

## 수조에서 여러 가지 색광에 대한 멸치의 반응 연구

배봉성 · 조삼광 · 차봉진\* · 박성욱 · 안희춘<sup>1</sup>

국립수산과학원 시스템공학과 · <sup>1</sup>국립수산과학원 동해수산연구소 해역산업과

### The study on the Anchovy's (*Engraulis japonica*) reaction to several light colors in a tank

Bong-Seong BAE, Sam-Kwang CHO, Bong-Jin CHA\*, Seong-Wook PARK and Heui-Chun AN<sup>1</sup>

*Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea*

*<sup>1</sup>Aquaculture Industry Division, East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Gangneung 210-861, Korea*

This study was conducted to develop energy-efficient LED lamps with an excellent fishing performance for an anchovy scoop net by comparing the functions of 6 different lamps- incandescent, blue LED, green LED, white LED, yellow LED and red LED lamp. We used incandescent and red LED lamps only for the initial test and then excluded because those showed the lowest herding capacity. According to the result, yellow LED showed lower herding capacity in comparison with the blue, green and white one. Although the herding performance of the blue, green and white LED was similar in almost tests, herding speed to the each light was different. The anchovies were gathered into the blue LED as the speed of 39.88cm/s that was the fastest. Green LED was the second as the speed of 33.28cm/s. White LED was the slowest as the speed of 26.73cm/s. We will have field tests because we found the result that yellow LED's herding performance was better than green LED's for 5 seconds comparing after starting in some tests.

Keywords: Anchovy, LED, Herding, Scoop net

#### 서 론

집어등은 채낚기, 들망, 봉수망, 선망 어업 등 다양한 어업에서 사용되고 있으며 이중 우리나라

라에서는 오징어와 갈치를 대상으로 하는 채낚기 어업의 어선세력이 가장 크고 집어등도 비교적 큰 광력을 사용하고 있다. 따라서 에너지 절

\*Corresponding author: holdu@nfrdi.go.kr, Tel: 82-51-720-2581, Fax: 82-51-720-2586

감형 집어등에 대한 최근 연구도 채낚기용 집어등에 대하여 우선 진행되고 있으며 에너지 절감형 집어등의 소자로는 대부분 LED가 사용되고 있다. 관련 연구로는 Choi (2006, 2008)가 수조에서 LED 집어등의 방사 및 수중투과특성에 대한 연구를 수행하였고, Bae et al. (2008)가 수조에서 파장이 서로 다른 LED 광원에 대한 살오징어의 행동특성을 비교하는 실험을 수행하였다. LED 집어등을 제작하여 어선에 적용하고자 하는 연구로는 Bae et al. (2009, 2011)이 LED의 발열 문제를 해결하기 위해 공랭식 및 수랭식 LED 집어 시스템을 개발하여 어획성능을 평가하였고, Choi et al. (2010)가 LED 집어등을 제작하여 전력소모량 저감에 관한 연구를 발표한 바 있다.

한편 기존 집어등에 대한 연구로는 An and Choo (1993), Choi (2002)가 오징어 채낚기 집어등의 광출력량과 어획량의 관계에 대하여, Jo et al. (2004)가 콩치 봉수망 집어등 불빛의 수중 투과 특성에 대하여, Inada (1988), Choi and Arakawa (2001) 및 Jo et al. (2006)가 오징어 채낚기 어선 주변의 수중분광방사 조도에 대하여 연구를 수행한 바 있으며 Kim et al. (1999)는 정치망에 집어등을 적용한 연구를 수행하는 등 많은 연구가 있었으나, 채낚기 어업용 집어등에 대한 연구가 대부분을 차지하고 특히 멸치를 대상으로 하는 분기초망 등 들망어업용 집어등에 대한 연구 사례는 거의 없는 실정이다.

현재 멸치 들망어업용 집어등은 주로 메탈헬라이드 램프를 사용하고 있으며 제주도에서 시행하는 멸치 초망어업용 집어등은 과거에는 주로 백열등을 사용하였으나 최근에는 메탈헬라이드 램프를 사용하기도 한다. 들망어업용 집어등에 대한 연구 사례로는 Park et al. (2001, 2002)의 멸치 초망어업용 백열등의 광력에 따른 수중 투과특성 등이 있다. 그러나 기존 집어등은 멸치를 유집하기 위해 최적화된 램프가 아니고 조업 중 작은 충격에도 쉽게 파손되는 등 매우 불편한 점이 있다.

따라서 본 연구는 멸치 들망어업에서 사용되는 집어등을 LED등으로 대체하기 위한 목적으로 멸치 유집에 적합한 빛의 파장을 규명하기 위하여 수조에 기존 집어등과 같이 다양한 파장의 빛을 방사하는 백열등과 5가지 파장(백색, 청색, 녹색, 황색, 적색)의 LED 램프를 설치하고 각 광원에 대한 멸치의 행동반응을 조사하였다. 실험에서는 각 광원에 대한 멸치의 순간적인 선택성, 멸치가 머무르는 지속성과 유집되는 속도 등을 비교, 분석하였으며 본 실험의 결과, 멸치 유집능력이 높다고 판단되는 램프의 파장특성을 멸치 초망용 집어등 개발에 활용할 계획이다.

