

수온 및 LED 광원에 대한 볼락 (*Sebastes inermis*)의 행동 분석

허겸 · 김민선¹ · 신현옥^{2*}

부경대학교 수산물리학과, ¹군산대학교 해양생산학과, ²부경대학교 해양생산시스템관리학부

Behavior analysis of rockfish (*Sebastes inermis*) depending on the temperature and LED lights

Gyeom HEO, Min-Son KIM¹ and Hyeon-Ok SHIN^{2*}

Department of Fisheries Physics, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

¹*Department of Marine Science& Production, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea*

²*Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Korea*

In order to establish the basic data for the growth of fish in the aquaculture industry, the behavior analysis of rockfish (*Sebastes inermis*) depending on the temperature and LED lights was conducted. In this study, water temperatures were set from 3°C to 30°C were used. One red light (wave length: 622 nm; light power: 811 mW) and one green lights (wave length: 518 nm; light power: 648 mW) were used. Behavior of the rockfish was expressed as average moving distance (AMD) for 1 minutes and a rate of movement. The mean AMD depending on the temperature was 1.0 m and the mean rates of movement was 50%. The mean AMD were 1.5 m, 1.9 m and 0.7 m in the red LED light, green LED light and control condition respectively. The mean rates of movement were 54%, 65% and 45% in the red LED light, green LED light and control condition respectively.

Keywords : LED, Behavior, Rockfish

서론

볼락은 연안의 생물군집 중 높은 위치에 속하는 어종으로 연안어업에서 중요한 어종이며 (Hatanaka and Iizuka, 1962), 연안 환경에 강한 이점으로 인하여 양식대상으로 유망하다(Chyung, 1977; Lee and kim, 1992). 지금까지 볼락에 대한 연구로는 초기생활사 (Kim and Han, 1993; Kim et al., 1993), 양식산 볼락의 성장 특성 (Choi et al.,

2005), 수온과 광주기에 따른 볼락 치어의 산소 소비율 (Oh and Noh, 2006) 그리고 볼락의 산출 후 초기 성장 및 눈의 조직학적 발달 특성 (Park et al., 2012) 등이 있다.

어류의 성장에서 수온은 중요한 변수가 되며, 급격한 수온의 변화는 체내의 항상성 및 생리조건을 악화시키는 등 성장에 큰 영향을 미칠 수 있다 (Barton and Iwama, 1991; Pickering, 1992).

*Corresponding author: shinho@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-5893, Fax: +82-51-629-5886

LED 광원이 개발된 후 여러 산업에서 LED 광원의 사용이 활발히 이루어지고 있다. 어업에서는 어선의 집어등으로의 활용을 위한 여러 연구가 진행되었으며, 양식 산업의 생산성 향상을 위한 연구가 진행되고 있다 (Cha et al., 2010; Choi, 2013).

이 연구는 양식 산업의 경제성 향상을 위하여 양식 환경에서의 수온에 대한 불락의 행동의 변화 및 수온에 대한 LED 광원별 차이를 분석하였다. 불락의 행동 변화에 대한 분석은 수생 환경에서 어류의 변화 탐지에 활발히 사용되는 영상분석 (Kane et al., 2005)을 이용하였으며, 행동 변화의 비교는 불락의 평균 이동거리 및 이동률을 구하여 분석하였다.

자료 및 방법

실험어

실험에 사용한 실험어는 경상남도 통영수산자원연구소에서 부화시킨 불락을 부경대학교 용당캠퍼스 실험실로 옮겨 사용하였으며, 실험은 실험어의 실험실 환경에 대한 적응을 위하여 사육기간이 1개월 이상 지난 후 실시하였다.

실험에 사용된 불락은 평균 체장 620.0 mm인 10마리였으며, 실험은 2015년 10월 5일부터 2015년 10월 25일까지 실험 ①을 실시하였고, 2015년 11월 2일부터 2015년 11월 19일까지 실험 ②를 실시하였다.

실험환경 및 수온 설정

실험에 사용된 수조는 직사각형 모양의 수조 (L105 cm×W60 cm×H60 cm) 1개로 수조의 수위는 약 50 cm로 조절하였으며, 수조에는 순환여과장치 및 살균장치를 설치하였다. LED 광원을 이용한 실험이므로 외부에서 유입되는 자연광 차단을 위하여 암막 커튼을 설치하였다.

