



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이 학 석 사 학 위 논 문

적색, 녹색, 청색 LEDs에 따른
볼락의 시각역치 변화



2013년 8월

부경대학교 글로벌수산대학원

어업생산학과

정진욱

이 학 석 사 학 위 논 문

적색, 녹색, 청색 LEDs에 따른
볼락의 시각역치 변화

지도교수 신 현 욱

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함



2013년 8월

부경대학교 글로벌수산대학원

어업생산학과

정 진 욱

이 논문을 정진욱의 이학석사
학위논문으로 인준함

2013년 8월 23일



주 심 수산학박사 황 보 규 (인)
위 원 이 학 박 사 강 경 미 (인)
위 원 수산학박사 신 현 옥 (인)

목 차

Abstract	ii
서론	1
재료 및 방법	3
실험어	3
실험장치	5
시각학습	8
결과 및 고찰	10
LED 파장과 수중조도 관계	10
LED 파장별 불락의 시각학습 효과	13
LED 파장별 불락의 시각역치	16
요약	22
사사	23
참고문헌	24

**Effects of Red, Green and Blue LEDs on Visibility Threshold of
Rockfish (*Sebastes innermis*)**

Jin-Uk JEONG

*Department of Fishery Production
Graduate School of Global Fisheries
Pukyong National University*

Abstract

Light characteristics are an important factor for fishing and fish farming. Currently, LED (Light Emitting Diode) system has been introduced on fisheries as part of low carbon green growth. To develop an effective LED system for fisheries, it is necessary to know visual characteristics of target fish by external light stimuli. In this study, we generated red (622nm), green (518nm) and blue (472nm) of the LED light. Each value of RGB of the LED light independently turned into from 0 to 255 levels to control light intensity. In order to obtain the visual threshold of rockfish (*Sebastes innermis*), 65 fish were trained for lights by an electric stimulus. After switching on the light, the fish had an electric shock and was measured electrocardiogram (ECG). 65.2% of the fish was available to have visual training effect. It was available 56.7% for green and 25.0% for blue, respectively. Thus, red light was more effective on visual training of the fish than green and blue lights. Visual threshold of the fish was 0.09 ~ 0.87lux in red and 0.15 ~ 1.49lux in green. However, there is no significant correlation between body length and visual threshold of the fish.

서론

지구 온난화 등 급변하는 조업환경에 능동적으로 대응해 어업현장의 문제점을 해소하고 수산업 재도약 기반 구축을 도모하기 위하여 저탄소 녹색정책의 일환으로 에너지 절감형 산업운영이 전개되고 있다. 이 중 어업분야에서는 어업경영상의 관점뿐만 아니라 지구 온난화 대책으로서 LED (Light Emitting Diode) 시스템 도입을 시도하고 있다. 국내 어업분야에서 가장 연구가 활발히 이루어지고 있는 분야는 LED 집어등 개발로서 주요 연구대상은 오징어, 멸치 등이며, 현재까지 이 어종들에 대한 LED 집어등의 성능평가, 어획성능 및 경제적 효과에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다 (Choi, 2006; Bae et al. 2008; Choi, 2008; An et al., 2009; Bae et al. 2009; An and Jeong, 2011; Bae et al., 2011; An et al., 2012; An and Jeong, 2012; Seo et al., 2012). 어업분야에서 LED 시스템은 집어등뿐만 아니라 육상 가두리 시설비 절감 및 생산성 향상을 위하여 적용이 가능하며, 이를 위해서는 수생동물에 대한 시각반응에 대한 연구가 동시에 이루어져야 할 것이다.

빛은 수생동물의 성장에 영향을 미치는 기본적인 외부요인으로서 색도 (color spectrum), 조도 (illuminance), 광주기 (photoperiod)에 따라 성장에 미치는 정도가 달라진다. 빛의 특성에 따라 섭이능력, 피부 색소 (body pigmentation) 등에 영향을 미칠 수 있으므로 일반적으로 정상적인 어류의 성장을 위해서는 최소의 조도가 유지되어야 한다 (Boeuf and Bail, 1999; Trippel and Neil, 2003; Taylor et al., 2006; Strand et al., 2007; Karakatsouli et al., 2010; Guo et al. 2013).

이 연구에서는 육상 가두리 양식장 시설운영비 절감 및 생산성 향상을 위한 기초자료를 제공하고자 LED의 적색, 녹색, 청색 파장대의 빛을 구현하여 파장별 빛의 세기와 수중조도와와의 관계를 추정하였다. 또한 볼락의 (*Sebastes*

inermis)의 심전도 변화를 측정하여 LED 파장 및 빛의 세기에 따른 시각역치를 구하였다.



재료 및 방법

실험어

이 연구에서 실험어는 볼락 (*Sebastes inermis*)으로 인근 횃집에서 구입한 자연산 볼락과 경상남도 통영수산자원연구소의 해상가두리에서 사육한 양식산 볼락 총 65마리 사용하였다. 실험어의 전장 범위는 12.0~18.0cm, 체중범위는 26.0 ~ 96.0g이었다. 연구실로 운반된 실험어는 환경 변화에 의한 스트레스를 줄이기 위하여 1주일동안 예비수조에서 안정시켰다. 실험수조는 순환여과식 수조 (L300 × W150 × H200mm)를 사용하였고, 수온은 실험어 채집 장소와 동일하게 17.0℃로 유지시켰다.