## 재료 및 방법

본 실험은 2011년 5월 3일과 4일, 경상남도 고흥 연안의 정치망에서 오전 5시 30분경에 멸치 (*Engraulis japonica*)를 어획하여 조업지에서 15분 거리에 있는 실험실까지 이송하여 오전 6시 경부터 실험을 시작하였다. 멸치를 장시간 육상에서 사육하기 어렵기 때문에 순치를 하지 못하였으며, 실험수조에서 산소와 해수를 공급하면 촬영과 실험에 어려움이 있으므로 새로운 해수와 산소를 지속적으로 공급하는 대기수조(L: 1,500×W: 700×H: 400mm)에 실험에 사용할 멸치 500여 마리를 우선 가두고 실험 대상 멸치를 실험수조(H: 250mm, D: 150mm)로 옮기면서 실험하였다. 실험수조는 실험사이에 산소와 새로운 해수를 공급하였다. 실험 및 대기수조의 수온은 5월 3일 실험 시작 시에는 13.9°C이었고 종료 시에는 14.2°C이었다. 또 5월 4일 실험 시작 시에는 13.9°C이었고 종료 시에는 14.1°C이었다.

실험에 사용한 램프는 총 6종으로서 10W의 백열등과 3W의 청색, 녹색, 적색, 황색, 백색의 MR16 LED 램프이다. 백열등과 LED 램프의 용량을 약 1/3 차이로 한 것은 백열등은 360도 전 방향으로 빛을 방사하고 LED 램프는 120도로 방사하기 때문이다. 이들 램프 광원의 파장 특성을

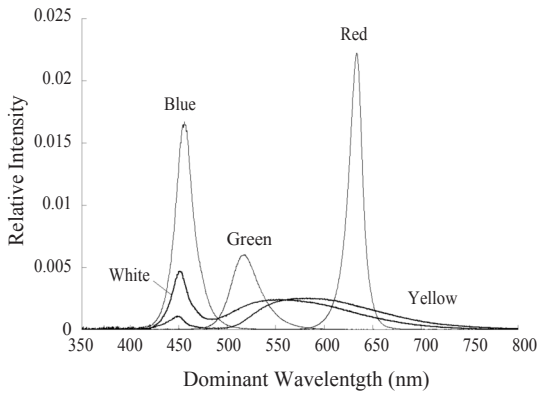


Fig. 1. Wave length and relative intensity of the experimental lamps.

정확히 파악하기 위해 Spectrometer (2DMPP-1024X128-USB/45, Control Development, U.S.A) 와 AC power meter (GPM-8212, Gwinstek, Korea)를 사용하여 파장 및 광출력 (Fig. 1)을 측정하였다. 측정위치는 광원으로부터 1m 떨어진 곳이었다.

실험에 사용된 모두 수조들은 Polycarbonate 재질로서 빛의 반사를 최소화하기 위해 무광의 검은색도료를 칠하였다.

모든 실험에서 멸치의 행동은 수조의 상부에 설치된 캠코더 (Sony, HDR-XR550, Japan)를 이용하여 HD모드로 촬영하였다. 촬영된 영상은 목적에 따라 5초 또는 0.2초 간격으로 캡처하여 그림파일로 PC에 저장하였다.

유영속도를 비교하는 실험에서는 멸치의 유영을 0.2초 간격으로 캡처 한 후, 영상을 다시 하나의 사진으로 겹쳐서 (Startrails Ver. 1.1, www.Startrails.de) 멸치의 이동을 연속적으로 확인할 수 있도록 만들었다. 이때 멸치의 유영속도를 정확히 계산하기 위해 수조의 바닥에 5cm 간격으로 실제 위치의 기준이 되는 흰색 점을 가로 세로 방향으로 찍어 촬영된 화면에서 오차를 수정하는데 이용하였다. 수조바닥의 실제 기준점의 위치와 촬영된 화면의 기준점간의 차이를 이용하는 오차 수정 방법은 공학용 수조의 PIV

(Particle image velocimetry) 실험에서 Particle의 위치를 보정하기 위해 사용하는 방법 (Soloff et. al., 1997)을 응용한 것으로 본 실험에서는 평면의 오차인 X축과 Y축의 오차만을 보정하였다.

실험은 아래와 같이 총 5가지를 실시하였으며 사용한 수조의 평면 규격은 각 실험을 나타낸 그림과 같고 수조의 높이는 모두 25cm이었다. 실험에 사용된 멸치의 수는 실험의 성격에 따라 달리하였다. 각 실험에 사용된 대상 멸치의 계수는 멸치의 특성상 공기 중 노출시간이 활력에 치명적인 영향을 주므로 대기수조에서 실험수조로 이송 시 가능한 공기 노출을 적게 하기 위해 정확한 계수가 어려웠기 때문에 최대 3마리의 오차가 발생하였다.

#### 실험 횟수를 줄이기 위한 실험

멸치는 어획 후 쉽게 활력이 떨어지는 어류이므로 실험의 횟수를 줄여 실험 시간을 단축하기 위해 구집성능이 현저히 약한 램프를 실험에서 배제하는 실험을 실시하였다. 본 실험에서는 총 6가지 램프 (백열등 및 청색, 녹색, 황색, 적색, 백색 LED 램프)에 대하여 Fig. 2와 같이 실험 수조 끝의 원형 수조를 둘로 나누고 30초간 암흑 상태에서 기다린 다음, 비교할 램프를 동시에 켜 후 5초 단위로 각 램프에 유집되어 있는 멸치의 수를 50초까지 계수하였다. 실험동안 멸치를 인위적으로 모으거나 하지 않았고 램프만 바꾸었다. 실험에 사용한 멸치의 수는 약 20마리였으며 각 램프의 빛이 서로 간섭을 받지 않는 공간

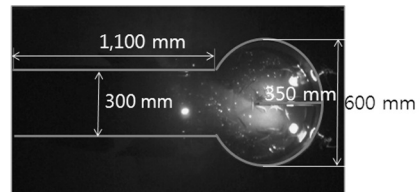
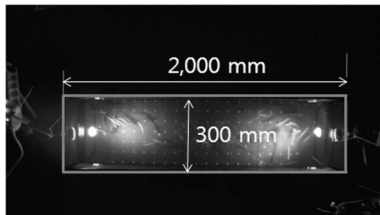


Fig. 2. The experimental water tank and size of the water tank to compare a luring ability of the six lamps (For preparation experiment).

