

쏙(*Upogebia major*)의 광반응 분석시스템 구축과 발광다이오드 (Light-Emitting Diode) 파장별 행동분석

장준철^{1,2} · 정종균² · 허윤성² · 송재희³ · 김종명^{1*}

¹부경대학교 수산생물학과, ²부경대학교 LED-해양 융합기술 연구센터, ³국립수산과학원 갯벌연구센터

Behavioral Monitoring System for Mud Shrimp *Upogebia major* and the Photoresponse to Illumination with Different Wavelength LEDs

Jun-Chul Jang^{1,2}, Jong-Kyun Chung², Youn-Seong Hur², Jae-Hee Song³ and Jong-Myoung Kim^{1*}

¹ Department of Fisheries Biology, Pukyong National University, Busan 48515, Korea

² LED-Marine Convergence Technology R&D center, Pukyong National University, Busan 48547, Korea

³ Tidal Flat Research Center, National Institute of Fisheries Science, Gunsan 54014, Korea

The increase in the number of mud shrimps *Upogebia major* is a concern because of their negative effects on shellfish aquaculture, including Manila clam *Venerupis philippinatum* along the west coast of Korea. This study developed a behavioral analysis system for aquatic animals using a set of monochromatic light-emitting diode (LED) modules covering the visible light range at similar intervals. Movements of mud shrimp were monitored using a tracking system under illumination with infra-red light and an LED of 660 nm wavelength without provoking stimulation. The minimum light intensity needed to induce a photoresponse by the mud shrimp was 10 $\mu\text{mole}/\text{m}^2/\text{s}$ under the conditions tested. Of the six kinds of LED illuminations tested, the most sensitive response was obtained with illumination with the 505 nm LED, followed in order by LEDs with peak wavelengths of 525 nm \approx 465 nm > 405 nm \approx 590 nm > 660 nm. These findings should help to identify LED sources that efficiently induce movement of the mud shrimp and also for monitoring movement without stimulating.

Key words: Mud shrimp *Upogebia major*, LED (Light Emitting Diodes), Photo-response

서론

쏙(*Upogebia major*) (de Haan, 1841)은 동북아시아 등지의 갯벌에서 서식하는 갑각류이다(Kinoshita, 2002; Liu and Liu, 2012). 한국 서남해의 조간대에서 주로 발견되는 쏙은 대규모로 이루어지는 종 특유의 생물교반(bioturbation) 활동(Rowden and Jones, 1993)을 통하여 갯벌 퇴적물을 교반하거나 저서 생물의 군집에 영향을 주는 갯벌 생태학 연구에 중요한 종의 하나이다(Wynberg and Branch, 1994). 쏙의 이상 발생이 갯벌생태계에 미치는 영향(Hong, 2013)을 비롯한 다양한 관심에도 불구하고, 자세한 분류학적 위치, 외부 형태 및 국내의 지리적 분포, 서식처의 구조, 생리 및 생태 외에 생태계 공학 측면에서의 쏙의 기능과 생리적 특성 등에 대하여 제한된 정보만이 알려져 있다. 쏙의 갑작스런 서식 밀도 증가는 생물교반 활동에 따른 퇴적

상 변화로 인해 기존 생물들의 서식지를 침범하여 생태계 교란을 유발하며, 주변의 갯벌 생태계에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Hong, 2013). 국내 서해안 일부 갯벌에서는 쏙의 이상 증식으로 인하여 바지락의 서식처가 피해를 받아 생산량이 1/10 수준으로 급감했던 사례가 보고된 바 있으며 쏙 개체의 조절을 위한 연구 필요성이 제기되었다(Park et al., 2013). 국내외 퇴적 관련 연구 사례로는 쏙의 신경접합부에 있는 acetylcholinesterase의 활동을 저해시켜 과잉 활동 시 근육 및 호흡 마비로 죽음에 이르게 하는 Carbaryl (1-naphthyl methylcarbamate)이라는 살충제를 간조 시에 갯벌에 뿌려 쏙에 의한 굴 양식장 피해를 줄이려는 시도를 들 수 있다(Estes, 1986). 미국에서의 이러한 시도가 쏙 군집 감소에는 효과적이었다고 보고되기는 하였지만(Buchanan et al., 1985; Armstrong et al., 1989), 다른 저서성 무척추동물에도 영향을 미치는 단점을 보임에 따라

