

LED 색광의 음영구역에 대한 살오징어의 행동반응 및 LED 집어등의 어획성능

안영일* · 정학근¹

강원도립대학 해양경찰과, ¹한국에너지기술연구원

Catching efficiency of LED fishing lamp and behavioral reaction of common squid *Todarodes pacificus* to the shadow section of color LED light

Young-II AN* and Hak-Geun JEONG¹

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

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

This study made a comparative analysis of behavioral reaction of squid to red (624nm), green (524nm), blue (460nm) & white LED light, its arrival time for the shadow section by making the shadow section in the central section of a water tank just like the bottom part of a squid jigging vessel, and on-site catching efficiency of LED fishing lamp with control fishing vessel. The color LED light showing the highest squid-gathering rate as against the shadow section was found to be blue LED light with 39.3% rate under the dark (0.05lx) condition. Under the brighter condition than 0.05lx, white LED light was found to have the highest gathering rate of 41.5%. In addition, it was found that squid gathering rate was high at the shadow section which showed 6.3-fold brightness difference between the shadow section and bright section. As for the arrival time for the shadow section, blue LED light was found to be the fastest in attracting squids in 192.7 seconds under the dark condition while the red LED light was the fastest in luring squids in 164.6 seconds under the bright condition. The ratio of the squid-jigging operation and sailing in fuel consumption of the fishing vessel loaded with LED fishing lamp is about 7 to 1, showing most of the fuel is consumed more in sailing than in squid-jigging operation. As for a catch of squid, the control vessel loaded with MH (Metal Halide) fishing lamp had more catch of 600-7,080 squids than the vessel loaded with LED fishing lamp having a catch of 260-1,700 squids. In addition, even in the comparison of a catch per automatic jigging machine, the catch of the vessel loaded with MH fishing lamp excelled that of the vessel loaded with LED fishing lamp in 6 operations of squid jigging out of 9 operations. The ratio of hand-jigging and automatic jigging machine (one

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

line) in the LED fishing lamp vessel was 1:1.1 excepting the case of having a catch only using an automatic jigging machine, showing almost the same with each other in catches, while in case of a MH fishing lamp vessel, its ratio against hand-jigging was 1 to 5.8, showing hand-jigging excelled in catches.

Keywords: Catching efficiency, LED fishing lamp, Behavioral reaction, Shadow section, Common squid, Color LED light

서론

저탄소 녹색정책으로 에너지 절감형 산업운동이 전개되고 있는 가운데 어업분야에 LED 집어등(LED燈)의 도입은 어업경영상의 관점뿐만 아니라 지구온난화의 대책으로도 중요한 과제로 대두되고 있다. 우리나라에서 집어등을 사용하는 대표업종인 오징어 채낚기는 최근 유류소비량을 줄이기 위하여 메탈헬라이드 집어등(MH燈)의 광력제한을 더욱 강화하였으며, LED燈에 대한 관심도 크다고 할 수 있다.

오징어와 같은 두족류는 대부분 야행성으로 주간은 깊은 곳에 머물러 있고 야간은 얕은 곳으로 부상해서 색이활동을 한다(Okutani, 1992). 그래서 오징어채낚기의 조업은 주로 야간에 행하며, 오징어는 밝은 곳보다 오히려 어선에 의해 음영이 된 곳으로 모이는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 음영영역에 모이는 행동으로 오징어가 빛 자체에 이끌려서 밝은 곳으로 모이게 되는가에 대해서는 논의의 여지가 있다(Okutani, 1992). 어류가 빛에 모이는 메커니즘 6가지 중에 불빛에 모인 먹이를 먹기 위해서 모인다는 색이균집설과 대상어류가 좋아하는 밝기가 있어서 그 광역에 어류가 모인다는 호적조도설 등이 있다(Inoue, 1978). 그러나 대부분 수조실험에서는 관찰조사의 어려움으로 실험어의 호적조도보다 높은 광 조건에서 실험을 하게 되고 이로 인하여 결과에도 어떤 영향을 미칠 수 있다. 前報(An et al., 2009)에서는 오징어가 주로 어획되는 수심의 밝기를 호적조도라 판단하고 수조실험에서 그 조건을 만들어 LED 색광에 대한 오징어의 행

동반응을 조사하였지만 음영구역에 대한 집어상태를 파악할 필요가 있었다. 또한 Shikata(2010)는 시험조업에 의한 실용화연구뿐만 아니라 유집기구나 LED광에 의한 행동에 대하여 기초연구가 불가결하다고 보고하였다.

한편, 오징어 채낚기어업에서의 MH燈은 국내에서 1.5kW, 일본에서 3.0kW를 사용하고 있으며, 많은 에너지를 소비하고 있다. 이러한 MH燈의 문제점을 해결할 일본의 LED燈의 개발에 대한 연구가 2001년부터(Inada and Arimoto, 2007), 국내에서는 2006년부터 행하고 있지만 아직까지 오징어 집어등으로서 실용화하는 것에는 LED燈의 기술적인 부분, 어획성능, 가격 등의 여러 가지 문제점이 있다. 수중 LED燈(Takahashi et al., 2011)을 비롯한 LED燈의 성능에 관한 연구는 Bae et al. (2009), Yamashita et al. (2011), Inada (2011), Sakai (2011) 등이 있다. 이들 연구에서는 패널형태와 유사한 LED燈을 기존 집어등인 MH燈과 병용사용을 목표로 하고 있다. 그러나 LED燈의 장점인 유류절감과 실용화를 높이기 위해서는 병용이 아닌 단독으로서의 어획능력이 어느 정도 되는지를 파악할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 실제 조업 현장에서 오징어채낚기 어선의 선저 부분, 즉 음영영역에 오징어가 모이는 현상을 고려하여, 수조에서의 LED 음영구역에 대한 행동반응과 도착시간을 조사하여 LED燈 개발에 기초자료로 활용하고자 하였다. 또한 LED燈만을 사용하여 어획성능을 조사한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