에 들어와 있는 멸치만 유집된 것으로 판단하였다. 이때 멸치는 램프를 설치한 원형 수조에서 벗어나서 반대편으로 마음대로 갈 수 있도록 개방되어 있었다. 각 램프에 유집되었다가 다른 램프로 이동한 경우도 측정시간 대의 유집으로 판단하고 계수하였다.

**유영공간이 부족한 곳에서의 멸치의 불빛 선호도 실험**

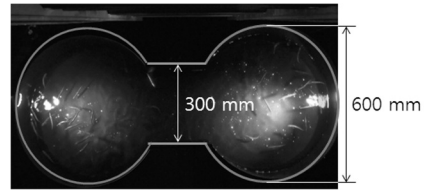
유영공간이 부족한 곳에서의 멸치의 불빛 선호도를 조사하기 위하여 4가지 램프 (청색, 녹색, 황색, 백색 LED 램프)를 유영공간이 부족한 사각수조 (Fig. 3)의 양 끝에 비교할 두 램프를 각각 설치하고 30초 동안 암흑 상태에서 기다린 다음, 양쪽 끝의 서로 다른 램프를 동시에 켜서 5초 단위로 각 램프에 유집되어 있는 멸치의 수를 계수하였다. 멸치의 수는 약 25마리이었으며 각 램프로부터 35cm 거리까지에 들어와 있는 멸치만 유집된 것으로 판단하였다.



**Fig. 3.** The experimental water tank and size of the water tank to compare a luring ability of the LED lamps (At small area).

**유영공간이 있는 곳에서의 멸치의 불빛 선호도 실험**

유영공간이 확보된 곳에서의 멸치의 불빛 선호도를 조사하기 위하여 4가지 램프 (청색, 녹색, 황색, 백색 LED 램프)를 원형수조 (Fig. 4)의 양 끝에 비교할 두 램프를 각각 설치하고 30초 동안 암흑 상태에서 기다린 다음, 양쪽 끝의 서로 다른 램프를 동시에 켜서 5초 단위로 각 램프에 유집되어 있는 멸치의 수를 계수하였다. 멸치

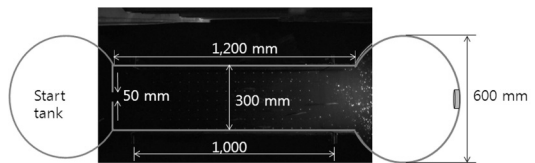


**Fig. 4.** The experimental water tank and size of the water tank to compare a luring ability of the LED lamps (At enough area for swimming).

의 수는 약 30마리이었으며 각 수조에 들어와 있는 멸치만 유집된 것으로 판단하였다.

**불빛을 인지하고 모여드는 멸치의 속도 비교 실험**

불빛을 인지하고 모여드는 멸치의 속도를 조사하기 위하여 한쪽의 원형수조 (Fig. 5)에 4가지 램프 (청색, 녹색, 황색, 백색 LED 램프)를 순차적으로 비추고 반대쪽의 원형 수조에 약 20마리의 멸치를 모아놓은 다음, 멸치가 있는 수조의 입구 중앙에 폭 5cm의 입구를 만들어 놓고 입구를 조금 열어 멸치를 한 마리씩 통과시켰다. 멸치가 통로를 통과 할 때 멸치들이 겹치거나 수면으로 올라와 파문을 일으키는 등의 특이 행동을 하는 경우에는 속도 계측에서 제외하였다.



**Fig. 5.** The experimental water tank and size of the water tank to compare a anchovy's moving speed to the LED lamps.

**서로 다른 두 불빛을 인지하고 선택하는 멸치의 불빛 선호도 실험**

서로 다른 두 불빛을 인지하고 선택하는 멸치의 불빛 선호도를 조사하기 위하여 한쪽의 원형 수조를 둘로 나누고 비교할 두 가지 램프를 각각 켜 후 반대쪽의 원형 수조에서 멸치를 출발시켜 멸치의 이동경로 (Fig. 6)를 추적하였다. 각 실험

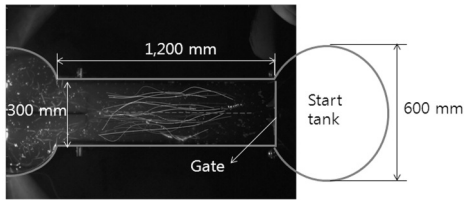


Fig. 6. The experimental water tank and size of the water tank to compare a anchovy's selectivity for the LED lamps.