실험에 사용되지 않은 볼락을 대상으로 심전도 측정을 위하여 해부를 실시하였으며, 해부를 통하여 바늘형 전극을 삽입할 위치를 결정하였다. 실험어의 체중과 체장과의 관계는 Fig. 1과 같다.

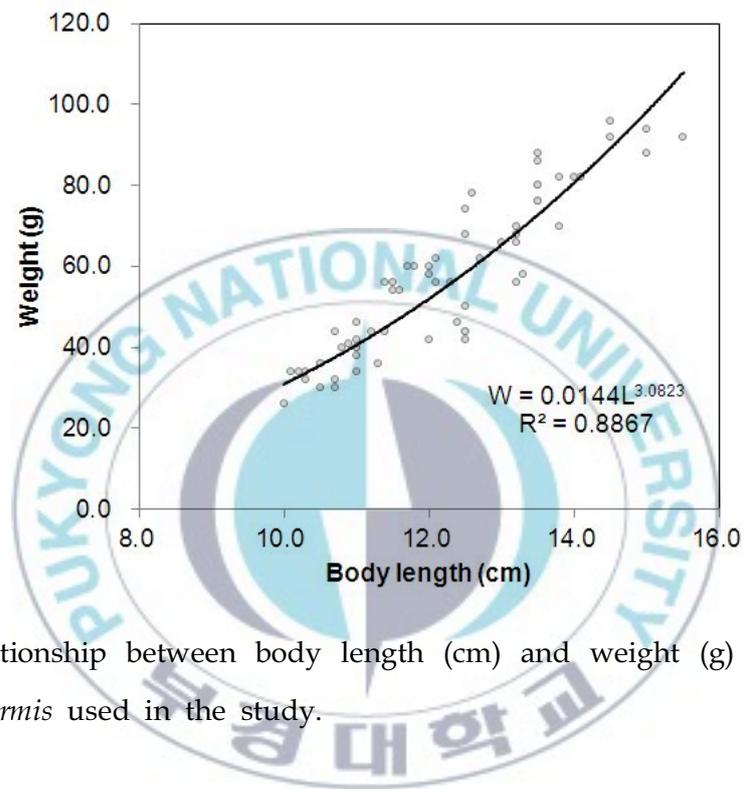


Fig. 1. Relationship between body length (cm) and weight (g) of *Sebastes innermis* used in the study.

실험장치

LED 광원으로 평판형 LED등 (L450 × W450mm)을 사용하였고, 실험수조 앞에 합판을 설치하여 등을 고정시켰다. LED 광원의 밝기와 파장은 컴퓨터에서 LED 광원 제어용 프로그램을 이용하여 256단계 (0 ~ 255)로 LED의 RGB 값 (Red, Green, Blue)을 독립적으로 조정할 수 있도록 하였다. LED 광원의 RGB 단계를 0으로 하면 등이 꺼지고 단계를 올릴수록 밝아져 255단계에서는 최대의 밝기를 나타내도록 하였다. 프로그램에 의해 발생된 제어신호는 컴퓨터에 연결된 RF 모뎀을 통하여 LED 광원으로 전송되어 빛의 밝기와 파장을 제어하였다. LED 광파워는 약 800mW로 고정시켰고, 이때 발생하는 RGB 파장대역은 적색은 622nm, 녹색은 518nm, 청색은 472nm이었다. 실험어의 눈의 위치를 고려하여 광원의 일부 (L50 × W50mm)에서만 빛이 나올 수 있도록 조절하였고, 외부 빛에 의한 영향을 완전히 차단하기 위하여 실험수조 주변에 일정한 공간을 확보한 후 암막으로 둘러쌌다. 암막을 둘러싼 후 실험수조의 조도는 0.0lux이었다.

실험수조의 수중조도는 광원과 실험수조 사이의 간격을 15, 30, 45cm로 조절하여 거리별 파장별 LED 광원의 밝기와 수중조도와의 관계를 추정하였다. LED 적색 실험에서는 적색의 밝기 레벨을 조절하는 동안 녹색과 청색의 밝기는 0으로 고정시킨 후 거리별 수중조도를 측정하였다. 녹색과 청색 실험의 경우에도 동일한 조건으로 나머지 두 파장의 밝기를 0로 고정시킨 후 각 파장의 밝기 단계별 수중조도를 측정하였다.

실험어의 심전도 (ECG, Electrocardiogram)는 심전도, 뇌파, 근전도를 측정할 수 있는 bioamplifier (P400, Physiolab Co., Korea)를 사용하여 측정하였다. 일반적으로 심전도 측정에 사용되는 패치형 전극은 어류의 심전도를 측정하기에는 부적합하여 근전도 (EMG, Electromyogram) 측정 시 사용되는 바늘형 전

극 (L25 × φ 0.3mm)을 사용하였다. 전극은 실험어의 배지느러미와 아가미의 중간지점에 +, - 바늘을 각각 삽입하고 그라운드는 물속에 잠길 수 있도록 고정시켰고, 전극이 물에 노출되는 것을 방지하기 위하여 바늘과 전극을 잇는 부분은 에폭시를 입혀 방수처리 하였다. 실험어의 움직임을 차단하고 바늘의 탈락을 방지하기 위하여 아크릴 판을 이용하여 실험수조 내에서 움직일 수 없도록 실험어를 고정시켰다. 실험어는 실험수조에서 1시간 정도 안정시킨 후 정상적인 ECG 파형을 확인한 후 실험을 실시하였고, 심전도 파형은 IDAQ400 프로그램 (Physiolab Co., Korea)을 이용하여 분석하였다. 각 실험장치의 배치도는 Fig. 2와 같다.



