

LED 색광에 대한 살오징어의 행동반응

안영일* · 정학근¹ · 정봉만

강원도립대학 해양경찰과, ¹한국에너지기술연구원 건물에너지연구센터

Behavioral reaction of common squid *Todarodes pacificus* to different colors of LED Light

Young -Il AN*, Hak -Geun JEONG¹ and Bong -Man JUNG¹

Dept. of marine police and Technology, Gangwon Provincial College, Gangneung 210-804, Korea

¹Building Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

To study the behavioral reaction of common squid *Todarodes pacificus*, to different colors of LED light, individual distribution in the dark condition without LED light stimuli, individual distribution when four colors of light stimuli were at the sections of end and middle of water tank and the changes of gathering rates as the elapse of illuminating time were examined. When it was dark, the distribution of the fish in each section of the tank was U - shape regardless of the investigating time intervals, which means that *Todarodes pacificus* gathered at the both ends of the tank. The individual distribution when light stimuli were at the one end of the tank showed the tendency of gathering at the illuminated section and decreasing at the opposite section. There were 448 of them at the end of the tank when the light was blue, 352 when white, 302 when green and 132 when red. Thus the fish liked blue light the most, followed by white light. The variations of gathering rate at the both ends of tank as illuminating time elapsed showed the tendency of increasing at the light section (A section), however, it showed the tendency of decreasing at the darkest section (F section). The individual distribution showed the tendency of letter A of gathering at the center and decreasing at the both ends mostly when the light stimuli were at the middle section of tank. The gathering rates at the lighting section were 80.4% when red, 76.4% when white, 69.6% when green and 56.7% when blue. The fishes showed the affinity for the red light mostly, followed by the white light source. The red light and blue light showed the opposite when the light stimuli were at the one end of water tank. The variations of gathering rates as the elapse of time at the lighted section showed the tendency of gradual increasing in the four light sources. The color of light source showing the highest gathering rate within 25 - 30 minutes of light stimuli was the white, followed by the red.

Key words : Behavioral reaction, Common squid, LED

*Corresponding author: yian@gangwon.ac.kr, Tel: 82-33-660-8201, Fax: 82-33-660-8205

서 론

오징어는 우리나라 주변해역에서 중요한 어업자원의 하나로 이를 어획하는 오징어 채낚기 어선에서 집어등은 부속구이지만 주어구인 자동조획기 못지않게 중요한 역할을 한다. 집어등은 사회발전과 함께 개발된 광원을 사용하였는데 햇불에서 아세틸렌등, 백열등, 수은등, 형광등, 할로겐 등을 거쳐 현재 메탈헬라이드 등을 주로 사용하고 있다(Inada and Ogura, 1988). 광원의 광력증가는 어획량 증가로 인식되어 광원에 반사각을 장착한 기구를 이용하기도 하였다(Suzuki et al., 1985). 그러나 광력의 증가에 따른 집어등 관련 장비와 연료비는 어업경영을 압박하였고, 트롤어업과의 불법 공조조업도 유발하였다. 일본에서는 소형 채낚기 어선의 광력규제를 통한 경영안정화를 위하여 집어등광력과 어획률과의 관계를 조사한 결과 약 100kw의 광력까지만 비례관계인 것으로 나타났다(Choi, 2007). 과거 소형 채낚기 어선의 어획량은 어업자원량과도 관계하지만, 광력이 약한 아세틸렌 집어등을 사용한 시기에도 오늘날 못지않게 많았다. 이러한 사실로 정부는 선박톤수별 광력을 규제하였으나 유통비상승과 어획물가격의 보합세 등에 의한 경영악화로, 오징어 채낚기 어업인이 직접 정부에 광력규제를 더 줄이도록 요청하여 2008년 새로운 광력규제 법안이 제정되게 되었다. 그러나 기존 광원을 광력규제만으로 어업경영을 개선하기에는 한계가 있다고 본다.

최근 LED(Light Emitting Diode, 발광다이오드)는 차세대 광원으로 주목을 받고 있다. LED 광원은 현재 사용되고 있는 광원보다 전력소비가 적고, 수은이 없으며 수명이 길어서 친환경 조명으로 각광을 받고 있다. 수산분야의 낚시어업기술에서도 LED 광원은 유어낚시용으로 사용되어, 소형화 및 에너지 절약형으로 변화시켰고, 어류의 주광성을 이용하는 어업용 집어등 분야는 현재의 메탈헬라이드 램프를 대체하기 위한 에너지 절약형 집어등으로서 LED 광원을 응