은 3회 실시되었으며, 매회의 실험에 동원된 멸치의 수는 약 15마리이었다. 멸치가 수조의 중앙에서 출발하는 것을 유도하기 위해 멸치가 출발하는 수조의 입구 중앙에 폭 5cm의 입구를 만들어 놓고 멸치를 통과시켰다. 멸치가 수조의 입구를 통과하여 수조 통로로 들어섰을 때 비교대상인 두 램프의 어느 편에 위치하였는가와 램프에 가까운 원형 수조에 도착하였을 때, 어느 편에 위치하였는가를 조사하였다. 멸치가 램프를 향해 유영할 때 수조 벽에 붙는 등 자료인식이 곤란하거나 출발하였던 수조로 되돌아갔다가 램프로 유집되는 것은 계수하지 않았다.

실험 중 유영능력이 다른 멸치에 비해 현저히 떨어지거나 움직임이 적은 멸치는 다음 실험에서 새로운 멸치로 대체하였고 결과에서는 배제

하였다. 실험에 사용된 멸치 중 60마리에 대해 가량이 체장을 측정하였다. 이들의 평균체장 (Body length)은 7.3cm (최저: 6cm, 최고: 9.9cm) 이었다.

## 결 과

### 실험 횟수를 줄이기 위한 실험 결과

원형수조에 서로 다른 종류의 램프를 두 개 컨 상태에서 20여 마리의 멸치가 5초 마다 각 불빛에 머무르는 멸치의 수를 계수하였다. 서로 다른 종류의 전등을 두 개 컨 상태에서 20여 마리의 멸치를 출발 시킨 후 5초 마다 각 불빛에 머무르는 멸치의 숫자를 50초까지 계수한 실험 (Fig. 2)에서는 적색 LED 램프와 백열등에서는 다른 램프에 비하여 멸치의 선호도가 낮은 것으로 나타났다 (Table 1).

본 실험에서는 전체 실험 동안 멸치를 인위적으로 모으거나 하지 않았고 램프만 바꾸었기 때문에 초기 5초의 기록은 큰 의미가 없고 전체 시간 동안 수조 내에 머무르는 멸치의 수가 의미가 있다. 시간대별로 각 램프에 유집된 멸치의 수를 누적한 결과는 Table 1과 같다. 결과에서 적색 LED는 백열등과의 비교에서도 각각 22마리와

Table 1. Existing fishes in the lighting area by the time pass at the experiment to compare a luring ability of six lamps

Time (sec)	R	B	R	G	R	W	R	Y	B	I	G	I	W	I	Y	I	R	I	G	B	W	G	W	B	W	Y	B	Y	G	Y
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	10	1	3	6	6	3	16	15	5	6	4	7	4	9	5	2	9	15	1	8	5	9	8	7	5	3	13	5	9
10	3	12	1	6	7	8	4	11	11	2	10	2	8	4	8	4	2	6	9	7	7	7	6	8	11	5	8	8	10	4
15	2	13	1	11	3	7	2	11	4	1	5	1	8	6	5	5	0	11	8	7	6	10	11	11	8	8	12	3	8	4
20	1	11	1	10	5	9	2	7	5	2	8	1	4	5	6	7	3	7	7	11	7	8	6	10	10	6	7	8	11	2
25	1	14	0	16	4	14	3	9	5	3	5	3	8	3	4	5	2	10	8	7	5	7	8	8	5	10	9	7	8	10
30	2	11	1	12	4	9	2	9	6	3	7	1	9	5	3	3	2	5	9	9	10	8	11	9	6	8	11	5	11	4
35	3	9	0	11	6	11	2	12	8	2	9	2	6	5	7	3	4	7	4	6	8	8	13	5	8	11	6	7	7	10
40	2	13	0	14	1	14	1	10	9	5	11	3	10	3	8	0	3	6	6	5	4	10	6	10	10	8	10	9	8	7
45	1	8	0	11	1	6	3	12	5	5	11	2	4	4	11	1	2	7	10	6	11	5	7	16	6	9	9	6	6	5
50	1	9	0	9	1	6	0	12	6	5	11	6	10	3	8	6	2	8	5	8	10	7	7	12	6	9	8	6	7	7
	18	110	5	103	38	90	22	109	74	33	83	25	74	42	69	39	22	76	81	67	76	75	84	97	77	79	83	72	81	62

\* R: Red B: Blue G: Green W: White Y: Yellow I: Incandescent



76마리가 유집되어 선호도가 가장 낮았다. 이러한 결과에 의해 적색 LED와 백열등은 이후의 실험들에서는 배제하였다.

상대적으로 유집효과가 높았던 4가지 LED 램프 (청색, 녹색, 백색, 황색)의 비교 실험에서 청색과 녹색 LED의 비교에서는 녹색이, 녹색과 백색 LED의 비교에서는 백색이 높았지만, 청색과 백색 LED에서는 청색이 높아 우열을 가리기 힘들었고, 이런 관계는 황색 LED와 나머지 세 LED와의 비교에서도 같은 경향을 보였다. 즉 네 램프간의 선호도 차이가 적거나 상대적이었다.

**유영공간이 부족한 곳에서의 멸치의 불빛 선호도**

Fig. 7은 예비실험에서 유집효과가 높았던 네 가지 LED에 대해서 유영공간이 부족한 곳에서의 각 램프별 멸치의 불빛 선호도를 조사한 결과이다. 본 실험의 결과에서 멸치는 황색 LED보다 비교 대상인 세 가지 램프 (청색, 녹색, 백색)를 더 선호하는 것으로 나타났다.