수조실험

실험은 2008년 9-12월의 46일간 강원도립대학 실험실에서 행하였고, 실험어는 채낚기어선으로 어획된 살오징어 *Todarodes pacificus* 로서 실험수조와 2개의 사육수조에 8시간이상 적응시킨 다음실험에 사용하였으며, 총 마리수는 428마리 이상이었다. 실험어의 외투장은 제 1실험의 경우 평균 24.1cm (18.2-30.4cm), 제 2실험은 평균 24.6cm (20.8-28.3cm)이었다. 실험은 제 1실험과 제 2실험으로 구분되는데, 제 1실험은 LED 광원의 음영구역에 대한 살오징어의 행동반응실험이고 제 2실험은 LED 광원의 음영구역에 도착하는 시간을 조사하는 것이다. 실험수조는 직사각형 (80W×560L×100H cm) 유리수조로서 암실 내에 설치하였는데 그 개략도는 Fig. 1과 같으며, 수심은 70cm로 유지하였다. 제 1실험은 수조를 3구간으로 설정하여 중앙구간에 LED 광원의 음영구역으로 만들었고, 제 2실험은 수조 한쪽 끝구간을 LED 광원의 음영구역으로 만들었고 반대쪽 끝구간은 오징어의 대기구간으로 하였다. 직사각형 수조에서 중앙구간에 집어구간으로 한 연구는 An et al. (2009)외에는 거의 없는 실정이다. 오징어 행동과 수질관리는 前報 (An et al., 2009)와 같이 특수 관찰시스템과 유수식의 적정수질관리시스템을 이용하였다. 실험시의 수온과 염분은 수온계 (Tektronix, DTM 920)와 염분계 (YSI, 30/10FT)로 측정하였으며, 제 1실험은 18.0°C (12.5-21.6°C), 33.3% (31.2-

34.1%), 제 2실험은 14.1°C (13.5-14.7°C), 34.2% (33.8-34.4%) 이었다.

음영구역은 Fig. 1에서 보는 것과 같이 제 1실험의 경우 중앙구간 (A₀), 제 2실험은 한쪽구간에 만들기 위하여 검정아크릴판 (80W×76L×0.5T cm)가운데에 각도 조절이 가능한 V자형의 판을 세우고 판 상단에 LED 광원을 부착하였다. V자형 판의 최대높이는 28cm이고, 각도는 60도이며, 음영구역의 길이는 제 1실험은 수조바닥에서 약 190cm였고 제 2실험은 약 90cm이었다. 광원은 색광으로서 적색 (624nm), 녹색 (524nm), 청색 (460nm), 백색 계열의 4종이다. 제 1, 2실험 모두 음영구역의 밝기는 어두운 조건과 밝은 조건의 두 가지인데, 어두운 조건은 음영구역의 밝기가 前報 (An et al., 2009)의 조건과 같이 0.05lx의 호적조도 (Inoue, 1978; Arakawa et al., 1998)가 되도록 각 광원의 전기적 입력을 조정하였다. Fig. 1의 A₁구간 중앙의 평균밝기는 적색이 0.46lx, 청색이 0.32lx, 백색이 0.50lx이었다. 한편, 밝은 조건에는 각 LED 광원에 동일한 0.3mA 전류를 준 경우로, 밝기가 음영구역 중앙의 수심 50cm에서 조도계 (Minolta, T-10WL)로 측정값으로 적색의 경우 0.18lx, 녹색이 0.39lx, 청색이 0.10lx 그리고 백색이 0.68lx이었다. A₁의 중앙구간의 평균밝기는 적색인 경우 0.84lx, 청색이 0.59lx, 백색이 4.25lx이었다.

실험은 1일 4가지 광원별로 1회씩 총 4회 시행하였다. 제 1실험의 실험 순서는 암실의 실험수조에 적응된 오징어 10마리를 3시간 암순응시킨

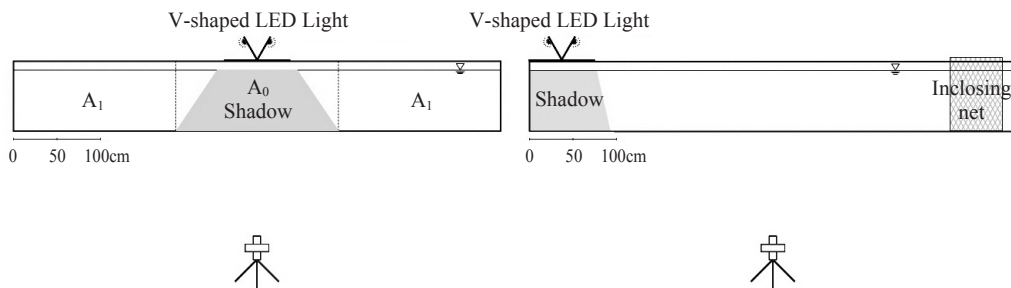


Fig. 1. The apparatus used for gathering of squid at the shadow section (A₀) of color LED light.