먹이는 오전 9시에서 10시 사이 1회, 오후 5시에서 6시 사이 1회로 총 2회를 공급하였다. 먹이의 양은 실험어 무게의 약 0.2%를 공급하였으며, 수온은 히터와 냉각기를 이용하여 설정하였다.

실험 ①은 수온을 증가시킬 때 증가된 수온에서 실험어의 행동을 분석하기 위해 수행하였다. 수온은 18℃에서 30℃까지 매일 1℃씩 증가시켰으며, 실험어의 먹이 반응이 없는 온도에서 실험을 종료하였다. 실험 ②는 수온을 감소시킬 때 감소된 수온에서 실험어의 행동을 분석하기 위해 수행하였다. 수온은 17℃에서 3℃까지 매일 1℃씩 감소시켰으며, 실험 ①과 같이 실험어의 먹

이 반응이 없는 온도에서 실험을 종료하였다.

LED 광원 및 영상 기록

LED 광원은 L45 cm×W45 cm의 평판형을 사용하였으며, LED 광원 2개씩을 합판으로 된 구조물에 고정하여 수조의 상부에 설치하였다. LED 광원은 13시부터 16시까지 3시간을 1세트로 하여 매일 실험을 실시하였다. LED 광원은 13시 적색등 점등, 40분 후 소등, 14시 녹색등 점등 및 40분 후 소등, 15시 60분간 소등하였다. 실험실 안에는 LED 광원 이외에 20 W의 3파장 전구 1개를 설치하였다.

LED 광원의 파장은 적색광 (Wave length : 622 nm; Light power : 811 mW) 및 녹색광 (Wave length : 518 nm; Light power : 810 mW)을 사용하였으며, LED 광원 제어 프로그램을 이용하여 조절하였다. 적색광 및 녹색광과의 비교를 위해 LED 광원을 소등한 상태로 자연광에 노출된 대조구를 사용하였다 (Table 1).

Table 1. Specification of each LED light

	Light color	LED value	Wave length (nm)	Light power (mW)
1	Red	110	622	811
2	Green	138	518	810
3	Control			

실험 환경에 대한 실험어의 행동을 분석하기 위하여, 수조에 적외선 기능이 탑재된 CCTV 카메라를 설치하여 수조의 가로 및 세로면을 촬영하였다. 촬영된 영상은 디지털녹화장치 (H0401L, NADATEL Co., Korea)를 사용하여 기록하였다 (Fig. 1).

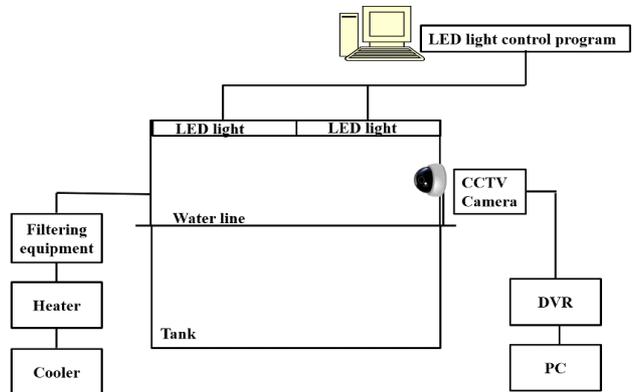


Fig. 1. Schematic diagram of experimental set up for behavior analysis.

행동 분석

행동 분석을 위하여 하루 3시간 주기로 촬영한 영상을 영상분석 소프트웨어 (PV studio 3D 2.3, PAIKIN COMTEC., Japan)를 사용하여 실험어의 위치를 추적하였다.

대상어의 위치 추적은 1초당 약 32프레임의 정지 화면으로 나누어 실시하였다. 임의의 하나의 대상을 추적하는 도중 대상이 추적이 불가능한 사각지대로 사라지는 경우, 다른 대상을 추적하였다. 추적 대상을 변경한 경우, 대상을 변경하는 지점의 프레임 번호를 기록하여 계산 과정에서 수정하였다.