청색, 백색, 녹색 LED를 서로 비교한 경우에서, 청색과 녹색 LED의 비교에서는 시간대별로 녹색에 유집된 멸치의 수가 평균 7.7마리로 청색 LED의 6.7마리보다 많았고, 녹색과 백색 LED의 비교에서는 백색 LED에 평균 9.5마리

가 유집되어 평균 6.8마리인 녹색 LED보다 많았다. 끝으로 백색과 청색 LED의 비교에서는 백색 LED에서 평균 9.5마리가 유집되어 평균 6.6마리가 유집된 청색 LED보다 멸치의 수가 많았다.

**유영공간이 있는 곳에서의 멸치의 불빛 선호도**

Fig. 8은 예비실험에서 유집효과가 높았던 네 가지 LED에 대해서 충분한 유영공간이 제공된 곳에서의 각 램프별 멸치의 불빛 선호도를 조사한 결과이다. 본 실험의 결과에서도 이전의 실험 결과 (Fig. 7)에서와 같이, 황색 LED에 대한 멸치의 선호도가 다른 세 가지 램프 (청색, 녹색, 백색)에 대한 선호도보다 가장 낮은 것으로 나타났다.

상대적으로 유집성능이 높은 청색, 백색, 녹색의 LED를 서로 비교한 경우에서 청색과 녹색 LED의 비교에서는 청색 LED에 유집된 멸치가 평균 16.8마리로 녹색 LED의 13.6마리보다 많았고, 녹색과 백색 LED의 비교에서는 녹색 LED에 평균 17.6마리가 유집되어 평균 13.0마리인 백색 LED보다 많았다. 끝으로 백색과 청색 LED의 비교에서는 백색 LED에서 평균 18.0마리가 유집되어 평균 12.2마리가 유집된 청색 LED보다 멸치의 수가 많았다.

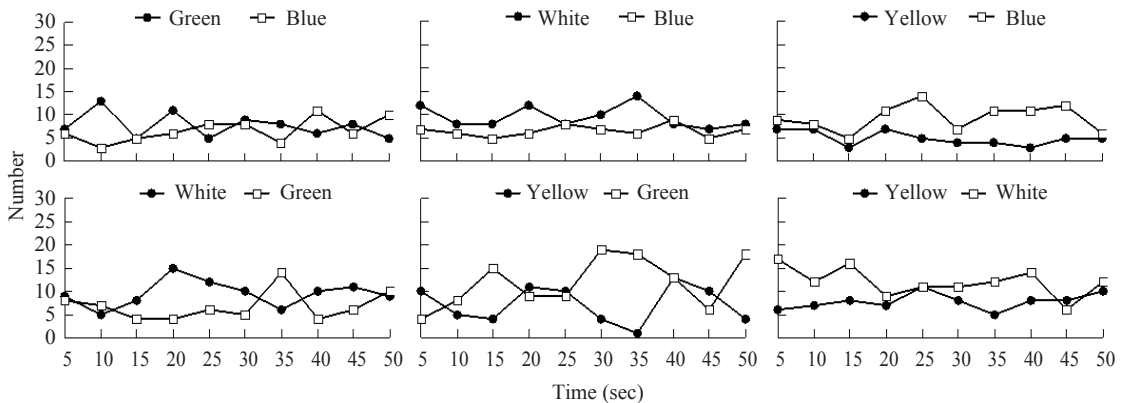


Fig. 7. Existing fishes in the lighting area by the time pass at the experiment to compare a luring ability of the LED lamps (At small area).

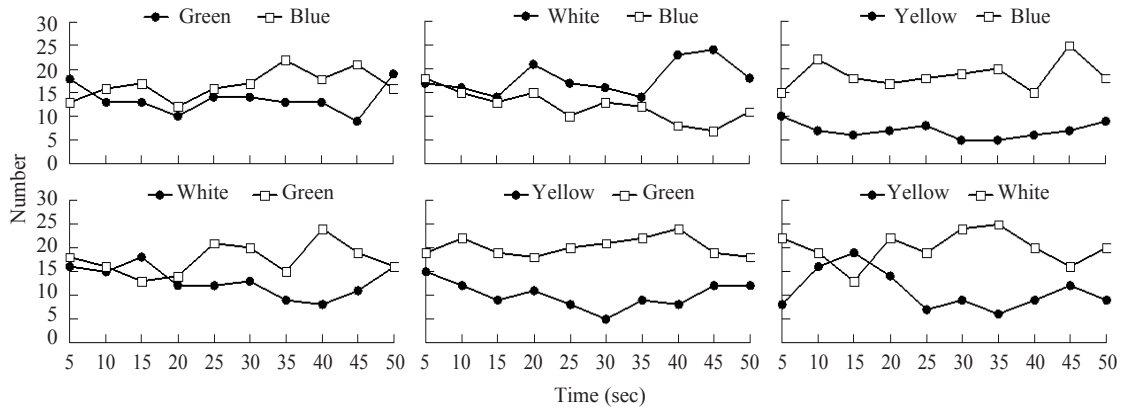


Fig. 8. Existing fishes in the lighting area by the time pass at the experiment to compare a luring ability of the LED lamps (At enough area for swimming).