다음 선택한 LED 광원을 점등하고 1분 간격으로 구간별 분포조사를 30회 (30분간)에 걸쳐 행하면서 녹화도 병행하였다. 다음 실험부터는 암순응을 1시간 20분 이상 시킨 후 다른 색광에 대하여 동일한 방법으로 시행하였다. 일일 실험순서는 4가지 색광을 순차적으로 변경하고 매일 실험어를 교체하여 각 색광에 대하여 15회 이상 반복 조사하였다.

한편, 제 2실험을 위해서는 음영구역 반대쪽에 실험어 대기용 소형가두리 (60W×58L×85H cm)를 만들었다 (Fig. 1). 실험순서는 제 1실험과 같이 어두운 조건과 밝은 조건에서 먼저 소형가두리 안에 오징어 2마리를 3시간 암순응 시킨 다음 LED 광원의 점등과 동시에 소형 가두리를 제거함으로써 실험어가 광자극원으로 향하도록 하였다. 음영구역에 도착하는 시간은 행동관찰 시스템을 이용하여 가두리 제거시간에서 실험어가 음영구역에 진입하는 순간까지로 하였다. 음영구역에 도착하지 않은 실험어는 관찰시간을 5분간으로 하였기 때문에 도착시간을 5분으로 간주하였다. 이와 같은 실험과정을 실험어와 적색, 녹색, 청색 및 백색의 4가지 색광을 순차적으로 변경하면서 각 LED 색광에 대하여 8회 이상 반복 조사하였다.

현장실험

LED燈을 이용한 시험조업은 2009년 10월 13-28일의 7회와 12월 23-25일 2회로 총 9회 행하였다. LED燈은 육면체의 1/2모양으로 각 면에 50W 급 LED 모듈로 되어 있으며, 무게는 약 3kg이다. 정격 소비전력 150W, 색온도 6,000K와 3,000K의 LED燈을 2:1의 비율로, 총 72개 LED燈 (광력 10.8kw)을 Fig. 2와 같이 강원도립대학 실습선인 해송호 (24톤)에 설치하였다. 오징어 어획시험은 Fig. 3과 같이 동해중부해역과 동해남부해역의 수심 50.5-1,140m에서 행하였다. 어획된 표본 오징어의 외투장은 21.8-25.7cm (평균 24.5cm)이었다.

LED燈은 수평면을 기준으로 30° 하방향으로 비추었고, 실습선의 자동조획기 수는 8대, 승조

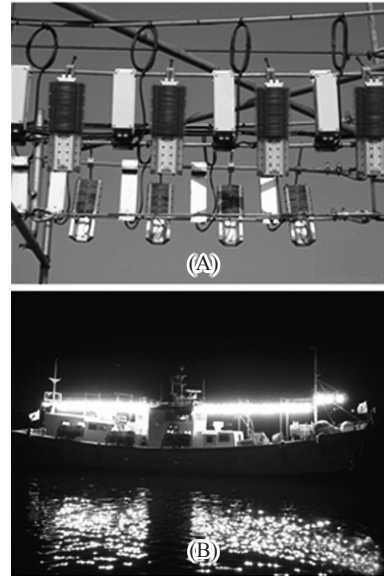


Fig. 2. LED fishing lamp (A) and LED fishing vessel (B).

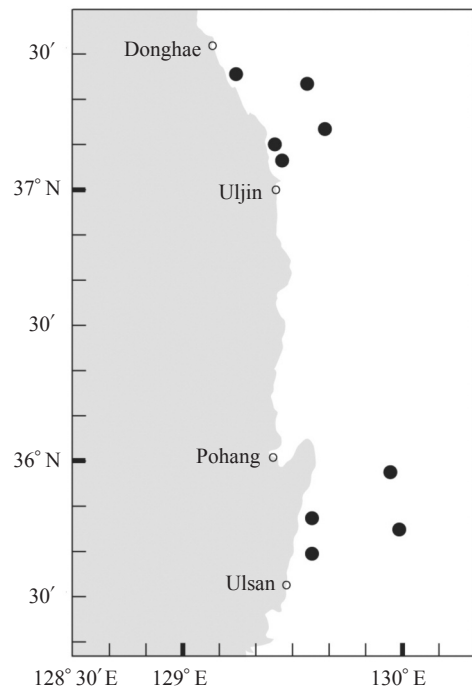


Fig. 3. Location of operation sites for the Haesong-ho squid jigging experiments of 2009 in the East Sea coast.

Table 1. Principal particulars of the research vessels

Items	LED vessel			MH vessel		
	Haeshong-ho	A	B	C	D	E
Gross tonnage	24	29	9.77	29	29	39
Number of crew	3	5	4	5	5	6
Number of automatic jigging machine	8	14	8	14	14	14
Type	LED	MH	MH	MH	MH	MH
fishing lamp Number of lamp	72	80	53	80	80	80
Light power (kw)	10.8	120	80	120	120	120

원은 3명이었다 (Table 1). 어획량과 유류소비량은 연구원이 직접 선박에 승선하여 조사하였으며, 같은 날 조업한 대조 어선 (9.77–39톤)과 어획량을 비교하였다. 유량계는 정밀도가 우수한 것으로 알려진 용적식 유량계인 오벌 (OVAL) 유량계이며, 기관실의 주기와 보기 1대에 각각 1개씩 2개를 설치하였다. 해송호는 주로 오후에 출항하여 일몰 경에 집어등을 점등하여 조업을 개시하고 새벽에 조업을 완료해서 귀항하는 조업을 하였다.