수온에 대한 실험어의 행동 분석을 위하여, 대조구에서 촬영한 영상을 4~28℃를 2℃ 간격으로 각각 30분간 대상을 추적하였다. 수온 및 LED 광원에 대한 실험어의 행동 분석을 위하여, 적색광, 녹색광 및 대조구에서 촬영한 영상을 4~25℃를 7℃ 간격으로 각각 30분간 대상을 추적하였다. 촬영된 영상에서 LED 광원 조절 프로그램의 오류로 인하여, LED 광원의 점등 및 소등이 확인된 영상만을 추출하여 분석하였다.

추적 대상의 위치는 엑셀 파일에서 X축과 Y축의 2차원 좌표로 나타내어 30분 동안의 이동 거리를 계산하였다. 또한 1~5초 동안의 평균 좌표 (x_1, y_1), 6~10초 동안의 평균 좌표 (x_2, y_2), 1,795~1,800초 동안의 평균 좌표 (x_{360}, y_{360}) 사이의 거리를 구하였다. 이 거리가 실험어의 평균 체장 620.0 mm의 절반인 320.0 mm보다 클 때 이

동성이 있다고 판단하여 30분 동안의 비율을 구하였다.

결과

수온에 대한 행동 분석

수온에 대한 볼락의 행동을 분석하기 위하여, 4~28℃의 수온 범위에서 볼락의 1분간 평균 이동 거리 (AMD: Average Moving Distance for 1min, m) 및 이동률 (Rate of Movement, %)을 나타낸 것은 Fig. 2와 같다.

수온에 대한 평균 AMD는 1.0 m이었으며, 평균 이동률은 50%였다. AMD가 최대였던 온도는 20℃ (2.2 m)였으며, 최소였던 온도는 26℃ (0.9 m)였다. 이동률이 최대였던 온도는 14℃ (81%)였으며, 최소였던 온도는 26℃ (16%)였다.

수온에 대한 LED 광원별 행동 분석

수온에 대한 LED 광원별 볼락의 행동을 분석하기 위하여, 4~25℃의 수온 범위에서의 AMD를 LED 광원별로 나타낸 것은 Fig. 3과 같다. 4℃에서의 평균 AMD는 0.9 m였으며, 적색광에서 최대 AMD 1.9 m였다. 11℃에서의 평균 AMD는 1.5 m였으며, 녹색광에서 최대 AMD 2.3 m였다. 18℃에서의 평균 AMD는 1.4 m였으며, 녹색광에서 최대 AMD 2.4 m였다. 25℃에서의 평균 AMD는 1.5 m였으며, 녹색광에서 최대 AMD 2.1 m였다.

4~25℃의 수온 범위에서의 이동률을 LED 광원별로 나타낸 것은 Fig. 4와 같다. 4℃에서의 평균 이동률은

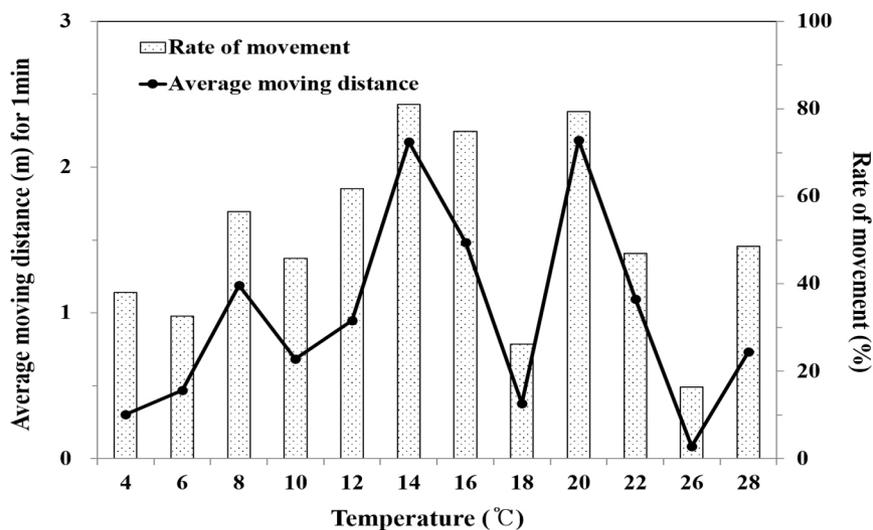


Fig. 2. Average moving distance (m) for 1 min during 4℃ and 28℃.