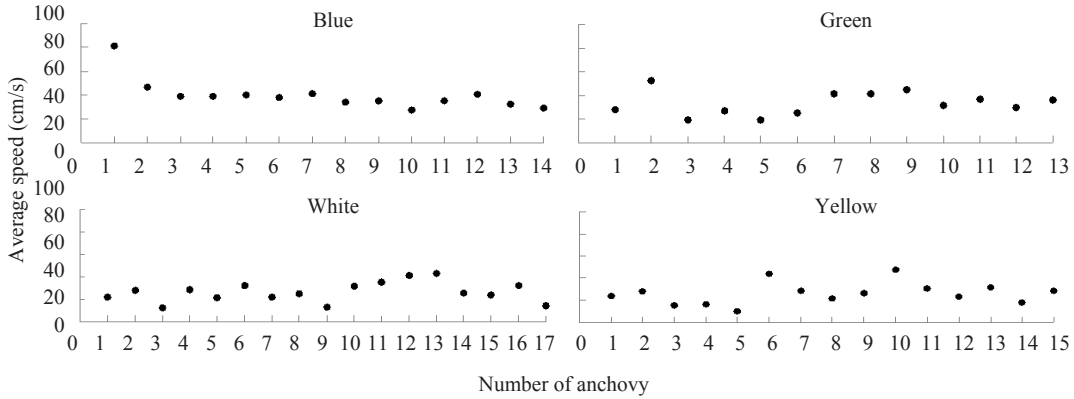


Fig. 9. Anchovy's moving speed to the LED lamps by the time pass.

### 불빛을 인지하고 모여드는 멸치의 속도

불빛을 인지하고 모여드는 멸치의 속도를 조사하기 위하여 네 가지 LED (청색, 녹색, 백색) 램프에 대해 멸치가 불빛을 발견하고 유집되는 속도를 측정한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 청색 LED에 유집되는 멸치의 속도가 39.88cm/s로 가장 빨랐고, 다음으로 녹색 LED에는 33.28cm/s, 백색 LED에는 26.73cm/s, 황색 LED에는 26.20cm/s의 순이었다.

본 실험에서 사용한 측정 방법은 촬영 시 발생하는 카메라 렌즈의 왜곡과 촬영 각도에 따라 발생하는 오차는 수정이 가능하지만 Ito et al.

(2011)이 제작한 촬영 장비처럼 3차원으로 촬영되지 않으므로 멸치의 유영 수심이 달라질 때 발생하는 유체의 굴절에 의한 오차와 측정된 멸치들의 유속을 평균으로 처리하였기 때문에 다소의 오차가 발생할 수도 있다. 따라서 유영속도가 유사하게 측정된 백색과 황색 LED 램프에 대한 멸치 유집 속도의 비교는 우열을 가리기 어렵다고 판단된다.

### 서로 다른 두 불빛을 인지하고 선택하는 멸치의 불빛 선호도

한쪽의 원형 수조를 둘로 나누고 멸치의 불빛

**Table 2. Anchovy's selectivity of a starting and a ending for the LED lamps**

Start lamp Side	Destination lamp Side	Number	Total Number
Blue	Blue	16	
Blue	Yellow	1	Blue 27
Yellow	Blue	11	Yellow 3
Yellow	Yellow	2	
Green	Green	5	
Green	Yellow	7	Green 8
Yellow	Green	3	Yellow 15
Yellow	Yellow	15	
White	White	18	
White	Yellow	-	White 22
Yellow	White	4	Yellow 9
Yellow	Yellow	9	

선호도를 비교할 두 가지 램프를 각각 켜 후 반대쪽의 원형 수조에서 멸치를 출발시켜 멸치의 이동경로를 추적한 실험의 결과를 Table 2에 나타내었다. 본 실험의 결과에서 청색 또는 백색과 황색 LED를 비교하는 경우에는 황색 LED를 선택하는 멸치보다 비교 대상인 램프 (청색 또는 백색)를 선택하는 경우가 많았다. 그러나 녹색과 황색 LED를 비교하는 경우에는 전체 유집된 멸치의 수도 황색 LED가 15마리로 녹색 LED의 8마리보다 많은 것으로 나타났고, 입구를 나왔을 때 녹색 LED 편에 있다가 황색 LED 쪽으로 바뀌어 유집된 경우의 멸치 수는 7마리, 황색 LED 편에 있다가 녹색 LED 쪽으로 유집된 경우의 멸치 수는 3마리로 나타나 전자의 경우가 후자보다 많았다.

### 고 찰

본 실험들에서 멸치가 빛에 의해 유집된 것인지 아닌지를 판단하기 위해서는 빛에 반응하여 유집된 멸치의 유영속도에 대한 분석이 필요하다 (Fig.5, 9). Hammer (1995)에 의하면 일반적으로 어류의 유영속도 중 Burst swimming speed는 1초당 체장의 10배이고 (10BL/s), 대체로 2초 내외의 Burst capacity를 가지는 것 (Beamish, 1978)으로 알려져 있다. 이를 근거로 하여 본 실험의 결과에서 청색 LED에 대한 멸치의 유집 속도는

Burst swimming speed의 55% 수준으로 추정되며, 가장 낮은 유집 속도를 보인 황색 LED에 대한 멸치의 유집 속도는 Burst swimming speed의 35% 수준으로 추정된다. 이 속도는 Blaxter (1969)가 정의한 어류의 평균적인 전진 속도인 2 BL/s 보다 빠르기 때문에 특정한 목적에 의해 움직인 것으로 판단 할 수 있다. 또한 James and Probyn (1989)의 멸치의 섭이와 유영속도의 관계 연구에 의하면 멸치가 일반적으로 유영하는 속도는 7-30cm/s이고 Feeding의 속도는 17-55cm/s이므로 본 실험에서 멸치가 움직인 속도는 섭이 속도와 유사한 정도로 볼 수 있다. 즉 본 실험의 결과에서 멸치는 빛에 의해 유집된 것으로 판단 할 수 있다.