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0413>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 50(4) 413-420, August 2017

Received 29 June 2017; Revised 18 July 2017; Accepted 31 July 2017

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5919 Fax: +82. 51.629.5908

E-mail address: jongkim@pknu.ac.kr

비특이적 살충제의 사용이 금지되었다(Lindsay, 1961). 이러한 방법들의 단점을 만회하고자 썩의 천적을 활용하거나 전기 충격 등을 사용하는 방안이나(Dumbauld et al., 2008) 양식방법의 변형을 통한 피해 저감 방안 등 다양한 대책들이 제시되었다(DeFrancesco and Murray, 2010). 장비를 이용한 썩 서식 깃벌의 경우 방법의 경우 서식처를 교란하여 썩을 굴 밖으로 노출시켜 갈매기 등에 의한 포식 등으로 어느 정도 썩 서식량을 줄일 수는 있으나 매년 경우를 실시해야 하는 애로사항이 있다. 또한, 썩의 서식 밀도와 지반의 경도에 따라 경우 자체가 어려운 깃벌들이 존재할 뿐만 아니라, 퇴적 환경의 물리적 교란은 퇴적물의 구조를 변형시켜 깃벌에 서식하는 동물과 수생식물에 심각한 손상을 주며 표층 생물에도 어느 정도 영향을 미치는 것으로 보고된 바(Herkül et al., 2011) 있어 현장 적용의 어려움이 예상된다. 따라서 환경에 무해한 방식의 생물의 조절 방법 개발을 통한 근본적인 원인 해결책 모색을 위해서는 썩의 생리적 감각을 이용한 유인이나 제어 등 생리적 특성에 대한 더 많은 정보가 필요할 것이다.

LED (Light Emitting Diodes)는 친환경적인 조명기구로서, 에너지 효율이 높고, 수명이 긴 장점을 가지고 있어 실내 외의 다양한 분야에서 기존 조명을 대체해 가고 있다. 복합 파장을 나타내는 자연 태양광원이나 기존의 인공 광원과는 달리 LED는 특정 파장영역만 조사할 수 있는 차별적인 특성을 가지고 있다(Migaud et al., 2007; Shin and Kim, 2009). 최근에는 LED를 어류기반 수산업에 이용하는 융합연구가 진행되어, 관상어 및 양식어종에 대한 파장 별 스트레스, 호르몬 등의 생리학적 분석(Shin et al., 2011) 연구 외에, 주로 집어등 포획어종의 광반응 관련 연구를 중심으로 행동학적 실험이 진행되었다(Jang et al., 2016). 전복 등의 패류에서도 LED 조명을 이용한 융합연구도 진행된 바 있으나(Gao et al., 2016), 갑각류 관련 융합연구사례는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 서해안 지역의 조간대 패류 양식장 환경에 영향을 미치는 썩의 친환경적인 행동

제어와 생리반응에 대한 기초자료를 제공하기 위하여 광 자극에 행동 분석 시스템을 구축하고 LED 파장별 행동특성을 분석하여 광 조사 시 유도되는 유인/제어 행동 변화 및 파장별 영향을 확인하였다.