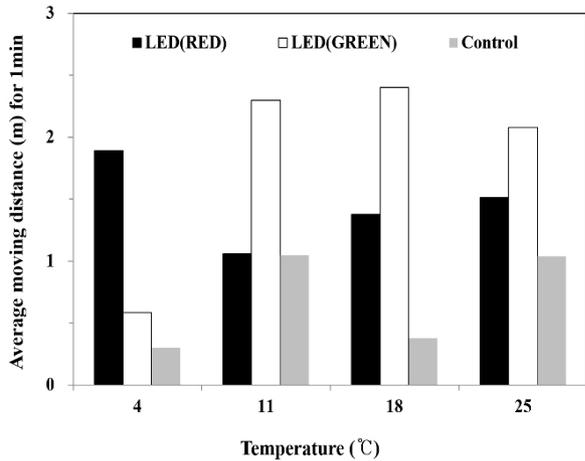


Fig. 3. Average moving distance (m) for 1 min during 4°C and 28°C.

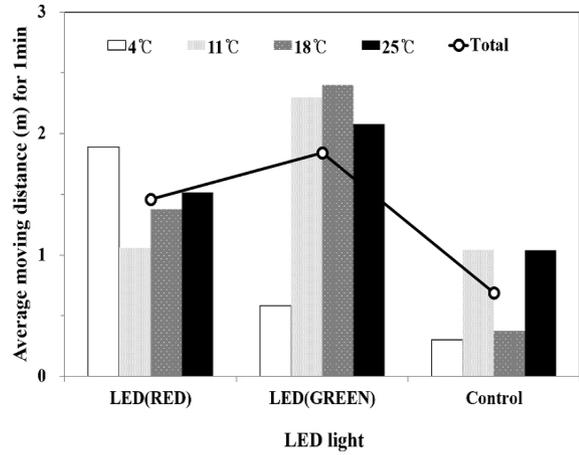


Fig. 5. Average moving distance (m) for 1 min during wavelength of LED light.

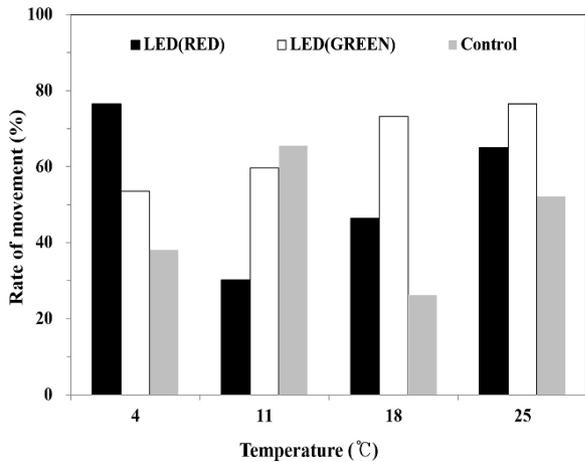


Fig. 4. Rate of movement (%) during 4°C and 28°C.

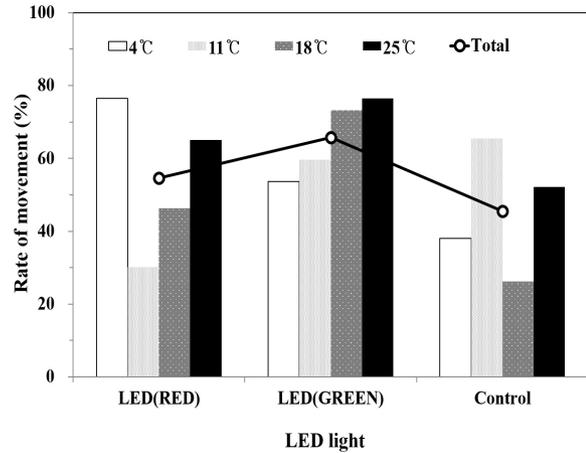


Fig. 6. Rate of movement (%) during wavelength of LED light.