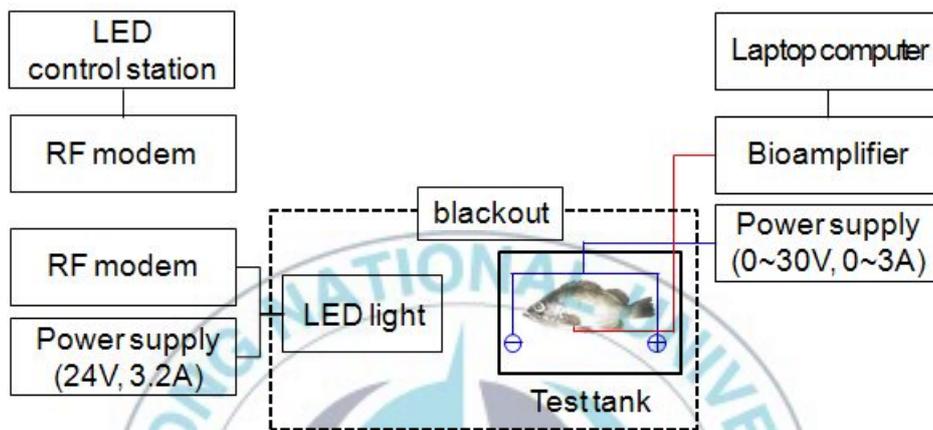


Fig. 2. Arrangement of the ECG (Electrocardiogram) measurement system.

시각학습

실험어의 시각역치를 추정하기 위하여 실험수조에 전기 자극을 인가하여 LED 광원에 대한 시각학습을 실시하였다. 전극은 실험어의 머리 부근에는 (-) 전극, 꼬리 부근에는 (+) 전극을 수중에 배치하여 실험수조의 벽에 고정시켰고, 실험어가 충분히 전기 자극을 감지할 수 있도록 10V의 직류전압을 인가하였다. 실험어의 시각학습을 위하여 LED 광원을 인가한 후 약 3초 후에 전기 자극을 주는 것으로 3 ~ 5회 반복학습을 시켰다. 매회 ECG 파형이 정상적으로 돌아올 수 있도록 충분한 시간을 가진 후 반복 학습을 실시하였다. 정상상태의 실험어의 심전도 파형전압은 $0.4V_{p-p}$ 전후이었고, 심박수는 1분당 약 66회로 나타났다 (Fig. 3a). 전기 자극 시에는 실험어의 심전도 파형전압은 $0.8V_{p-p}$ 이상으로 나타났다 (Fig. 3b). 반복학습을 통하여 LED 광원이 인가되었을 때 전기 자극 없이도 약 3초 후에 파형의 변화가 나타날 경우 학습이 완료된 것으로 판단하였고, 동일한 시각학습법을 LED 광원의 RGB 단계별로 실시하였다.

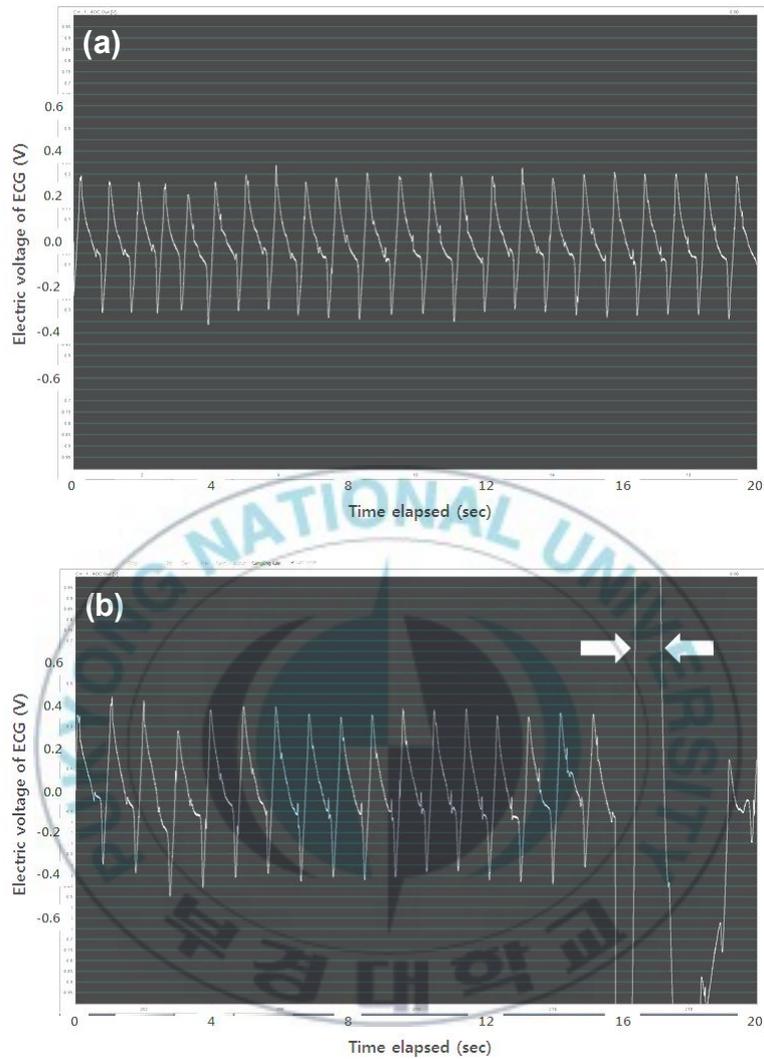


Fig. 3. Variation of the ECG waveform of *Sebastes innermis*. (a) is the waveform of the normal condition fish and (b) is the waveform of the fish taking the electric shock (10V). The arrows indicate the period of electric shock.