재료 및 방법

실험 생물

본 실험에 사용된 썩은 충남 보령시 주교면 송하리 깃벌에서 137마리를 직접 획득하였으며, 평균 크기는 두흉 갑장이 28.4 ± 5.1 mm, 전장이 95.3 ± 10.7 mm 이었다. 운반된 썩은 부경대학교 LED-해양 융합기술 연구센터 내 0.5 ton 규모의 순환 여과조에 냉각장치를 이용하여 18°C에서 3일간 순치 후 실험을 진행하였다. 파장별 광반응은 수조당 20마리, 행동분석은 5마리의 썩으로 실험을 수행하였다.

LED 조명 설계 및 광학 측정

본 실험을 위해 제작한 조명은 가시광선 영역에서 6가지 단일 파장영역을 선정하였다. 광반응 실험용 조명기구는 LUXPIA (Suwon, Korea)사에서 구입한 LRU1056 (Red, 660 nm), LAU1056 (Amber, 590 nm), LGH1056 (Green, 525 nm), LCH1056 (Cyan, 505 nm), LBH1056 (Blue, 465 nm), LVH1056 (Violet, 405 nm) LED package를 사용하여 제작하였다. LED 모듈은 10 직렬 12병렬로 설계하였으며, 효과적인 열 방출을 위하여 Metal PCB를 사용하였다. 완성된 LED 모듈의 크기는 420(L) × 320(W) × 50(H) mm이며, 덮개는 10 mm 두께의 강화유리를 사용하여 제작하였으며, 수중에만 빛이 조사될 수 있도록 수위에 맞춰 가림판을 설치하였다.

실험에 사용된 조명은 제어기를 부착하여 동일한 광량이 조사되도록 조절하여 실험을 진행하였다. 동일한 광량 조건을 확보하기 위하여 적분구(Withlight Co., Korea)를 사용하여 광학 측

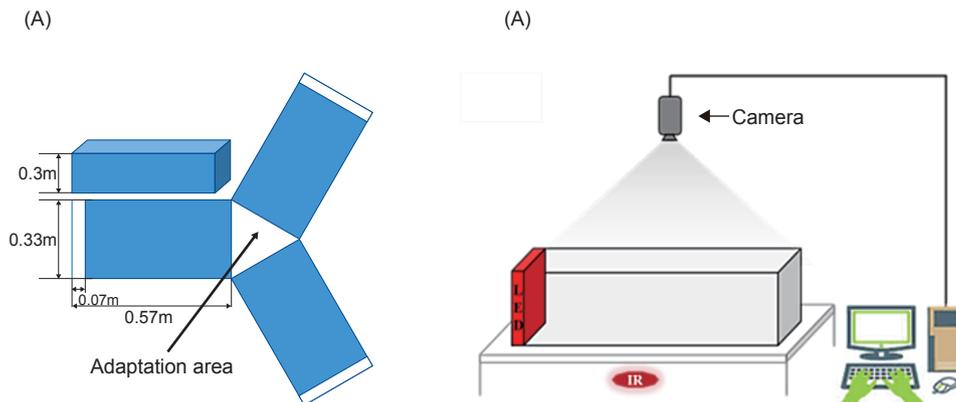


Fig. 1. (A) Structure diagram of the Y-type cage aquarium constructed for photo-response analysis, and (B) schematic diagram of the experimental set up for behavior analysis.

정을 실시하였으며, 최고 및 최저로 조정된 조명의 단계별 광량은 라디오미터를 사용하여 측정하였다. 수중 투과율에 따른 광량 분석은 실험용 수조에서 파장별 광원으로부터 거리 간격을 두고 라디오미터를 통하여 측정하였다.

파장별 광반응

파장별 광반응 분석 시스템은 서로의 빛이 간섭하지 않는 조건의 Y자 형태의 수조로 제작하였다. Y자 모형의 접점지역에 쪽 20마리를 두고 1시간 이상 암순응 시킨 후 10초 동안 LED 점등 시, 실험 수조 양끝으로 이동 행동을 보이는 개체를 계수하여 분석하였다. 쪽이 인지하는 최소 광량을 확인하기 위하여 3가지의 광량(1, 10, 50 $\mu\text{mole}/\text{m}^2/\text{s}$)과 6가지 파장(405, 465, 505, 525, 590, 660 nm) 조건으로 광반응 실험을 진행하였다.