용한 기술을 국내외에서 개발하고 있다. 집어등 어업으로 대표적인 오징어 채낚기는 집어등의 광력 증가로 어획수심이 깊어지고 연료는 어획량에 비하여 과소비하는 형태로 발전해 왔다. 이러한 고소비 어획방법을 개선하기 위해서는 오징어의 광에 대한 행동특성을 고려한 고효율 광이용 기술개발이 중요하다. 실험실에서의 백색광에 대한 오징어의 행동에 관하여 Yang(1995)이 보고한 바 있고, 현장에서의 집어등 또는 달빛에 대한 오징어의 행동에 관하여는 Hamabe(1964)를 비롯하여 Imamura(1968a; b), Murata(1983), Arakawa et al.(1998)이 연구한 바 있다. 또한 광력, 집어등의 배열 및 집어등의 종류에 따른 오징어의 어획 효과에 대하여 Ogura(1972)가 보고하였으며, Arimoto(1991)는 광을 이용한 어류의 행동제어기술에 대하여 보고한 바 있다.

한편 LED 광에 대해서는 Choi(2006)가 LED 광원의 발광특성을 통한 집어등으로서 검토하여 보고한 바가 있으며, Inada and Arimoto(2007)는 LED 집어등의 개발과 전망에 대해서 보고하였다. Bae et al.(2008)은 파장별 발광다이오드 빛에 대한 살오징어의 반응을 조사한 바 있으나, 수조벽의 영향과 자극광의 강도에 대해서는 충분히 고려하지 않았다.

따라서 본 연구에서는 오늘날 오징어 채낚기 어선에 사용하고 있는 메탈헬라이드 집어등을 LED 집어등으로 대체할 목적으로, 먼저 실험실에서 LED 색광에 대한 살오징어의 행동양상을 조사하였는데 수조내의 개체분포와 조명시간에 따른 집어울의 변화를 광원 위치에 따라 조사·분석하여 살오징어의 선호색광을 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

실험은 2008년 7월에 강원도립대학의 실험실에서 행하였으며, 실험어는 채낚기 어선으로 어획된 살오징어 *Todarodes pacificus*로써, 실험수

조와 2개의 사육수조에 7시간 이상 적응시킨 다음 실험에 사용하였으며, 총 마리수는 220마리 이상이였다. 실험어의 외투장은 암흑상태 실험인 경우 평균 24.4cm(21.4 - 28.5cm)이고 제1 실험의 경우 평균 18.7cm(16.2 - 21.6cm)이고 제2 실험의 경우 19.0cm(16.3 - 21.3cm)이였다.

실험수조는 직사각형(80W×560L×100Hcm) 유리수조로써 암실 내에 설치하였는데 그 개략도는 Fig. 1과 같으며, 수심은 70cm로 유지하였다. 수조의 구간설정은 6구간으로 하였다. 제1 실험은 LED광원을 수조 한쪽 끝 구간상단, 제2 실험은 수조 중앙구간 상단에 설치하였다. 제1 실험과 암흑상태 실험인 경우, 광원 쪽에서부터 A, B, C, D, E, F 구간이라 하였고 제 2 실험은 광원 구간 A0을 중심으로 좌우로 가면서 A1, A2, A3 구간이라 하였다. 특히 암실에서 LED광에 대한 실험어의 행동관찰을 위하여 원격 제어하는 초저도용 특수 관찰시스템(Fig. 2)과 실험어의 활어유지를 위하여 냉온수온조절장치(BLS(R)16, Crown)를 비롯한 유수식의 적정수질관리시스템을 마련하였다(Fig.2). 실험시의 수온과 염분은 수온계(DTM 920, Tektronix)와 염분계(30/10FT, YSI)를 사용하였으며, 암흑상태 실험인 경우 평균 19.6℃(19.1 - 20.2℃), 평균 33.3‰(33.2 - 33.5‰), 제1 실험은 평균 17.3℃(17.3 - 20.1℃), 평균 33.7‰(33.3 - 34.2‰), 제2 실험은 평균 19.0℃(17.4 - 20.5℃), 평균 33.0‰(31.0 - 34.2‰) 이였다.

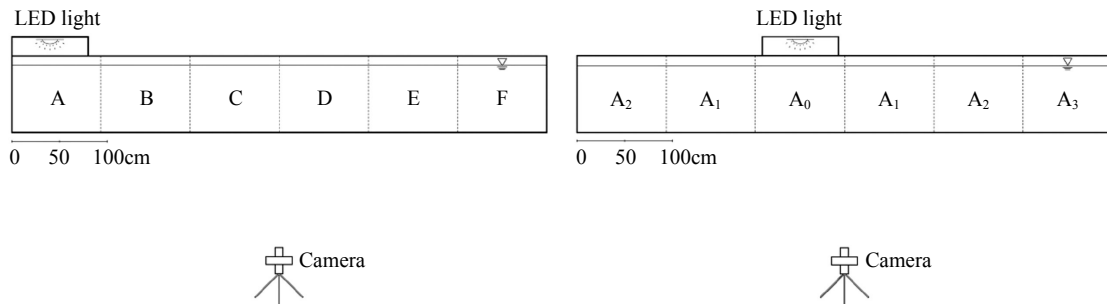


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental equipment system.