결과 및 고찰

LED 파장과 수중조도 관계

LED 광원과 실험수조와의 간격을 15, 30, 45cm로 조정한 후 RGB 단계별로 측정된 수중조도값은 Table 1과 같다. 광파워를 약 800mW으로 고정시킨 상태에서 적색 (622nm)에서는 광원과 수조사이의 거리가 15cm일 때 광원의 밝기에 따라 수중조도값이 최대 21.3lux로 나타났고, 녹색 (518nm)에서는 최대 44.3lux가 나타났다. 하지만 청색 (472nm)에서는 광원이 최대 밝기임에도 불구하고 적색보다는 최대 2배, 녹색보다는 최대 7배 낮은 수중조도값이 측정되었다.

시각학습을 위하여 실험어 눈의 위치는 15와 30cm 사이에 위치시켰으므로 15와 30cm 거리에서 각각 측정된 수중조도를 평균하여 LED 광원의 파장별 밝기 레벨에 따른 수중조도와의 관계식을 식(1), (2), (3)과 같이 도출하였다 (Fig. 4). 여기서 y 는 수중조도이며 x 는 파장별 RGB값을 나타낸 것이다.

$$\text{Red} : y = 0.073x + 0.1736 \quad (R^2=1.0) \quad (1)$$

$$\text{Green} : y = 0.1478x + 0.0205 \quad (R^2=1.0) \quad (2)$$

$$\text{Blue} : y = 0.0216x - 0.0009 \quad (R^2=1.0) \quad (3)$$

Table 1. Variation of the underwater illuminance (lux) by the RGB value.
 The LED light was moved at intervals of 15cm, 30cm and 45cm
 from the test tank

Color	RGB level			Underwater illuminance (lux)		
	R	G	B	15cm	30cm	45cm
Red	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	1	0	0	0.11	0.07	0.05
	2	0	0	0.21	0.15	0.11
	3	0	0	0.31	0.22	0.16
	4	0	0	0.42	0.29	0.21
	5	0	0	0.52	0.36	0.26
	6	0	0	0.62	0.44	0.31
	10	0	0	1.02	0.72	0.52
	20	0	0	2.03	1.42	1.02
	50	0	0	4.91	3.46	2.50
	100	0	0	9.41	6.62	4.80
	150	0	0	13.60	9.55	6.90
	200	0	0	17.50	12.30	8.85
255	0	0	21.30	15.01	10.85	
Green	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	1	0	0.17	0.12	0.09
	0	2	0	0.35	0.24	0.18
	0	3	0	0.53	0.37	0.27
	0	4	0	0.70	0.49	0.36
	0	5	0	0.88	0.61	0.45
	0	6	0	1.05	0.73	0.54
	0	10	0	1.76	1.22	0.89
	0	20	0	3.51	2.45	1.79
	0	50	0	8.77	6.11	4.47
	0	100	0	17.54	12.22	8.94
	0	150	0	26.28	18.30	13.39
	0	200	0	35.00	24.33	17.80
0	255	0	44.30	30.80	22.54	
Blue	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	1	0.02	0.02	0.01
	0	0	2	0.05	0.03	0.02
	0	0	3	0.08	0.05	0.04
	0	0	4	0.10	0.07	0.05
	0	0	5	0.13	0.09	0.06
	0	0	6	0.15	0.10	0.07
	0	0	10	0.26	0.17	0.12
	0	0	20	0.52	0.34	0.25
	0	0	50	1.29	0.87	0.62
	0	0	100	2.58	1.74	1.24
	0	0	150	3.87	2.61	1.87
	0	0	200	5.17	3.49	2.49
0	0	255	6.57	4.43	3.17	