유집 성능이 낮은 램프를 배제하기 위한 실험의 결과에 의하면 어업인이 주로 사용하는 백열등과 적색 LED 램프는 멸치의 유집 성능이 낮은 것으로 판단된다. 또한 나머지 네 가지 LED 램프 (청색, 녹색, 백색, 황색)의 유집 성능 비교에서는 멸치가 유집되어 머무를 때의 비교 실험의 결과 (Fig. 7, Fig. 8)와 유집되는 속도를 비교한 실험 (Fig. 9)에 의하면 황색 LED 램프도 다른 세 LED 램프 (청색, 녹색, 백색)에 비해서 유집 성능이 떨어지는 것으로 판단된다.

그러나 멸치가 불빛을 확인하고 두 불빛 중 하나를 선택하는 실험 (Fig. 6)에서는 Table 2와 같



이 청색 또는 백색과 황색 LED를 비교하는 경우에 황색을 선택하는 멸치보다 청색 또는 백색을 선택하는 경우가 많긴 하였으나 멸치가 녹색과 황색 중에 선택하는 실험에서 전체 유집된 멸치의 수가 황색 LED가 15마리로 녹색 LED의 8마리 보다 많았고 입구를 나왔을 때 녹색 LED 편에 있다가 황색 LED 쪽으로 이동한 경우가 반대의 경우보다 많았다. 즉 황색과 녹색 LED와의 유집 비교에서는 시간이 충분한 경우에는 멸치가 녹색 LED에 유집되지만 멸치가 초기에 선택하는 것은 황색 LED인 경우가 많았다는 것이다. 이러한 현상은 오징어가 특정한 파장의 빛에 초기에는 양주광성 또는 음주광성 행동을 보이지만 시간이 지나면 그 반대의 반응 (Bae et al., 2008)을 하는 현상과 유사한 것으로 판단된다. 이러한 현상이 멸치가 불빛에 나타내는 반응의 결과라고 추정한다면 Fig. 1에서 나타난 각 램프의 광 특성에서 원인을 찾을 수 있을 것으로 판단된다. 빛의 수중투과특성은 Chancey (2005)의 연구에서 파장 400–500nm에서 투과율이 가장 좋고 매질에 대한 흡수율도 가장 낮은 것으로 알려져 있기 때문에 멸치 및 바다생물은 경험적으로 이 파장대의 빛에 익숙하게 느낄 것으로 생각되고 따라서 입구를 통하여 나온 멸치가 황색 LED에 먼저 유집이 되더라도 시간이 경과하면 청색, 백색, 녹색 LED에 끌리는 것으로 추론할 수 있다.

유영공간이 부족한 경우와 유영공간이 확보된 경우의 실험 결과를 비교하면 서로 다른 불빛에 의한 간섭이 발생할 때에도 처음 선택한 불빛에 머물 것인가 하는 것에 대한 예측이 가능하다. 즉 유영공간이 부족한 경우에 이동이 많다는 것은 불빛에 의해 간섭을 받는다는 것을 확인할 수 있고, 같은 불빛에서 유영공간이 확보되었을 때 이동이 적으면 선호하는 불빛에서는 간섭이 있더라도 머무른다는 결론을 내릴 수 있기 때문이다. 실험의 결과에 의하면 유영공간이 있는 경우 (Fig. 8)이 없는 경우 (Fig. 7)보다 시간별 물

고기 차가 적은 것을 알 수 있다. 따라서 멸치 초망은 연안에서 주로 조업하므로 육상의 여러 불빛에 의해 간섭을 받을 수 있으나 적절한 불빛을 선택하면 멸치를 구집하는데 어려움이 없을 것으로 판단된다.

본 연구에서 멸치가 양쪽의 불빛 중 하나의 불빛을 선택하였는가 하는 기준을 불빛으로부터 35cm로 하였는데, 이는 정량적 데이터나 기존의 참고문헌에 의한 것이 아니다. 연구에서 멸치의 시력에 대한 연구와 고려는 되어 있지 않고 기존의 문헌에도 이와 관련된 결과를 찾기 힘들었기 때문에 실험 중 실험수조의 규모를 고려하여 임의로 결정한 것으로 향후 멸치의 시력에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

해상에서는 어선 주위에 여러 가지 빛들 때문에 간섭이 발생할 수도 있고 멸치는 군집을 이룬 때와 개체가 움직일 때는 유영속도나 행동패턴이 달라 질 수도 있으므로 본 연구에서 도출된 결과를 바탕으로 집어등을 제작하여 실제 해상 시험을 실시해야 할 것으로 판단된다. 특히 생물 중에는 성장에 따라 외부 자극에 대해 반응이 달라지는 경우가 있으므로 1년생인 멸치를 대상으로 거의 모든 성장 단계의 멸치를 모두 어획하는 들망의 경우에는 이러한 생물학적 요소에 대한 고려도 필요하다.