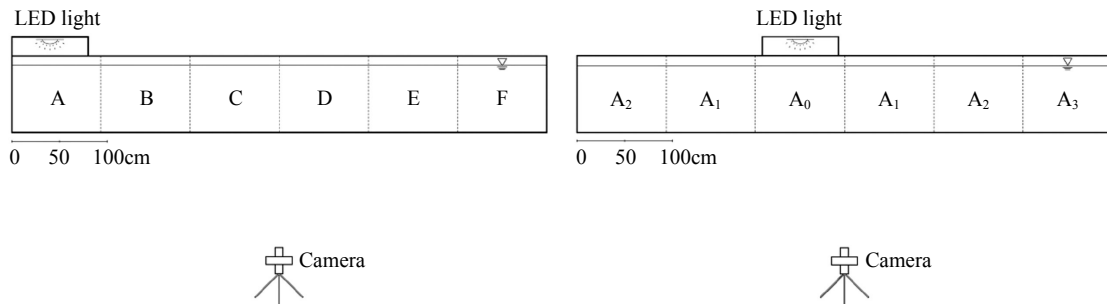


Fig. 1. Experimental tank and position of LED(Light Emitting Diode) light source.

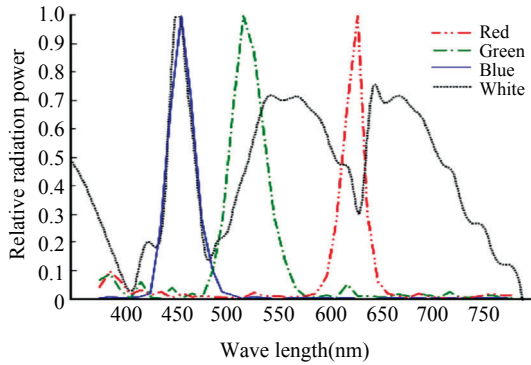


Fig. 3. Spectral distribution of LED lamps.

사하였으며 12회씩 반복하였다. 제1 실험은 3시간 암순응시킨 실험어 10마리를 대상으로 광원을 점등하기 전 1회, 점등 후 3분마다 15회(45분간), 제2 실험은 광원을 점등하기 전 1회, 점등 후 1분마다 30회(30분간)에 걸쳐 구간별 실험어의 분포조사를 하면서 녹화를 실시하였다. 다음 실험은 암순응을 1시간 30분시킨 후 다른 색광에 대하여 동일한 방법으로 행하였다. 매일 실험순서는 4가지 색광에 대하여 순차적으로 변경하고 실험어도 교체하여 각 색광에 대하여 10회 이상 반복 조사하였다.

한편, 본 연구에서 광원구간이란 광자극원이 있는 구간이고, 점등구간이란 제1 실험인 경우 광원구간 A, B, C의 3구간이고 제2 실험의 경우는 광원구간 A0, 좌우 A1의 3구간으로 정의하였다.

결 과

암흑상태의 개체분포

실험어에 LED 광자극이 없는 암흑상태의 수조내의 개체분포는 Fig. 4와 같다. 조사시간 1분 간격의 구간분포는 양단구간인 A와 F구간에 31.9%와 25.0%이었고, 나머지 구간에서는 8.6% - 12.2%로 큰 차이를 나타내지 않았다. 조사시간 3분 간격의 구간분포에서도 양단구간인 A와 F구간에 24.3%와 38.5%, 나머지 구간에 7.0% - 12.6%로 적은 분포를 나타내었다. 따라서 암흑상태에서 실험어의 구간분포는 수조의

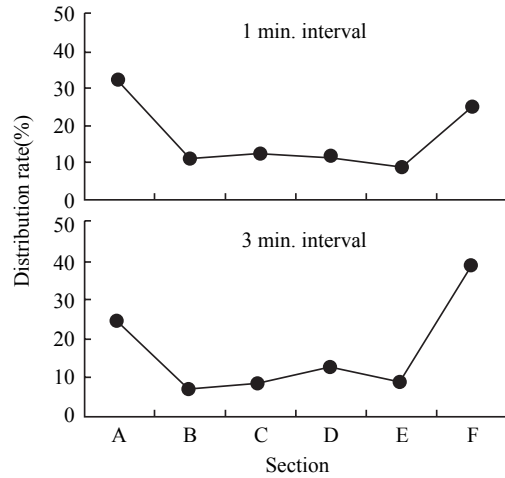


Fig. 4. Distribution rate(%) of squid under dark condition.