행동분석

LED 광원이 쪽의 초기 행동에 미치는 분석 실험은 6가지 파장의 LED와 반응하는 최소 광량인 10 $\mu\text{mole}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 15번 반복 실험하였다. 실험에 사용된 쪽은 5마리이며 바닥면과 LED 빛을 조사하는 부분을 제외하고는 흰색 시트지를 붙여, 분석하고자 하는 생물과의 명암 대조를 이용하여 추적하였다. 실험수조를 원형반침대 가운데에 두고, 바닥에 쪽이 인지하지 못하는 적외선 램프(R95 IR Red, Philips lighting, Netherlands)를 아래에 사용하여 물체를 탐지할 수 있도록 하였으며, LED 광원은 수조의 좌측면에 배치하여 수중으로만 투과될 수 있도록 진행하였다. 동물행동 분석은 Ethovision XT10 (Noldus, Wageningen, Netherlands)을 사용하여 실험을 진행하였으며, 1시간 이상 충분히 암순응 시킨 상태에서의 움직임과 LED 조사 후 1분간의 움직임을 CCD 카메라를 사용하여 촬영하고 소프트웨어를 사용하여 속도변화 차이를 분석하였다. 행동분석 녹화 시, 개체의 겹침 현상으로 인한 불완전 추적의 경우에는 행동분석 데이터에서 제외하였다. 광원이 쪽의 움직임에 미치는 효과를 자세히 분석하기 위하여 유사한 결과를 보이는 3가지 파장을 선정하여 동일한 방법으로 3회씩 5세트의 반복 실험을 실시하였다. CCD 카메라를 이용하여 조명 점등 전후의 1분간의 행동을 촬영하였으며, 동물행동 분석장치를 이용하여 움직임 추적과 히트맵 분석을 진행하였다.

통계처리

실험의 결과의 통계 처리는 SPSS 프로그램(version 23.0; SPSS Inc., USA)을 사용하였으며, 평균값을 일원분산분석 한 후, Tukey의 사후 검정을 통해 $P < 0.05$ 수준에서 항목간의 유의적인 차이를 검정하였다.

결론 및 고찰

광반응 모니터링 분석 시스템 구축

적분구를 사용하여 측정된 조명의 광학적 특성은 Table 1과 Fig. 2에 나타내었다. 사용된 LED 조명의 최대 파장 및 반치폭은 각각 Red (660/17.88 nm), Amber (590/18.87 nm), Green (525/31.43 nm), Cyan (505/31.30 nm), Blue (465/21.94 nm), Violet (405/16.52 nm)로 나타났다.

빛은 파장 별로 수심에 따른 투과력이 다르므로 수조 내 위치에 따른 광량을 분석하기 위하여, 실험 수조의 한 쪽 끝에 LED 조명을 두고 수중 거리 별로 투과되는 광량을 측정하였다. 수중에서 10반복 측정된 광량을 바탕으로 작성한 감소 곡선을(Fig. 3) 보면, Y-형 수조의 한 쪽 끝에서 조사한 파장별 광원은 생물이 위치한 0.5 m 지점에서는 광량이 각각 Violet (6.97%), Blue (9.39%), Cyan (9.02%), Green (8.56%), Amber (5.92%), Red

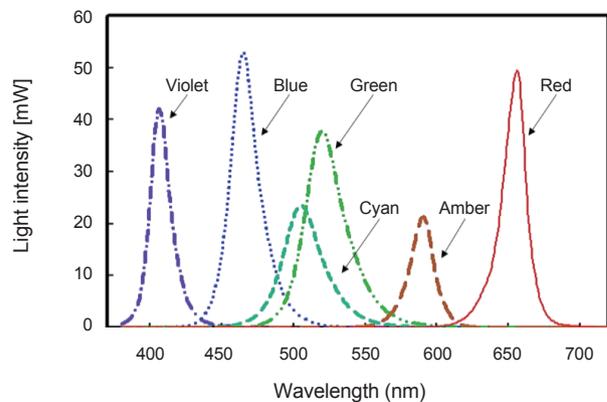


Fig. 2. Spectral power distributions of LED sources measured by using an integrating sphere.