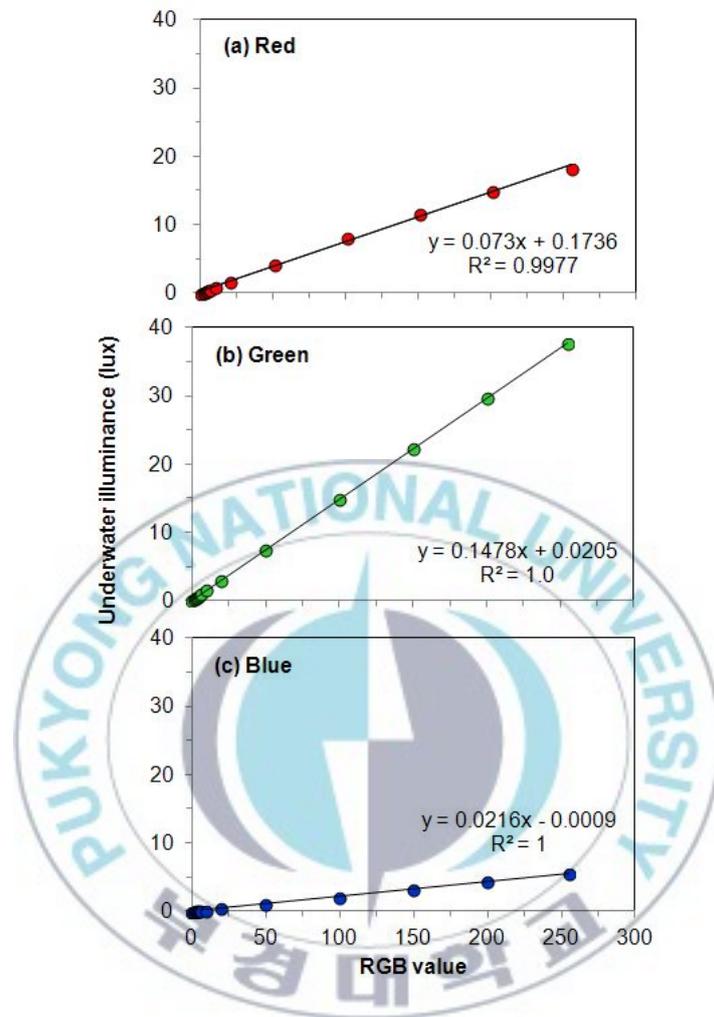


Fig. 4. Relationship between the RGB value and the underwater illuminance (lux). (a) indicates the illuminance variation from R0 to R255 with G0 and B0. (b), from G0 to G255 with R0 and B0, (c), from B0 to B255 with R0 and G0.

LED 파장별 불락의 시각학습 효과

LED 광원의 파장별 시각학습 효과를 분석한 결과, 적색에서는 실험어의 65.2%가 시각학습 효과를 나타내었고, 녹색에서는 56.7%, 청색에서는 25.0%로 시각학습 효과가 각각 나타났다 (Table 2). 따라서 실험어는 녹색과 청색보다는 적색 조건하에서 시각학습 효과가 높은 것으로 나타났다 (Pearson correlation, $n=65$, $p=0.035$). 이러한 결과는 대구와 틸라피아를 대상으로 한 실험 결과와 유사한 경향을 나타낸다. 대구를 대상으로 한 연구에서는 백색광 보다는 적색광 (660 ~ 680nm) 조건하에서 먹이 반응 및 빛에 대한 거부감이 적은 것으로 나타났다 (Widder et al., 2005). 틸라피아를 대상으로 한 연구에서는 백색, 청색 (~ 452nm), 녹색 (~ 516nm), 황색 (~ 520nm), 적색 (~ 628nm) 광원 중 적색광 조건하에서 먹이반응이 가장 좋은 것으로 나타났을 뿐만 아니라 먹이까지 도달하는데 소요되는 시간도 가장 짧은 것으로 나타났다 (Volpata et al., 2013). 이러한 결과는 광원의 색상이 먹이반응을 촉진시키는 자극원이 될 수 있다는 가능성을 나타낸 것이다. 또한, 살오징어를 대상으로 한 연구에서도 실험수조 (80W x 560L x 100Hcm) 벽의 영향이 거의 없는 곳에서는 적색광 (624nm)과 백색광의 집어율이 녹색광 (524nm)과 청색광 (460nm)보다는 높은 것으로 나타났다 (An et al., 2009).

하지만 조피불락과 태평양 넙치와 같은 심해어를 대상으로 한 연구에서는 청색-녹색 파장대 (480 ~ 590nm)에서 가장 민감하게 반응하였고, 380nm 이하 또는 620nm 이상 (적색) 파장대에서는 반응을 하지 않았다 (Brill et al., 2008). 이는 수중에서 적색파장의 흡수율이 높기 때문에 심해까지 적색파장이 도달하지 않으므로 상대적으로 청색과 녹색에 익숙해진 심해어의 경우에는 적색보다는 청색과 녹색에서 반응을 나타내는 것으로 판단된다.

따라서 유영수심이 깊은 어종의 경우에는 수중 투과율이 높고 흡수율이 낮

은 청색과 녹색 계열의 광원을 인지하고, 유명수심이 얇은 어종의 경우에는 적색 계열 광원을 인지하는 것으로 판단된다.



Table 2. Summary of *Sebastes innermis* reacting to the LED light in the study. Wave, Num and BL indicate the acronym for wavelength, number of individual and body length, respectively

LED		Total of test fish			Visually reacted test fish		
Color	Wave (nm)	Num	BL(cm)	Weight(g)	Num	BL(cm)	Weight(g)
Red	622	23	12.9(±1.2)	61.6(±18.0)	15	13.0(±1.3)	62.8(±19.0)
Green	518	30	11.8(±1.3)	54.8(±21.4)	17	11.7(±1.1)	52.2(±17.3)
Blue	472	12	11.5(±0.7)	51.2(±10.0)	3	12.3(±0.1)	60.0(±2.0)
Total		65			35		

LED 파장별 불락의 시각역치

실험어의 65마리 중 적색에서 반응한 15마리 실험어의 시각역치는 최소 0.09lux, 최대 14.90lux로 나타났고, 녹색에서 반응한 17마리 실험어의 시각역치는 최소 0.15lux, 최대 29.67lux로 나타났다. 청색에 반응한 3마리 실험어의 시각역치는 최소 4.33lux, 최대 5.50lux로 나타났으며, 최소 시각역치가 적색과 녹색보다는 높게 나타났다. LED 파장이 길수록 시각역치는 상대적으로 낮아지는 것으로 나타났다 (Spearman's rho correlation, $n=32$, $p<0.001$)

적색과 녹색에 대하여 시각학습 효과가 있었던 실험어 32마리를 대상으로 비정상적인 측정치를 제외시키기 위하여 빈도분석을 실시하였고, 그 결과는 Fig. 5와 같다. 시각학습 효과가 가장 낮았던 청색은 빈도분석에서 제외하였다. 적색과 녹색의 시각역치에 대한 빈도분석 결과, 일반적으로 정상적인 시각역치를 나타낸 수중조도 구간은 0.00 ~ 2.00lux로 나타났다. 이 구간에서 실험어의 시각역치는 적색에서는 0.09 ~ 0.87lux, 녹색에서는 0.15 ~ 1.49lux로 각각 나타났다 (Table 3).