56%였으며, 적색광에서 최대 이동률 76%였다. 11°C에서의 평균 이동률은 52%였으며, 대조구에서 최대 이동률 66%였다. 18°C에서의 평균 이동률은 49%였으며, 녹색광에서의 최대 이동률은 73%였다. 25°C에서의 평균 이동률은 65%였으며, 녹색광에서의 최대 이동률은 76%였다.

LED 광원에 대한 수온별 행동 분석

LED 광원에 대한 수온별 불락의 행동을 분석하기 위하여 적색광, 녹색광 및 대조구에서의 AMD를 수온별로 나타낸 것은 Fig. 5와 같다. 적색광에서의 평균 AMD는 1.5 m였으며, 4°C에서는 최대 AMD 1.9 m였다. 녹색광

에서의 평균 AMD는 1.9 m였으며, 18°C에서는 최대 AMD 2.4 m였다. 대조구에서의 평균 AMD는 0.7 m였으며, 11°C에서는 최대 AMD 1.1 m였다.

적색광, 녹색광 및 대조구에서의 이동률을 수온별로 나타낸 것은 Fig. 6과 같다. 적색광에서의 평균 이동률은 54%였으며, 4°C에서는 최대 이동률 76%였다. 녹색광에서의 평균 이동률은 65%였으며, 25°C에서는 최대 이동률 76%였다. 대조구에서의 평균 이동률은 45%였으며, 11°C에서는 최대 이동률 65%였다.

고 찰

이 연구는 어류의 생물학적 리듬 및 대사과정에 중요한

인자인 수온 및 광주기(Brett and Groves, 1979; Biswas and Takeuchi, 2002)에 대한 볼락 행동 분석을 목표로 하였다. 수온 및 LED 광원의 실험 환경에 대한 볼락 행동 분석을 위하여 1분간 평균 이동 거리 (AMD) 및 이동률을 사용하였는데, 두 지표는 유의한 양상을 보였지만 서로 다른 값을 나타내기도 하였다. 이 점은 분석한 개체수가 적은 것이 원인으로 생각되며, 추가적인 실험이 필요한 것으로 판단된다.

수온에 대한 볼락 행동 분석 결과에서, 실험을 시작할 때의 온도인 18℃를 제외한 16℃ 및 20℃에서의 볼락의 활동량이 높았으며, 수온이 증가하거나 감소할 때에 활동량이 감소하는 것으로 나타났는데, 그것은 볼락의 서식 적수온이 약 15~20℃인 것과 관계가 있다고 판단된다. 서식 적수온에서의 활동량은 서식 적수온보다 높거나 낮은 수온에서의 활동보다 정상적인 활동을 할 것으로 예상되었으나, 실험 결과에서는 18℃에서의 활동량은 이와 상반되게 나타났다. 이것은 수온 18℃에서 실험을 시작한 것과 다소 관계가 것으로 추측되며, 추가적인 실험을 통해 서식 적수온과 활동량의 관계를 규명할 필요가 있다고 판단된다.

수온에 대한 LED 광원별 볼락의 행동 분석 결과, 4℃를 제외한 모든 온도에서 녹색광에서의 활동량이 높았다. Heo et al. (2016)의 볼락의 24시간 평균 활동량 분석에서 녹색광에서의 활동량이 적색광과 비교하여 적거나 유의했던 결과와 상반된 결과로 나타났다. 환경 요인의 변화에 대한 생물의 반응은 생물 고유의 항상성조절 작용원리를 따르며, 그 정도는 행동 정도 및 여러 인자에 의해 다르게 나타난다 (Spanopoulos-hernández et al., 2005). 따라서 이 실험의 결과는 수온 및 LED 광원에 대한 볼락의 복합 반응에 의한 결과라고 판단된다.

적색광 및 녹색광에서의 활동량은 대조구에서의 활동량보다 높게 나타났다. 이 실험을 13~16시 동안에 실시한 점에서 야행성 어종인 볼락이 적색광 및 녹색광에서 영향을 받아 활동량이 많아진 것으로 추측되며, 실험 시작 시간을 조정하여 추가적인 실험으로 결과를 비교할 필요가 있다고 판단된다.

결론

이 연구는 2015년 10월 5일부터 2015년 10월 25일까지 그리고 2015년 11월 2일부터 2015년 11월 19일까지 두 차례에 걸친 실험을 바탕으로 볼락의 행동을 분석하였다.