Table 1과 같이 MH燈으로 조업하는 대조어선은 A–E의 5척은 광력이 80kw 이거나 120kw이며 해송호로부터 1.5–2.0마일 떨어져 조업하는 선박으로써 자동조획기 수는 8 또는 14대이며 승조원은 4–6명이었다.

한편 12월의 2회 시험 조업에서는 겨울철 100m 이상의 깊은 수심에 있는 오징어군을 대상으로 어획하기 위하여 LED燈은 수평면을 기준으로 40° 하방향으로 하였다.

결 과

음영구역의 집어율

제 1실험인 수조중앙구간인 음영구역에 대한 실험어의 집어율을 Fig. 4에 나타내었다. 어두운 (0.05lx) 조건에서 실험어는 수조 중앙구간인 LED 광원에 의해 생성된 음영구역에 실험어가 모이는 경향을 나타내었다. 음영구역의 집어율은 적색 LED 광인 경우 33.0%이고 녹색은 37.7%, 청색은 39.3%, 백색은 36.0%로, 청색

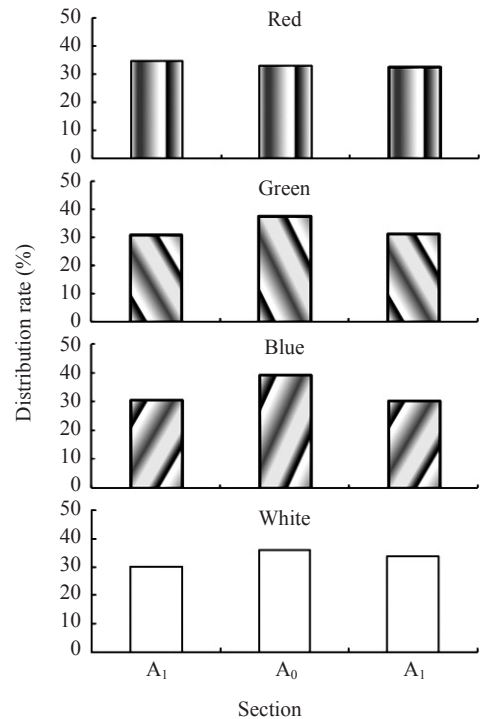


Fig. 4. Distribution of gathering rate in shadow section (A₀) and other section (A₁) under the dark conditions (0.05lx at 50cm depth of shadow section).

LED 광의 음영구역에 집어율이 가장 높았으므로 집어효과가 좋다고 할 수 있다.

음영구역에 대한 조명시간에 따른 집어율의 변화는 Fig. 5와 같다. 집어율의 변화는 색광별로 뚜렷하지 않았으나 약간 증가하는 경향을 나타내었으며, 약 14분 이후부터는 청색의 집어율이 다른 색광의 경우보다 높아지는 경향을 나타

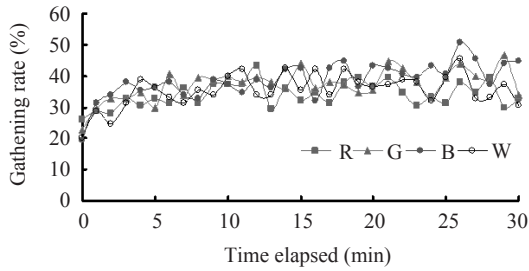


Fig. 5. Variation of gathering rate in the shadow section (A₀) of the tank as illuminating time elapsed under the dark conditions : (R: Red light, G: Green light, B: Blue light, W: White light).

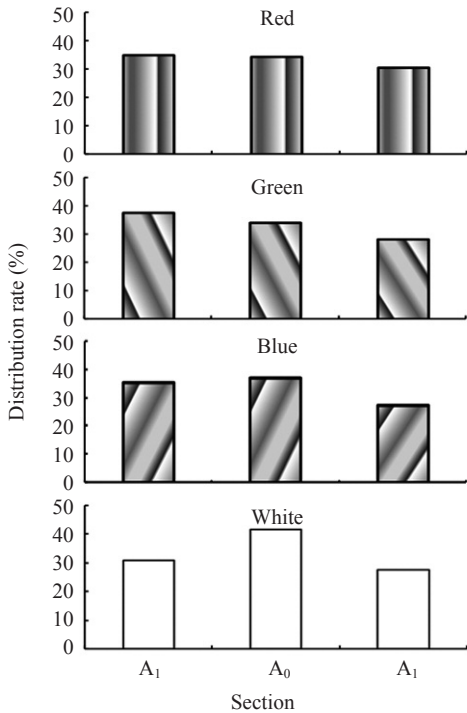


Fig. 6. Distribution of gathering rate in shadow section (A₀) and other section (A₁) under the bright conditions (Red 0.18lx, Green 0.39lx, Blue 0.10lx, White 0.68lx at 50cm depth of shadow section).

내었다.