중앙구간보다 양단구간에 훨씬 많이 위치하는 것으로 나타났다. 이것은 수조의 길이가 한정되어 수조양단의 장벽의 영향인 것으로 판단된다.

끝 구간 광원에서의 개체분포

제 1 실험에서 4가지 LED 색광으로 광자극을 가하였을 때의 실험어의 구간분포는 Fig. 5와 같다. 암흑상태의 분포와 같은 수조의 장벽효과를 최소화하기 위하여 매 3분마다 광자극 중의 각 구간 개체 수는 자극전의 구간 개체 수로 빼서 증감의 수치로 나타나도록 하였다. Fig. 5와 같이 개체분포는 광원쪽의 구간에 많이 모이고 반대구간에 감소하는 경향을 나타내었다. 광원구간에 대해서 색광별 개체수를 비교하였을 때는 청색 298, 적색 225, 백색 191, 녹색 186의 순으로 나타났다. 점등구간에 모이는 개체수를 색광별로 보면 청색 448, 백색 352, 녹색 302, 적색 132의 순으로 낮아져, 실험어가 청색광을 가장 선호하고 다음은 백색광인 것으로 나타났다.

양단구간에서의 집어울의 변화

제1 실험인 4가지 광원에 대하여 3분 간격으로 45분간 A구간과 F구간을 조사한 집어울은 시간의 경과에 따른 집어울의 변화로 Fig. 6과 같이

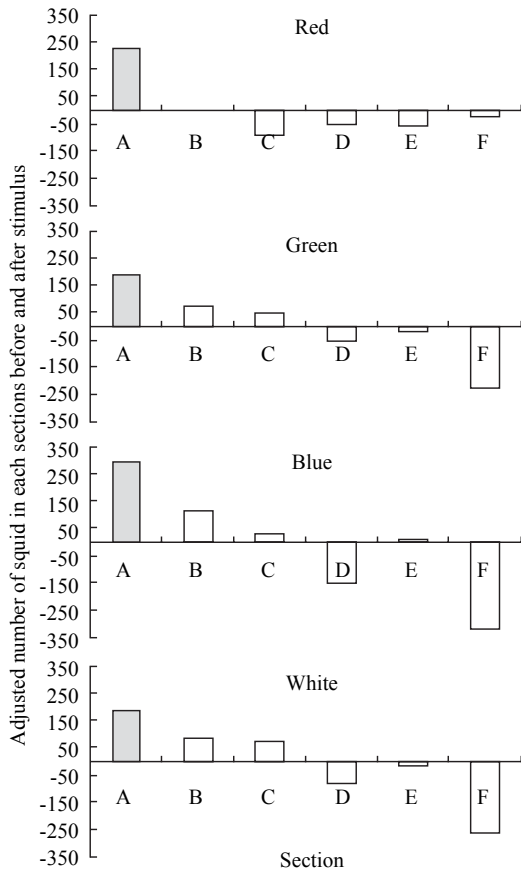


Fig. 5. Variation on the number of individuals in each section of the water tank after LED stimulus. Stippled columns is the lighted section.

나타내었다.

조명시간이 경과함에 따라 광원구간인 A구간의 집어율은 증가하는 경향을 보였으나 반대구간인 F구간의 집어율은 감소하는 경향을 나타내었고 그 증감의 정도를 추세선으로 나타내었다. 광원별로는 적색 광원 하에서 A구간과 F구간의 집어율에 대한 추세선의 기울기의 차이가 0.0757이고 녹색광원 하에서는 0.1146이고 청색광원 하에서는 0.2381이며 백색광원 하에서는 0.1367이었다. 따라서 추세선의 기울기 차이가 큰 것이 집어효과가 크다고 할 수 있으며, 오징어의 집어는 녹색광과 적색광보다 청색광과 백색광에 잘 되었다고 할 수 있다.

중앙구간 광원에서의 개체분포

제2 실험인 수조 중앙구간에서 4가지 LED색광으로 광자극을 가하였을 때의 실험어 구간분포는 Fig. 7과 같으며, 광원구간에 대한 수조의 장벽효과가 없으므로 1분마다 조사된 개체 수를 각 구간별 집어율로 나타내었다. 개체분포는 대체로 광원 쪽의 중앙구간에 많이 모이고 양단구간에 감소하는 A형 경향을 나타내었다. 광원구간에 대한 색광별 집어율은 적색 35.7%, 백색 28.0%, 녹색 24.5%, 청색 16.4%의 순으로 나타났