적색광, 녹색광 및 대조구를 이용하여 수온에 대한 볼락의 행동 분석을 실시하였으며, 볼락의 이동거리 (AMD) 및 이동률을 지표로 분석을 실시하였다. 수온에 대한 볼락의 평균 AMD는 1.0 m였고, 평균 이동률은 50%이었다. 수온 및 LED 광원에 대한 볼락의 평균 AMD는 적색광, 녹색광 및 대조구에서 각각 1.5 m, 1.9 m 및 0.7 m였다. 수온 및 LED 광원에 대한 볼락의 평균 이동률은 적색광, 녹색광 및 대조구에서 각각 54%, 65% 및 45%이었다.

이와 같은 연구는 양식 산업에 중요한 수온에 대한 볼락의 행동 변화와 수온 및 LED 광원에 대한 볼락의 행동 변화를 관찰하여 양식산업에서의 효과적인 어류의 성장에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

사사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비 (2015년)에 의하여 연구되었으며, 실험어를 제공한 경상남도 수산자원연구소에 깊은 감사를 포함합니다.

References

- Barton BA and Iwama GK. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids, *Annu Rev Fish Dis* 1, 3-26.
- Biswas AK and Takeuchi T. 2002. Effect of different photo-period cycles on metabolic rate and energy loss of both fed and unfed young tilapia *oreochromis niloticus*: part II. *Fish Sci* 68, 543-553.
- Brett JR and Groves TDD. 1979. *Physiological energetics in fish physiology*, ed. Hoar WH, Randall DJ and Brett JR, Academic Press, New York, 279-352.
- Choi CY. 2013. Development of the high valued product of marine fish using an environmental-friendly LED light. Korea Maritime University.
- Choi HJ, Hong KP, Oh SY, Noh CH, Park YJ, Myoung JG, Kim JM, Hur JW, Zhang CI and Park IS. 2005. Growth Characteristics of Cultured Dark-Banded Rockfish, *Sebastes inermis* Cuvier. *J of Aquaculture* 18(3), 147-153.
- Chyung MK. 1977. *The Fishes of Korea*. Il-Ji Sa Publishing Co, Seoul, 107-108.

- Hatanaka MY and Iizuka KK. 1962. Studies on the fish community in the Zostera area-III. Efficiency of production of *Sebastes inermis*. Jap Fish Soc 28, 305-313.
- Heo G. 2016. A study for behavior analysis of rockfish (*Sebastes inermis*) corresponding to the LED light by image analysis. J Korean Soc Fish Technol 52(1), 36-41. (DOI:10.3796/KSFT.2016.52.2.096)
- Kane AS, Salierno JD and Brewer SK. 2005. Fish models in behavioral toxicology: Automated techniques, updates, and perspectives, ed. Ostrander Gk, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 559-590.
- Kim YU and Han KH. 1993. The early life history of the rockfish, *Sebastes inermis*. 1. Egg development and morphology of larvae by artificial treatment in aquarium. J Korean Fish Soc 26, 458-464.
- Lee TY and Kim SY. 1992. Reproduction and embryonic development within the maternal body of ovoviparous teleost, *Sebastes inermis*. Bull Kor Fish Soc 25, 413-431.
- Oh SY and Noh CH. 2006. Effects of water temperature and photoperiod on the oxygen consumption rate of juvenile dark-banded rockfish, *Sebastes inermis*, J of Aquaculture 19(3), 210-215.
- Park IS, Park HJ, Gil HW and Goo IB. 2012. Early growth and characteristic of histological eye development in post parturition dark banded rockfish, *Sebastes inermis*, Dev Reprod 16(2), 101-106.
- Pickering AD. 1992. Rainbow trout husbandry: management of the stress response. Aquaculture, 100 125-139.
- Spanopoulos-hernandez M, Carlos A, Martinez-Palacios RC, Vanegas-Perez, Rosas C and Ross LG. 2005. The combined effects of salinity and temperature on the oxygen consumption of juvenile shrimps *litopenaeus stylirostris*, Aquaculture 244, 341-348.
-
2016. 08. 02 Received
2016. 08. 29 Revised
2016. 08. 30 Accepted