Table 3. Maximum and minimum visual threshold of *Sebastes innermis* reacting to the LED light in the study

Color	LED	Number of test fish		Threshold (lux)		
	Wave (nm)	Total	Reacting	Max	Min	Ave. (S.D.)
Red	622	23	15	0.87	0.09	0.51 (±0.36)
Green	518	30	17	1.49	0.15	0.43 (±0.44)

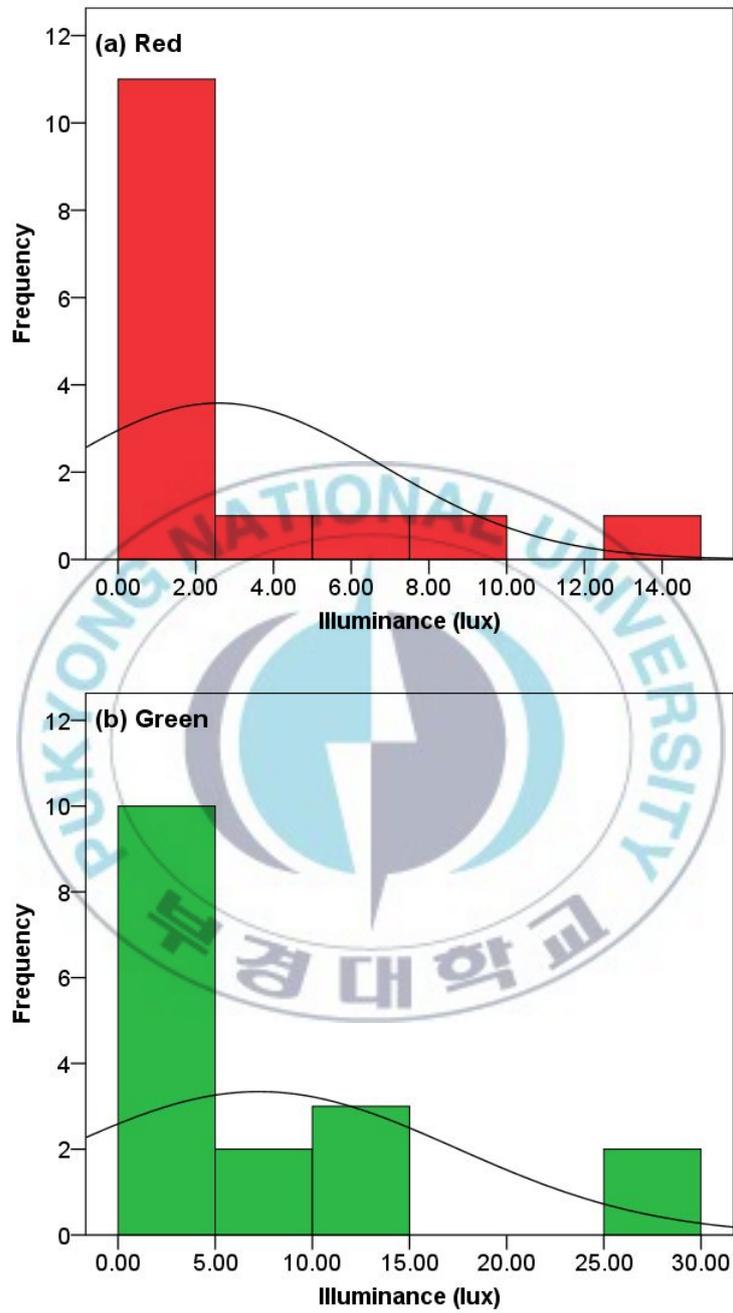


Fig. 5. Histogram of the visual threshold of *Sebastes innermis* by red and green of LED light.

수중조도 0.00 ~ 2.00lux 구간에서 시각역치를 가지는 실험어를 대상으로 체장과 체중이 가장 큰 실험어와 가장 작은 실험어를 각각 선발하여 적색과 녹색에 대한 시각역치변화를 확인 한 결과는 Fig. 6과 같다. 적색과 녹색에서 체장이 큰 실험어가 작은 실험어에 비하여 상대적으로 낮은 시각역치를 나타내는 경향이 있었다. 일반적으로 어류의 시각역치는 연령이 높아질수록 감소한다고 알려진바 있으나 (Boeuf and Bail, 1999), 이 연구에서는 체장은 실험어의 시각역치에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다 (Spearman's rho correlation, red=11, p=0.08; green=10, p=0.51) (Fig. 7).

