull Korean Soc Fish Technol 16, 37-42.

---

2016. 04. 16 Received

2016. 08. 12 Revised

2016. 08. 23 Accepted