한편, 밝은 조건에서의 음영구역에 대한 실험어의 행동반응은 Fig. 6에 나타내었다. 수조중앙 구간인 음영구역의 집어율은 적색 LED 광인 경우 34.3%이고 녹색은 34.2%, 청색은 37.2%, 백색

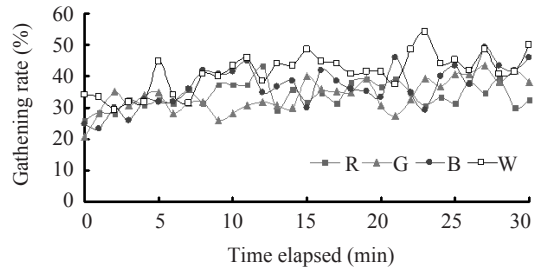


Fig. 7. Variation of gathering rate in the shadow section (A₀) of the tank as illuminating time elapsed under the bright conditions : (R: Red light, G: Green light, B: Blue light, W: White light).

은 41.5%로, 백색 LED 광이 가장 높았다.

밝은 조건에서의 음영구역의 조명시간에 따른 집어율의 변화는 Fig. 7과 같다. 밝은 조건에서는 어두운 조건 Fig. 5보다 색광별로 뚜렷하였고 약간 증가하는 경향이었으며 약 8분 이후부터 백색광의 집어율이 높고 적색광의 집어율이 가장 낮았다.

음영구역에 도착시간

제 2실험인 수조좌측부분의 음영구역에 대한 실험어의 도착시간을 Fig. 8에 나타내었다. LED

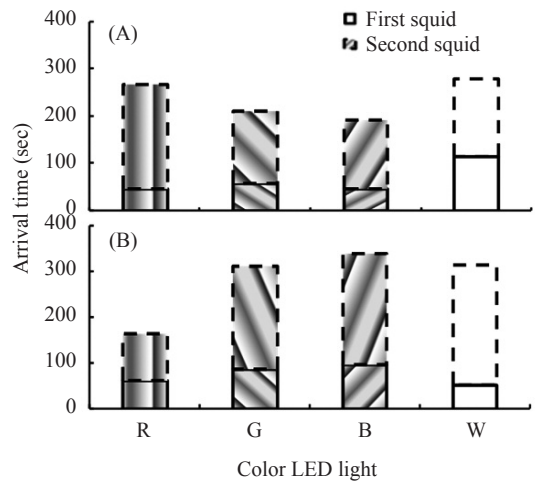


Fig. 8. Arrival time of squid at shadow section under the dark conditions (A) and the bright conditions (B): (R: Red light, G: Green light, B: Blue light, W: White light).

광원을 점등하였을 때 5분 이내 실험어 2마리가 수조 반대쪽으로부터 음영구역에 도착하는 시간을 조사한 것으로, 어두운 조건에서 처음 한 마리 실험어가 음영구역에 도착하는 시간은 2분 이내였으며, 그 중 청색광에서 47.6초 (9.0cm/sec)로 가장 빨랐다. 두 번째 실험어를 포함한 음영구역에 도착하는 총 시간은 청색광이 192.7초로 가장 빨랐고, 다음으로 녹색광 (212.1초), 적색광 (269.5초), 백색광 (281.4초)의 순이었다.

한편 밝은 조건에서의 처음 한 마리 실험어가 음영구역에 도착하는 시간은 97.4초 이내였으며, 그 중 백색 광원에서 51.8초 (8.3cm/sec)로 가장 빨랐다. 두 번째 실험어를 포함한 음영구역에 도착하는 총 시간은 적색광 (164.6초)에서 가장 빨랐고, 다음으로 녹색광 (313.5초), 백색광 (315.2초), 청색광 (338.7초)의 순이었다.

현장실험

LED燈을 설치한 해송호의 오징어 어획시험

조업 과정에서의 연료소비량을 Table 2에 나타내었다. 연료소비에는 어장으로 이동하는 항해하는 경우와 조업하는 경우로 나눌 수 있다. 조업시간이 6-14.67시간인 상태에서 연료소비 비율은 항해 71.6-94.0% : 조업 6.0-28.4%, 약 7:1의 비율로 항해에서 대부분 연료를 소비하였다.

Table 2. Fuel consumption of the voyage and LED lighting of vessel, Haeshong-ho

Date	LED vessel		
	Haeshong-ho		
	Fuel consumption (l)		Operation hours
Voyage	LED lighting		
10.13-10.14	250(81.2%)	58(18.8%)	13
10.14-10.15	136(71.6%)	54(28.4%)	12.75
10.15-10.16	421(94.0%)	27(6.0%)	6
10.23-10.24	-	-	12
10.24-10.25	-	-	7.17
10.26-10.27	254(84.9%)	45(15.1%)	10.75
10.27-10.28	697(92.4%)	57(7.6%)	12.83
12.23-12.24	520(84.0%)	99(16.0%)	14.67
12.24-12.25	317(79.4%)	82(20.6%)	11.92

Table 3. Number of squid caught on the automatic jigging machine and hand line fishing of two different fishing lamp vessel, LED vessel and MH vessel in 2009

Date	LED vessel						MH vessel												
	Haeshong-ho			A			B			C			D			E			
	AJM	HF	Total	AJM	HF	Total	AJM	HF	Total	AJM	HF	Total	AJM	HF	Total	AJM	HF	Total	
10.13-10.14	260	0	260	410	560	970													
10.14-10.15	1,180	220	1,400				1,000	2,000	3,000										
10.15-10.16	280	30	310				240	360	600										
10.23-10.24	280	20	300							8,400	0	8,400							
10.24-10.25	540	60	600							3,400	0	3,400	3,400	0	3,400				
10.26-10.27	320	120	440							5,000	0	5,000	6,000	0	6,000				
10.27-10.28	900	300	1,200													4,900	0	4,900	
12.23-12.24	1,500	200	1,700							4,240	2,840	7,080							
12.24-12.25	880	100	980							2,980	1,980	4,960							