따라서 실험어는 LED 적색에서 시각학습 효과가 가장 높게 나타났으며 그 다음으로는 녹색, 청색 순으로 시각학습 효과가 높은 것으로 나타났다. 하지만 시각역치는 적색에서 가장 낮았으며 그 다음으로는 녹색, 청색 순으로 수치가 낮게 나타났다. 이러한 결과를 활용하여 육상 가두리 시설에서 어류를 양식할 때 적색 계열의 광원을 사용한다면 먹이반응 및 성장률을 촉진시키는 자극원으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 대서양 대구 치어의 성장률에 관한 연구 (Trippel et al., 2003)와 마찬가지로 지나치게 밝은 수중조도의 경우에는 오히려 어류 활동성을 촉진시켜 성장을 저하시킬 수 있으므로 시각역치 실험결과를 활용하여 적절한 수중조도를 유지시킨다면 생산비 절감 및 생산성 향상 등과 같은 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

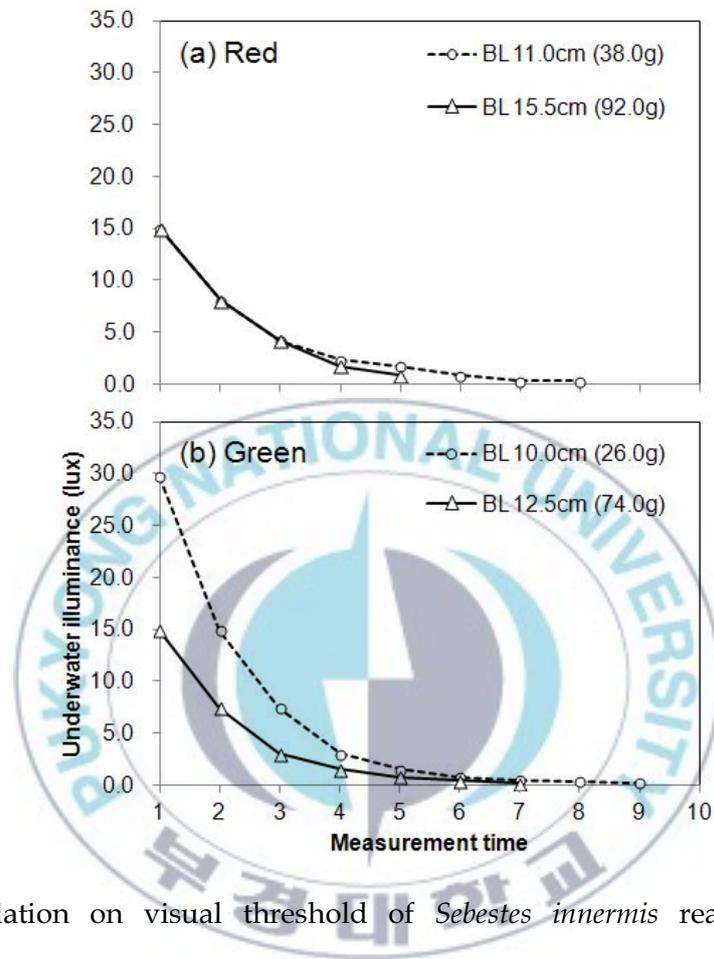


Fig. 6. Variation on visual threshold of *Sebastes innermis* reacted on red, green and blue of LED light.

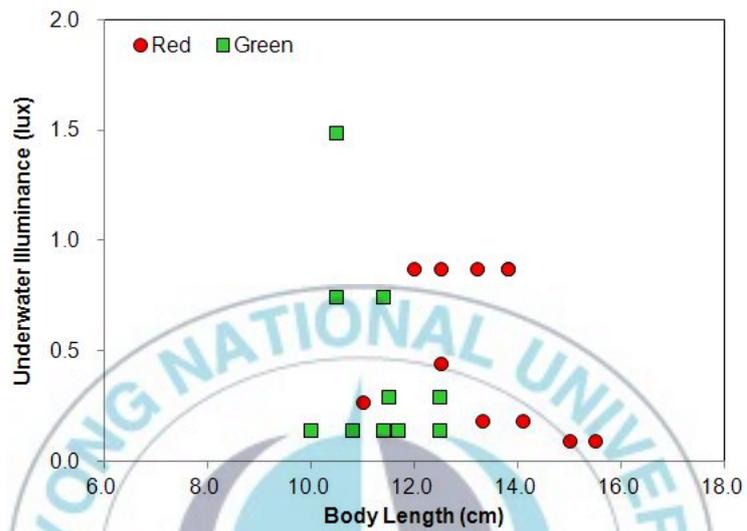


Fig. 7. Relationship between the visual threshold and the body length of *Sebastes innermis* by red and green of the LED light.

요 약

이 연구에서는 LED의 RGB값 (Red, Green, Blue)을 256단계 (0 ~255)로 독립적으로 조절하여 적색, 녹색, 청색 파장대별 빛의 세기와 수중조도와의 관계를 추정하였다. 또한 볼락 (*Sebastes innermis*) 65마리를 대상으로 볼락의 심전도 변화를 측정하여 LED 파장별 시각학습 효과 및 시각역치와의 관계를 구명하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 파장별 밝기 레벨에 따른 수중조도와의 관계식은 적색에서는 $y = 0.073x + 0.1736$ ($R^2=1.0$), 녹색에서는 $y = 0.1478x + 0.0205$ ($R^2=1.0$), 청색에서는 $y = 0.0216x - 0.0009$ ($R^2=1.0$)로 나타났다. 여기서 y 는 수중조도이고 x 는 파장별 RGB값을 나타낸 것이다.
2. LED 광원의 파장별 시각학습 효과를 분석한 결과, 적색에서는 실험어의 65.2%가 시각학습 효과를 나타내었고, 녹색에서는 56.7%, 청색에서는 25.0%로 시각학습 효과가 각각 나타났다. 따라서 실험어는 녹색과 청색보다 적색 조건하에서 시각학습 효과가 높은 것으로 나타났다.
3. 수중조도 구간은 0.00 ~ 2.00lux에서 실험어의 시각역치는 적색에서는 0.09 ~ 0.87lux, 녹색에서는 0.15 ~ 1.49lux로 각각 나타났다.
4. 실험어의 체장과 시각역치와의 상관관계를 분석한 결과, 체장은 실험어의 시각역치에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

사 사

석사과정 수료와 학위논문이 완성되기까지 많은 분들의 도움이 있었습니다.