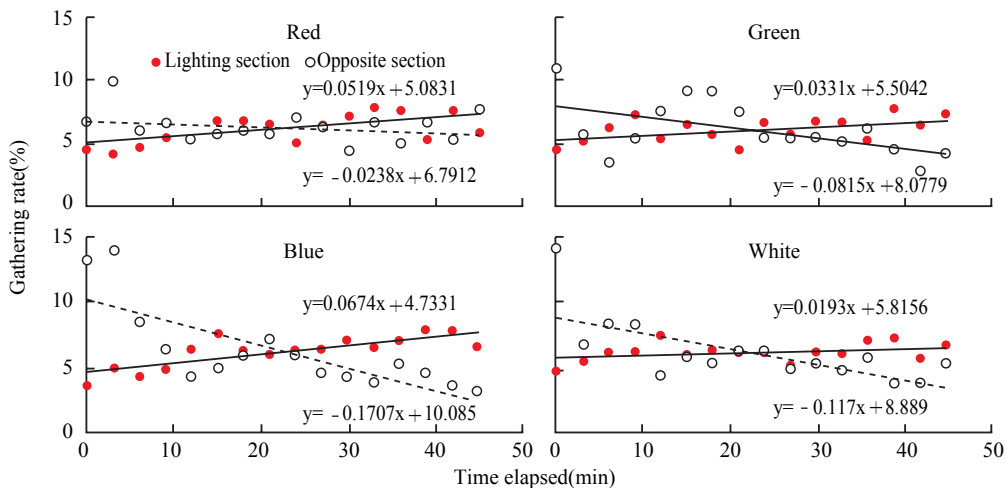


Fig. 6. Variations of gathering rate in the lighting sections(A) and the opposite sections(F) of the tank as illuminating time elapsed.

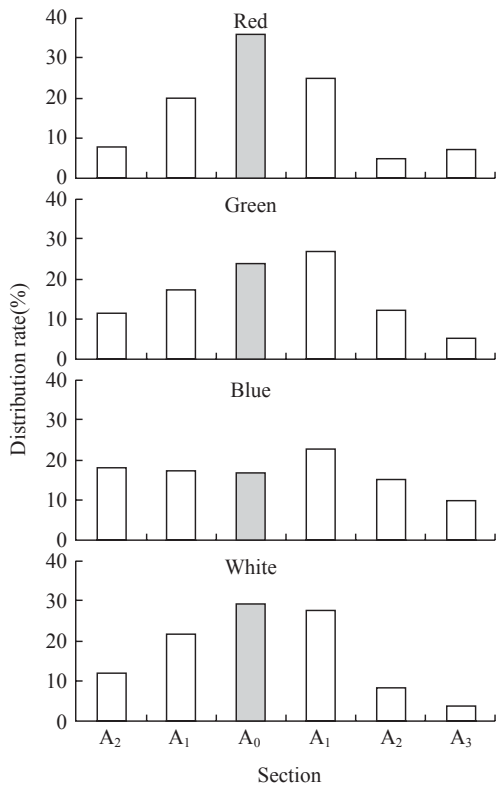


Fig. 7. Distribution rate of squid in each section of the tank exposed to the colored LED light. Stippled columns is the lighted section.

다. 점등구간에 모이는 집어울을 색광별로 보면 적색 80.4%, 백색 76.4%, 녹색 69.6%, 청색 56.7%의 순으로 낮아져, 실험어가 적색광을 가장 선호하고 다음은 백색광인 것으로 나타났다. 적색광과 청색광의 경우는 끝 구간에서 광자극을 하였을 때와 반대 현상이었다.

점등구간에서의 집어울의 변화

제2 실험인 4가지 광원에 대하여 1분 간격으로 30분간 점등구간을 조사한 집어울은 시간의 경과에 따른 집어울의 변화로 Fig. 8과 같이 나타내었다.

조명시간이 경과함에 따라 점등구간의 집어울은 완만하게 증가하는 경향을 나타내었다. 광원별로는 적색 광원 하에서 집어울은 약 5분까

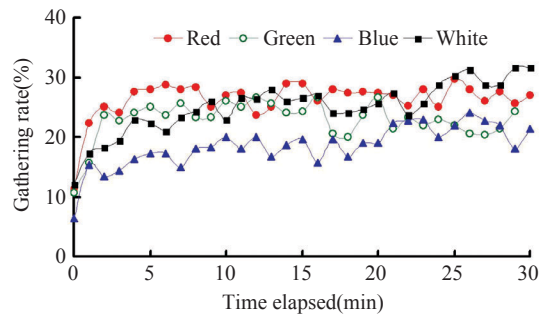


Fig. 8. Variations of gathering rate in the lighting section(A₀ + A₁) of the tank as illuminating time elapsed.