## 결 론

본 연구에서는 멸치에 대한 집어 성능이 좋은 집어등을 개발하기 위하여 실물 집어등 빛의 종류를 설계하기 전 단계로 수조에서 실시된 6가지 램프에 대해 비교 실험을 실시하고 각 종류 빛의 특성 (파장)에 대하여 멸치가 어떤 선호도를 가지는가에 대한 정보를 얻고자 하였다. 본 저자들은 근래에 여러 가지 기술개발에 의해 성능이 향상되고 있는 LED 집어등의 개발을 목표로 하여, 백열등, 적색, 청색, 녹색, 백색, 황색 LED 램프에 대하여 실험하였다. 본 실험에 대한 결과는 다음과 같다. 적색 LED와 백열등은 다른

램프에 비해 현저히 집어 성능이 낮아서 초기 실험 외에는 비교 실험에서 배제하였으며, 황색 LED 또한 대부분의 실험에서 청색, 녹색, 백색에 비하여 유집 성능이 낮았다. 모든 실험에서 청색, 녹색, 백색은 비슷한 유집 성능을 보였으나 실험 멸치가 불빛을 확인하고 유집되는 속도는 청색 LED에서 39.88cm/s로 가장 빨랐고, 다음으로 녹색 LED에서 33.28cm/s, 백색 LED에서 26.73cm/s 순이었다. 그러나 멸치가 5초 이내에 램프를 선택하는 실험에서는 황색 LED가 녹색 LED보다 높은 성능을 보이는 등 네 가지 램프 중에서 어느 한개 램프의 유집 성능이 가장 좋다고 판단하기에 어려운 점이 있으므로 이들 램프에 대해서 해상시험을 통해 멸치 어군에 대한 유집 성능을 재검증할 필요가 있다.

## 사 사

이 연구는 국립수산과학원 (저비용 고효율 집어 시스템 개발, RP-2011-FE-009)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- An, H.C. and H.D. Choo, 1993. Fishing efficiency of squid jigging in relation to the variation of fishing lamp power. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 48, 179–186.
- 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 (4), 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 (2), 85–95.
- Bae, B.S., H.C. An, K.J. Kwon, S.W. Park, C.D. Park and K.H. Lee, 2011. Design and performance estimation of fish-luring system using the water cooling typed LED lamp. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 47 (2), 79–87.
- Beamish, F. W. H., 1978. Swimming capacity. Fish Physiology, Vol. VII, 101–187.
- Blaxter, J.H.S., 1969. Swimming speeds of fish. FAO Fish Rep. 62, Proc. FAO Conference on fish behaviour in relation to fishing techniques and tactics. Bergen, 19–27, October, 1967.
- Chancey, M.A., 2005. Short range underwater optical communication links. Master Thesis, North Carolina States University, U.S.A., 6–17, 176–177.
- Choi, S.J., 2002. Relationship Between the Boat Sizes, Light Source Output for Fishing Lamps and the Catch of Squid, *Todarodes pacificus* STEENSTRUP, in Coastal Squid Jigging Fishery of Japan. J. Kor. Fish. Soc., 35 (6), 644–653.
- 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., 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(6), 511–517.
- 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. Kor. Fish. Soc., 39 (6), 480–486.
- Choi, S.K., S.J. Kim, D.W. Park, G.S. Kil, C.Y. Choi and S.B. Song, 2010. Design and Fabrication of Energy Saving LED-Fishing Lamp. Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 34 (4), 515–521.
- Hammer, C., 1995. Fatigue and exercise tests with fish. Comp. Biochem Physiol. Vol. 112A, 1–20.
- Inada, H., 1988. Measurement of the underwater spectral irradiance under the squid jigging boat. Journal of the Tokyo Univ. of Fisheries, 75, 487–498.
- Ito, Y., H. Yasuma, R. Masuda, K. Minami, R. Matsukura, S. Morioka and K. Miyashita, 2011. Swimming angle and target strength of larval Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*). Fish. Sci.,

- 77, 161 – 167.
- James, A. G. and T. Probyn, 1989. The relationship between respiration rate, swimming speed and feeding behaviour in the Cape anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 131, 81 – 100.
- Jo, H.S., D.N. Kim, Y.B. Cho, J. H. Lee, H.S. Kim, W.S. Yang, H.C. An and J.S. Han, 2004. Transmittance properties of Fishing Lamp in Stick-held Dip Net Fishing Vessel for Pacific Saury. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 40 (1), 23 – 27.
- Jo, H.S., T.Y. Oh, Y.S. Kim and D.Y. Moon, 2006. Transmittance properties of fishing lamp in distant-water squid jigging vessel. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 42 (4), 228 – 233.
- Kim, S.J., M.K. Kim and J.S. Park, 1999. A Study on the Leading Effect of Fish Attracting Lamps on Fish Schools into a Set-net-3. The Practical Experiment on the Leading of Fish Schools by the Attracting Lamps-. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 35 (3), 277 – 283.
- Park, S.W., B.S. Bae, H.C. An and D.O. Seo, 2001. Transmittance Characteristics of Fishing Lamp in the Anchovy Scoop Fishery. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 37 (2), 117 – 123.
- Park, S.W., B.S. Bae, H.C. An, J.W. Lee and D.O. Seo, 2002. Transmittance Characteristics by candlepower of Incandescent Lamp. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 38 (4), 293 – 299.
- Soloff, S. M., R. J. Adrian and Z. C. Liu, 1997. Distortion compensation for generalized stereoscopic particle image velocimetry. Meas. Sci. Tech., 8, 1441 – 1454.
- 
- 2011년 8월 2일 접수  
2011년 10월 7일 1차 수정  
2011년 10월 28일 2차 수정  
2011년 11월 4일 수리