AJM: Automatic jigging machine, HF: Handline fishing, MH: Metal halide

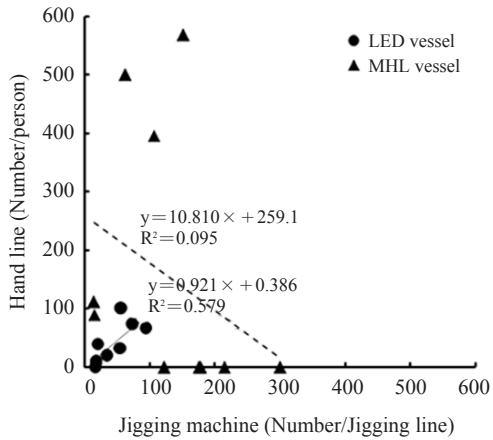


Fig. 9. Comparison of catch in number between hand line and automatic jigging machine in the LED vessel and MH vessel.

LED燈 선박인 해송호와 해송호 부근에서 MH燈 선박으로 조업하는 대조어선의 오징어 어획량을 Table 3에 나타내었다. 어획량에는 손낚시와 자동조획기에 의한 어획량으로 구분하였다. LED燈 선박에 의한 어획량은 최소 260마리에서 최대 1,700마리로 어획량 변동은 컸다. 대조선박인 MH燈 어선의 경우도 최소 600마리에서 최대 7,080마리로 어획량의 변동이 컸다. 어선은 보통 가을 및 겨울철에 어획량이 많을 경우 자동조획기만으로 어획한다. 자동조획기만으로 어획한 경우를 제외한 손낚시와 자동조획기의 어획마리비율로서 LED燈 선박은 평균 1:7.5로 자동조획기로 많이 어획하였다. MH燈 A 선박은 1.4:1, B 선박은 2:1과 1.5:1로 손낚시로 많이 어획하였고 C 선박은 1:1.5로 자동조획기로 많이 어획하였다.

Fig. 9는 1인당 손낚시와 자동조획기 1 낚싯줄의 어획마리수를 나타내고 있다. LED燈 선박의 어획량은 손낚시와 자동조획기에서 100마리 이하지만 MH燈 어선의 어획량은 손낚시로 568마리, 자동조획기로 300마리까지 어획하였으며, LED燈 선박보다 MH燈 어선의 어획량이 높았다. Table 3과 같이 어획과정에서 손낚시뿐만 아

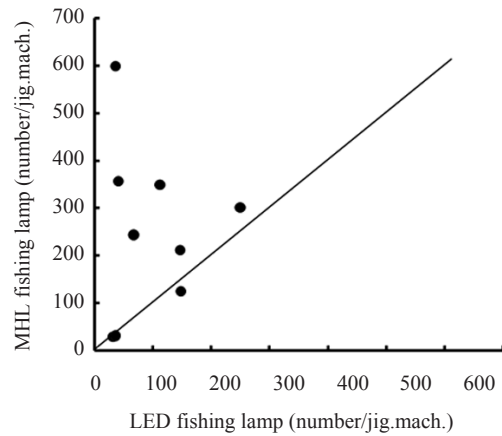


Fig. 10. Comparison of catch in number between LED fishing lamp and MH fishing lamp.

니라 자동조획기와 함께 어획한 경우에 LED燈 선박은 1:1.1로 손낚시와 자동조획기가 거의 비슷하였으나 MH燈 선박은 5.8:1로 손낚시가 많았다.

한편, LED 선박의 경우는 실습선인 관계로 승선원이 손낚시에 익숙하지 않을 뿐만 아니라 어선과 같이 지속적으로 어획하지 않는다. 그래서 LED燈 선박과 MH燈 어선의 자동조획기 1대당 어획량을 Fig. 10과 같이 비교하였다. 9회 조업에 있어서 LED燈 선박의 어획량이 MH燈 어선과 비슷한 경우가 2회, 조금 많이 어획된 경우는 1회였으며 그 외 6회의 조업에서는 MH燈 어선의 어획량이 많았다.

고 찰

어류의 주광성에 대해서는 옛날부터 보고되어 왔고 수조실험에서 수조좌우구간을 집어구간으로 설정하여 조사함으로써 실험어가 중앙구간보다 많이 모이는 경향을 나타내었는데 이것은 주광성 행동에 구석진 곳을 선호하는 벽의 효과가 포함된 것이라 생각된다 (Yang, 1988; An et al., 2009). Bae et al. (2008)의 연구결과에서도 오징어가 수조 좌우구간에 모이는 U형을 나타