지 증가한 이후 거의 안정되는 경향을 보였고 녹색광원 하에서도 약 5분 까지 증가한 이후 거의 안정되다가 약 16분 이후 약간 감소하는 경향을 보였다. 청색광원 하에서는 집어울이 가장 낮지만 시간경과에 따라 약간 증가하는 경향이며, 백색광원 하에서는 시간경과에 따라 증가하였으며 실험시간 25 - 30분에서 집어울이 가장 높았다. 따라서 백색광의 집어효과가 다른 색광보다 크다고 판단된다.

고 찰

어류가 집어등 아래에 머무르는 현상을 Inoue(1978)는 색이군집설 또는 성군설로 설명하고 있다. 색이행동, 성군행동에 필요한 최저 조도는 어종에 따라 다르지만 시각생리학적 연구에 의하면 $10^{-2} - 10^{-3}lx$ 정도라고 한다(Inoue, 1972). Choi(2007)는 오징어 채낚기 어장에서 살오징어의 주요 어획수심의 수중조도가 $10^{-1} - 10^{-3}lx$ 의 범위라고 하였다. 또한 Choi and Arakawa(2001)는 집어등 80 - 360kw의 조건에서 살오징어 군이 밀집하여 분포하고 있는 수중조도는 평균 $3.0 \times 10^{-2} - 3.4 \times 10^{-4}lx$ 의 범위라고 하였다. 살오징어가 분포하는 수심 30 - 70m의 수중방사조도는 510nm의 파장에서 $1.8 \times 10^{-2} - 5.4 \times 10^{-4} \mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$ 라고 한다(Arakawa et al., 1998). 한편, 오징어는 광이 직접 비추는 영역을 회피하는 것으로 알려져 있으나(Ogura, 1972; Choi, 2007), 본 연구와 같이 낮은 조도를

구현할 경우에는 광원구간(Fig. 5, 7)에 잘 모이는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구의 광자극 조건인 광원하 0.05lx의 수중조도는 살오징어 주 어획수심의 조도 분포범위에 포함되고 호적조도(Inoue, 1978)라고 할 수 있다.

일반적으로 직사각형 수조에서의 자극전 어류의 구간분포는 양쪽 끝 구간에 모이는 경향을 나타낸다(Yang, 1980; 1981; 1988). 본 연구에서도 암흑상태에서 양쪽 끝 구간에 많이 분포하는 U형 경향을 나타내었다(Fig. 4). 그럼에도 불구하고 지금까지 많은 연구자들은 직사각형 수조를 이용한 끝 구간에서의 집어율을 조사하였으며(Imamura, 1968a; b; Yang, 1980; 1981; Bae et al., 2008), 수조한 쪽에서 광자극을 가함에도 불구하고 자극전의 구간분포와 유사한 U형 또는 V형 경향을 나타내었다(Kawamoto and Nagata, 1952; Yang, 1980; 1986). 이것은 자극원과 관계 없이 어류가 수조의 양쪽 구간, 즉 구석진 곳으로 모이는 습성이 있는 것으로 파악된다(Yang, 1986; 1988). 본 연구에서도 양단구간의 장벽은 실험어의 은신처 역할 또는 수조 벽에 계속해서 부딪치는 행동으로 보아 유영장에 역할을 하였기 때문이라고 생각된다. 따라서 수조 끝 구간에서의 집어율 조사는 회피하는 것이 적절하다고 생각된다. 또한, 광에 대한 어류의 선호도 조사에서 광자극의 세기는 대상어종의 호적조도를 고려해야 하지만 대부분 저조도인 관계로 조사하기가 어렵기 때문에 실험하기 쉽고 주광성이 약한 어종을 선택한다든지(Yang, 1980; 1981) 강한 광 자극을 사용하였다(Bae et al., 2008). 어류의 구간분포조사에서도 1명 이상이 수조부근에서 행하므로(Yang, 1980; 1986; 1988, Bae et al., 2008) 어류행동에 영향을 미칠 수 있고 개인오차가 발생할 수 있다.

한편, 청색광과 녹색광은 해수의 수중투과특성에서 우수하며(Jerlov, 1976), 오징어의 시각이 가장 민감하게 반응하는 최대시감도 파장(470 - 500nm)이다(Seidou et al., 1990; Arimoto