먼저 이 논문이 틀을 갖추기 까지 열과 성을 다해 가르침을 주신 지도교수 신현옥 교수님께 진심으로 감사드립니다. 바쁘신 가운데서도 많은 조언과 격려를 아끼지 않으신 이주희 교수님, 강일권 교수님, 또한 실험과 논문지도에 각별한 배려를 해주신 강경미 박사님, 황보규 박사님께 진심으로 감사드립니다.

아울러 대학원 과정에서 많은 가르침을 주신 해양생산시스템관리학부 여러 교수님들에게 머리 숙여 감사드립니다.

실험실에서 실험지원과 자료 정리를 도와준 허민아 학생에게 고마움을 전하며, 항상 격려와 도움을 주신 정동주 선배님, 박재용 선배님에게도 감사의 마음을 전합니다.

그리고 저를 위해 조용히 뒷바라지를 해준 사랑하는 아내 이홍주 와 군복무에 열심인 큰아들 정수영, 학업에 열중인 중학교에 다니는 작은 아들 정규영에게 고마움과 사랑을 전합니다. 일일이 열거하지 못한 도움을 주신 모든 분들에게 감사의 말씀을 전합니다.

제가 이룬 모든 것이 격려해 주신 많은 분들의 도움의 결과라 생각하기에 베풀어주신 따뜻한 마음을 항상 간직하겠습니다.

감사합니다.

참고문헌

- An, H.C., B.S. Bae, K.H. Lee, S.W. Park and J.H. Bae. 2012. Operating performance of hair-tail angling vessel using the LED and metal halide fishing lamp combination. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 48(4): 337~345.
- 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(3): 135~143.
- An, Y.I. and H.G. Jeong. 2011. Catching efficiency of LED fishing lamp and behavioral reaction of common squid *Todarodes pacificus* to the shadow section of color LED light. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 47(3): 183~193.
- An, Y.I. and H.G. Jeong. 2012. Fishing efficiency of LED fishing lamp for squid *Todarodes pacificus* by training ship. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 48(3): 187~194.
- 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.

- Bae, B.S., S.K. Cho, B.J. Cha, S.W. Park and H.C. An. 2011. The study on the Anchovy's (*Engraulis japonica*) reaction to several light colors in a tank. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 47(4): 327~337.
- Boeuf, G. and P.Y.L. Bail. 1999. Does light have an influence on fish growth? Aquaculture, 177: 129~152.
- Brill, R., C. Magal, M. Davis, R. Hannah and P. Rankin. 2008. Effects of rapid decompression and exposure to bright light on visual function in black rockfish (*Sebastes melanops*) and Pacific halibut (*Hippoglossus stenolepis*). Fish. Bull. 106: 427~437.
- Choi, S.J. 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(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.
- Guo, B. F. Wang, Y. Li and S. Dong. 2013. Effect of periodic light intensity change on the molting frequency and growth of *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture, 396-399: 66~70.
- Karakatsouli, N. E.S. Papoutsoglou, N. Sotiropoulos, D. Mourtikas, T. Stigen-Martinese and S.E. Papoutsoglou. 2010. Effects of light spectrum, rearing density and light intensity on growth performance of scaled and mirror common carp *Cyprinus carpio* reared recirculating system conditions. Aquaculture Engineering, 42: 121~127.
- Ministry for food, agriculture, forestry and fisheries. 2012. Food, agriculture,

- forestry and fisheries statistical yearbook. Ministry for food, agriculture, forestry and fisheries, 298~335.
- Seo, J.N., H.C. An and D.H. Kim. 2012. Estimating the economic effectiveness of LED fishing light systems for the squid jigging fishery. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 48(4): 346~351.
- Strand, Å, A. Alanärä, F. Staffan and C. Magnhagen. Effects of tank colour and light intensity on feed intake, growth rate and energy expenditure of juvenile Eurasian perch, *Perca fluviatilis* L. Aquaculture, 272: 312~318.
- Taylor, J.F., B.P. North, M.J.R. Porter, N.R. Bromange and H. Migaud. 2006. Photoperiod can be used to enhance growth and improve feeding efficiency in farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, Aquaculture, 256: 216~234.
- Tripperl, E.A. and S.R.E. Neil. 2003. Effects of photoperiod and light intensity on growth and activity of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). Aquaculture, 217: 633~645.
- Vopato, G.L., T.S. Bovi, R.H.A. de Freitas, D.F. da Silva, H.C. Delicio, P.C. Giaquinto and R.E. Barreto. 2013. Red light stimulates feeding motivation in fish but does not improve growth. PLoS ONE, 8(3): e59134.
- Widdera, E.A., B.H. Robisonb, K.R. Reisenbichlerb, S.H.D. Haddock. 2005. Using red light for in situ observations of deep-sea fishes. Deep-Sea Research I, 52: 2077~2085.