내었다. 또한 광자극이 없는 암흑조건의 구간분포도 U형을 나타내었다 (An et al., 2009). 한편, 오징어는 주광성이 있지만 밝은 곳보다는 호적조도의 곳에 모이는 것으로 알려져 있다 (An et al., 2009). 본 연구에서도 Fig. 4에서 Fig. 7과 같이 중앙구간을 호적조도의 음영구간이 되도록 LED 광자극을 주었을 때 집어가 된다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 수조중앙구간에 집어됨을 알 수 있었던 것은 실험어의 호적조도 조건과 특수 관찰시스템 등을 효과적으로 활용한 결과라고 사료된다. LED광의 집어율은 어두운 조건에서, 즉 경계구분이 상대적으로 뚜렷하지 않은 음영구역 (A_0)과 밝은 구역 (A_1)과의 밝기 차이가 6.4배인 청색광이 가장 높았고, 밝은 조건에서는 즉 경계구분이 비교적 뚜렷한 음영구역 (A_0)과 밝은 구역 (A_1)과의 밝기 차이가 6.25배인 백색광이 가장 높았다. 따라서 음영구역과 밝은 구역의 밝기차이가 약 6.3배가 되는 수심에서 채낚기선박 밑에 오징어가 잘 모일 것이라고 추측된다. 음영구역의 도착시간에서는 어두운 조건에서 청색광이, 밝은 조건에서는 적색광과 백색광이 우수하였다. 따라서 오징어를 채낚기 선박 밑으로 유도하기 위한 방법으로 선박으로부터 멀리 떨어진 오징어를 대상으로 할 경우, 시감도가 높은 청색 LED燈을 이용하고 어느 정도 광원에 접근한 오징어를 대상으로 할 경우, 백색 LED燈이 효과적일 것이라 생각된다. Bae et al. (2008)는 적색광과 황색광에 대하여 오징어가 기피한다고 보고 하였지만 Fig. 8과 같이 밝은 조건에서의 음영구역에 도착하는 시간은 적색광이 다른 색광보다 빨랐다. 또한 An et al. (2009)은 수조 중앙구간에 위치한 적색광에 가장 집어율이 높았다고 하였다. 본 연구에서의 Fig. 4, 6과 같이 실험어가 적색광에 대하여 반 주광성을 나타내지 않았다. 한편, 공기봉수망의 경우 백색광으로 집어 및 유도하여 최종단계에서 적색광으로 어획한다. 따라서 적색광도 공기봉수망의 경우와 같이 어획과정에서 잘 활용될 수도 있을 것이라

고 생각된다.

보통 오징어채낚기어선의 어획량은 자동조획기만으로 어획한 것으로 알고 있다. 그러나 MH燈 어선의 어획량에서는 임금을 짓가림제로 하기 때문에 Table 3과 같이 손낚시의 어획량이 포함되어 있는 경우도 있고 특히 봄과 여름철의 오징어 어획에는 손낚시의 어획량이 많은 것으로 알려져 있다. Table 3과 같이 어획량의 변동폭에 미치는 요소에는 어장선택, 자동조획기의 수, 선원 능력, 집어등의 광력 및 파장, 오징어의 성장 단계 및 공복정도 등의 내부적 환경, 수온과 투명도 및 달빛 등의 외부적 환경 등이 있다. 따라서 본 연구 같이 LED燈의 어획성능을 파악하기 위해서는 단순히 MH燈 어선의 어획량비교 뿐만 아니라 좀 더 여러 조건을 고려할 필요가 있다고 생각된다. 또한 손낚시는 자동조획기와 같이 지속적으로 어획할 수 없음에도 불구하고 손낚시에 의한 어획량이 총 어획량에 미치는 영향이 큰 것은 자동조획기의 동작방법이나 낚시에 대한 개선이 필요 할 것으로도 생각된다.

오징어채낚기어선의 연료소비량에 대하여 Yamashita et al. (2011)는 MH 50燈 (160kw)과 LED燈 (159kw)을 사용하여 출항에서 귀항까지 소비한 연료소비의 평균치가 966.8l 이고 그 가운데 조업 중의 연료소비량이 597.6l 로 약 60%라고 보고하였다. 또한 LED燈만을 점등한 경우에는 MH 50燈과 LED燈을 병용 사용한 경우보다 1시간당 63%를 절약할 수 있었다고 하였다. 본 연구에서는 연료소비량을 측정 못한 2회를 제외한 총 연료소비량의 평균치는 431l 이었으며 그 가운데 조업 중의 평균 연료소비량이 60.3l 로 약 14%이었다. 따라서 LED燈을 사용하면 조업 중의 연료소비량이 절약되는 것은 분명하지만 어획량이 MH燈 선박과 비교하여 어느 정도 되는가가 실용화의 척도가 될 것으로 생각된다.

LED燈에 의한 어획량은 Fig. 9, Fig. 10과 같이 MH燈의 경우보다 적었다. Shikata (2010)과 Yamashita et al. (2011)는 LED燈이 환경측면에

서는 효과를 기대할 수 있지만 채산성이 맞지 않는다고 보고하였다. 현재까지 국내외 연구에서도 어획량을 높이기 위하여 LED燈과 MH燈을 병용 사용하면서 어느 정도까지 병용할 것인가에 대한 연구가 진행되고 있지만 궁극적으로는 LED燈만을 사용해야 할 것이다. 조사선박의 LED燈의 광력은 대조어선의 MH燈의 광력 80, 120kw보다 약 1/7.4-1/11 수준이지만 평균 어획량 799마리는 대조어선 4,337마리의 1/5.4로 18.4%이었다. 따라서 LED燈만으로도 어획가능성을 알 수 있었지만, 앞으로 선박주위의 고조도 역할과 빛의 확산정도를 높이기 위한 광력증가가 우선되어야 할 것으로 판단된다.