and Inada, 2003). Choi(2006)는 집어등으로서의 사용가능성이 높은 LED 색광은 수중투과력이 높은 청색, 청녹색, 녹색 및 백색 순이라 하였고, Imamura(1968a; b)도 청색, 청백색, 주광색, 녹색의 순으로 어류를 유집하는 효과가 높을 것이라고 하였다. Bae et al.(2008)는 살오징어가 청색광에서 가장 민감한 반응을 보이며 청색광과 청색광의 특성을 가진 백색광에서 집어가 잘 되고 적색광과 황색광에서는 오히려 기피행동을 한다고 하였다. 따라서 일반적으로 오징어의 시감도가 높은 파장인 청색계통이 집어율이 높을 것으로 생각할 수 있다. 본 연구에서는 대부분의 연구자와 같이 광원을 수조 한쪽 끝에 설치한 제1 실험에서(Fig. 5, 6) 실험어가 선호하는 LED 색광은 청색, 백색, 녹색, 적색의 순으로 나타났는데, 이러한 결과는 위에서 언급한 결과와 유사하다. 그러나 수조 벽의 영향이 거의 없는 광원을 수조 중앙에 설치하였을 때의 실험어의 구간분포는 가운데에 많이 모이는 경향으로 적색광과 백색광의 집어율이 녹색광과 청색광보다 오히려 높았다(Fig. 7, 8). 오늘날 어업현장에서 적색광은 풍치 봉수망 어획과정의 최종단계에 집어된 어군을 부상시키기 위하여 사용하는 것과 같이(Miyazaki, 1971) 좁은 범위에서는 집어효과가 있다(Fig. 7). 그렇지만 적색광은 흡수율이 높기 때문에 수십 미터까지 광자극의 효과를 얻기 어렵고 태국의 오징어와 어류를 대상으로 한 조업에서 적색광을 이용하는 것과 같이(Kawamura, 2000), LED 집어등 조업과정에서 제한적으로 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 백색광은 오늘날 오징어 채낚기 선박에서 사용 중인 집어등 색으로, 본 연구결과에서도 집어능력이 우수한 것으로 판단된다. 그러나 청색광과 녹색광은 일반적으로 알려진 것과 같이 수중투과성이 우수하고 실험어의 시감도가 우수한 빛이지만, 본 연구 결과와 어업현장에서와 같이 살오징어가 가장 선호하는 색광이라고 단정할 수 없는 것으로 생각된다.

이상과 같이 실험어의 상태, 광자극의 세기, 직사각형수조의 장벽효과 고려여부, 적절한 관찰장비 사용여부 등의 실험방법에 따라 연구결과가 달라질 수 있으며, 이것이 현장에서의 조사 결과 차이로 연결되므로 본 연구결과도 앞으로 조업현장에서 확인할 예정이다. 또한 현장조업이 광자극의 음영조건에서 행하여지므로 실험실에서도 동일한 조건하에서 색광별 반응을 조사하여 본 실험결과와 실험어의 색맹인 것을 고려한 종합적인 선호색광을 검토할 필요가 있고 LED색광에 대한 실험어의 행동반응을 좀 더 알기 위해서는 실험어 눈의 명순응 정도를 파악하는 생리학적 연구도 필요하다.

결 론

4가지 LED 색광에 대한 살오징어 *Todarodes pacificus*의 행동양상을 구명하고자 실험수조에서 암흑상태에서의 개체분포, 광원 위치에 따른 개체분포와 조명시간에 따른 집어율의 변화를 조사하였다. 특히 지금까지 완전 암실상태에서 어류의 행동을 관찰하기는 거의 불가능하였는데 본 연구에서는 원격 제어할 수 있고 어류행동에 장애를 주지 않는 행동관찰용 특수 카메라시스템과 실험어의 활어유지를 위하여 냉온수온 조절장치를 비롯한 유수식의 적정수질관리시스템을 마련하여 행하였다. 그 결과, LED 광 자극이 없는 암흑상태에서 실험어의 개체분포는 조사 시간간격 1분, 3분과 관계없이 양단구간에 많이 모이는 U자형을 보였으며, 수조양단은 실험어 행동에 장벽의 역할을 한다고 판단된다. 수조의 한쪽 끝 구간에서 광 자극을 가하였을 때 점등구간에 모이는 개체수는 청색광에서 가장 많았고 다음은 백색광이고 적색광이 가장 적었다. 또한 조명시간에 따른 집어율의 변화에서도 청색광과 백색광이 집어효과가 큰 것으로 나타났다. 그러나 수조의 중앙구간에서 광 자극을 가하였을 때 점등구간에 모이는 집어율은 적색광과 백색광이 녹색광과 청색광보다 높았다. 또한 점

등구간에 대한 집어율의 변화에서도 백색광과 적색광이 높은 집어율을 나타내었다. 이들의 결과로부터 실험어가 광자극과 관계없이 실험수조 양단에 많이 모이고, 집어율이 높은 색광은 광자극원의 수조위치에 따라 다른데, 수조중앙구간에서의 결과를 보다 더 신뢰할 수 있음을 알 수 있었다. 특히 어류의 주광성과 관련하여 대상어에 대한 적정 광 자극 세기와 이에 따른 관찰시스템의 중요함을 알 수 있었고 앞으로 LED 집어등을 개발하는데 필요한 기초자료가 될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 지식경제부 에너지 지원기술 개발사업 중대형과제(2007 - E - CM11 - P - 13 - 0 - 000)로 수행되었으며, 본 연구 수행에 도움을 주신 강원도립대학 수산과학연구소 장웅정 초빙연구원과 해양경찰과 김봉수군에게 고마움을 표한다.

참고문헌

- Arakawa, H., S.J. Choi, T. Arimoto and Y. Nakamura, 1998. Relationship between underwater irradiance and distribution of Japanese common squid under fishing lights of a squid jigging boat. *Fisheries Science*, 64, 553 - 557.
- Arimoto, T., 1991. Fish behaviour control by use of light. *Fisheries Engineering*, 28, 71 - 76.
- Arimoto, T. and H. Inada, 2003. The world of common squid. Seizando-shoten Publishing Co., LTD., Tokyo, pp. 217 - 221.
- Bae, B.S., E.C. Jeong, H.H. Park, D.S. Chang and Y.S. Yang, 2008. Behavioral characteristic of Japanese flying squid, *Todarodes pacificus* to LED light. *J. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 44, 294 - 303.
- Choi, S.J. and H. Arakawa, 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(6), 624 - 631.
- Choi, S.J., 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.
- Choi, S.J., 2007. Rationalization of the light power output on small-size squid jigging boat. Ph.D. Thesis. Tokyo Univ. of Fisheries., pp. 232 - 238, 239 - 252.
- Hamabe, M., 1964. Study on the migration of squid(*Ommastrephes Sloani Pacificus Streenstrup*) with reference to the age of the moon. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 30, 209 - 215.
- Imamura, Y., 1968a. Etude de l'effet du feu dans la pêche et de son opération(III). La mer, 6, 26 - 44.
- Imamura, Y., 1968b. Etude de l'effet du feu dans la pêche et de son opération. La mer, 6, 32 - 44.
- Inada, H. and M. Ogura, 1988. Historical changes of fishing light and its operation in squid jigging fisheries. The report of the Tokyo university of fisheries, 24, 189 - 207.
- Inada, H. and T. Arimoto, 2007. Trends on reseach and development of fishing light in Japan. J. Illum. Engng. Inst. Jpn., 91(4), 199 - 209.
- Inoue, M. 1972. Reaction of fish toward the light. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 38(8), 907 - 912.
- Inoue, M., 1978. Fish behaviour and Fishing method. Kouseisha-kouseikaku, Tokyo, pp. 83 - 100.
- Jerlov, N.G. 1976. Marine optics. Elsevier Sci. Pub. Co., Amsterdam. pp. 127 - 150.
- Kawamoto, N.Y. and S. Nagata, 1952. On the relation between light gradient and fish behavior. Report of Faculty of Fisheries, Prefectural University of Mie, 1, 152 - 173.
- Kawamura, G., 2000. Competition for wisdom with the fish. Seizando-shoten Publishing Co., LTD., Tokyo, pp. 136 - 140.
- Miyazaki, C., 1971. Modern fishing gear of the world 3. Kristjonsson, H. ed. Fishing News Books LTD., London, pp. 165 - 167.
- Murata, M., 1983. On the distribution and the behavior under fishing lamps of young Japanese common squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup, in the offshore waters of northern Japan during spring and early summer. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab., 48, 37 - 52.
- Ogura, M., 1972. Squid fishing and light. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 38, 881 - 889.
- Seidou, M., M. Sugahara, H. Uchiyama, K. Hiraki, T. Hamanaka, M. Michinomae, K. Yoshihara and Y. Kito, 1990. On the three visual pigments in the retina of the firefly squid, *Watasenia scintillans*. J. Comp. Physiol, A166, 769 - 773.
- Suzuki, T., H. Inada, K. Iida and M. Akabane, 1985. Utilization efficiency of shades used with attraction lamps for squid fisheries. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 36, 69 - 77.
- Yang, Y.R., 1980. Phototaxis of filefish, conger eel and crucian carp. Bull. Korea Fish. Tech. Soc., 13, 1 - 13.
- Yang, Y.R., 1981. Response of conger eel to the colored lights. Bull. Korea Fish. Tech. Soc., 21, 1 - 6.
- Yang, Y.R., 1986. Response of rock trout to the white lights. Bull. Korea Fish. Tech. Soc., 22, 56 - 60.
- Yang, Y.R., 1988. Response of striped puffer to the white lights. Bull. Korea Fish. Tech. Soc., 24, 144 - 149.
- Yang, Y.R., 1995. Response of squid, *Todarodes pacificus* to the attraction lamp. Fisheries researches, 9, 25 - 30.

2009년 7월 14일 접수

2009년 8월 17일 1차 수정

2009년 8월 17일 수리