결 론

오징어채낚기 어선의 선저 부분과 같이 수조 중앙구간에 음영구역을 만들어 LED 색광에 의한 오징어의 행동반응, 음영구역에 도착시간 및 현장에서 LED燈의 어획성능을 대조선박과 비교, 분석함으로써 집어율이 높은 LED색광, 유류 소비량, 손낚시와 자동조획기에 의한 어획량, LED燈만으로 어획가능성 등을 정량적으로 평가, 고찰하였다. 먼저 수조실험에서 적색 (624nm), 녹색 (524nm), 청색 (460nm) 및 백색 LED에 의한 중앙구간의 음영구역에 대한 집어율을 조사하였다. 그 결과, 어두운 (0.05lx) 조건에서는 청색 LED광이 집어율 39.3%로 집어효과가 가장 좋았다. 밝은 조건에서는 백색 LED 광이 집어율 41.5%로 가장 집어효과가 좋았다. 음영구역에 도착시간은 어두운 조건에서는 청색광이 192.7초로 가장 빨랐고, 밝은 조건에서는 164.6초로 적색광이 가장 빨랐다. 또한 음영 구역과 밝은 구역의 밝기차이가 약 6.3배인 음영구역에서 집어율이 높았다. 이들의 결과로부터 실험조건이 실험어의 호적조도일 경우 집어가 되고, 오징어채낚기 어선의 음영영역과 밝은 영역의 밝기가 수심에 따라 낮아지게 되는데 그 두 영역의 밝기차이와 호적조도 구역에 따라 집어

효과가 달라질 수 있음을 알 수 있다.

LED燈 선박의 연료소비는 항해 71.6-94.0%와 조업 6.0-28.4%인 약 7:1의 비율로 항해에서 대부분 연료를 소비하였다. 어획량은 LED燈 선박 260-1,700마리보다 대조선박인 MH燈 어선이 600-7,080마리로 많이 어획하였다. 또한 자동조획기 1대당 어획량 비교에서도 9회 조업 중 6회에서 MH燈 어선의 어획량이 많았다. 이들의 결과로부터 어선의 귀항지와 어장간의 거리가 유류소비량에 미치는 영향이 크다는 점과 아직 LED燈만을 사용하여 실용화하기에는 부족함을 알 수 있었다. 한편, 자동조획기만으로 어획한 경우를 제외한 LED燈 선박의 어획비율은 1:1.1로 손낚시와 자동조획기 (1줄)가 거의 비슷하였으며, MH燈 선박의 경우는 5.8:1로 손낚시가 많았다. 손낚시가 자동조획기와 같이 지속적으로 어획할 수 없음에도 불구하고 손낚시에 의한 어획량이 많다는 사실은 자동조획기의 동작방법이나 낚시 (미끼)를 개선하는데 필요한 기초자료가 될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 지시경제부 에너지지원 기술개발 사업 중대형과제 (2007-E-CM11-P-13-0-000) 로 수행되었으며, 본 논문을 위하여 자료 수집과 정리해 준 장웅정 연구원과 강원도립대학 해송호 승조원에게 고마움을 표하는 바입니다. 또한 자료를 제공 해 주신 채낚기 연합회의 어업인과 수산업협동조합 등에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- An, Y.I., H.G. Jeong and B.M. Jung, 2009. Behavioral reaction of common squid *Todarodes pacificus* to different colors of LED light. *J. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 45, 135-143.
- 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.
- 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.
- Bae, B.S, B.J. Park, E.C. Jeong, Y.S. Yang, H.H. Park, Y.Y. Chun and D.S. Chang, 2009. Design and performance evaluation of fish-luring system using the air cooled LED lamp for jigging and angling boat. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 45, 85 – 95.
- Inada, H., 2011. Aim of R&D on LED fishing light. Report of the 2010 annual meeting on squid resources, pp. 12 – 13.
- Inada, H. and T. Arimoto, 2007. Trends on research and development of fishing light in Japan. J. Illum. Engng. Inst. Jpn., 91(4), 199 – 209.
- Inoue, M., 1978. Fish behaviour and fishing method. Kouseisha-kouseikaku, Tokyo, pp. 83 – 92.
- Okutani, T., 1992. The earth of animals 65. Ashi encyclopedia, pp. 158 – 159
- Sakai, T., 2011. Current status and issues on development of LED fishing lights for squid jigging fisheries in Japan. Report of the 2010 annual meeting on squid resources, pp. 4 – 11.
- Shikata, T., 2010. Light fishing: Re-innovation of technology and management. Inada, H., Arimoto, T., Nagashima, N. and Iida, K. ed. Kouseisha-kouseikaku, Tokyo, pp. 121 – 133.
- Takahashi, K., S. Omoji, M. Taniguchi, G. Takayama, H. Yamashita, M. Ogawa and Y. Ochi, 2011. Current status on verification test of the underwater LED light for squid jigging fisheries. Report of the 2010 annual meeting on squid resources, pp. 27 – 45.
- Yamashita, Y., Y. Matsushita and T. Azuno, 2011. Catch and energy-saving performances of LED and metal halide lamps equipped small squid jigging boats. Report of the 2010 annual meeting on squid resources, pp. 22 – 26.
- Yang, Y.R., 1988. Response of striped puffer to the white lights. Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 24, 144 – 149.
-
- 2011년 7월 6일 접수
 2011년 8월 2일 1차 수정
 2011년 8월 4일 수리