Table 1. Specification of LED modules constructed for monitoring the photo-response

	Peak wavelength (nm)	Full width at half maximum (nm)	Radiant flux (mW)	Current (A)
Violet	405	16.52	829.6	0.108
Blue	465	21.94	1438.6	0.104
Cyan	505	31.30	892.5	0.104
Green	525	31.43	1417.5	0.105
Amber	590	18.87	486.2	0.099
Red	660	17.88	1106.5	0.096

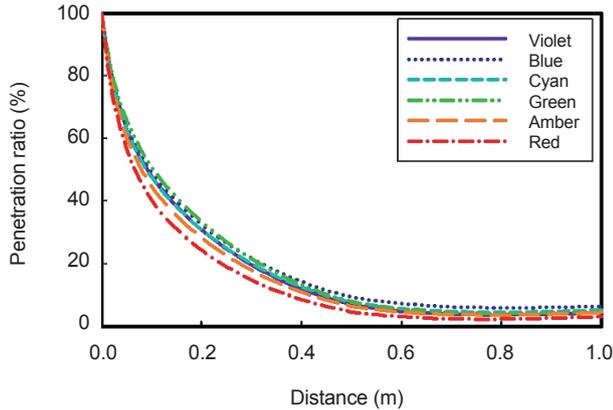


Fig. 3. Underwater penetration characteristics of LEDs measured from the surface of the experimental tank.

(4.64%) 였으며, 1 m 떨어진 지점에서의 광량은 각각 Violet (5.59%), Blue (7.28%), Cyan (6.30%), Green (5.92%), Amber (5.47%), Red (4.23%)으로 나타났다. 이 결과는 빛의 진행방향에 대하여 수직방향의 조도가 거리의 제곱에 반비례 한다는 이전의 연구 결과(Choi, 2006; Choi et al., 2010)와 유사하게 광원으로부터 멀어질수록 광량이 급격하게 낮아짐을 보여준다. 본 실험 수조에서 광원이 위치한 것과 반대 방향 끝 수중환경의 광량은 대부분 파장에서 원 광량에 비해 90% 이상 감소하였으며, 660 nm의 LED 조명에서 가장 큰 손실이 있음을 알 수 있었다. 또한 청-녹계열 파장의 투과율이 적색광보다 높게 나타났는데, 이는 수중 미립자 밀도로 인한 장파장의 흡수로 판단된다.

광반응 분석 수조는 조명의 광량 및 쪽의 움직임 등을 고려하여, 서로의 빛이 간섭하지 않는 조건의 Y자 형태 수조로 제작하였다. 이를 위하여 0.57(L) × 0.33(W) × 0.3(H) m의 사각형 수

조 3개를 연결하여 Y자 형태로 만들었으며, 각 수조 끝에는 내부에 조명을 넣을 수 있도록 각각 약 0.07 m의 간격을 두어 제작하였다. 행동분석 수조는 0.5(L) × 0.3(W) × 0.3(H) m 크기의 사각수조에서 진행 되었으며 Fig. 4에 나타내었다.

광량/파장별 광반응

파장에 따른 광반응은 수온 18°C의 암실수조에서 순치한 쪽에 6가지 파장의 LED 광원 별 자극을 준 다음 10초간의 이동 행동을 분석하였으며, 대조구로 빛이 없는 암실조건(Dark)을 사용하였다. 쪽의 움직임을 유도하는데 필요한 최소 광량을 알아보기 위하여 LED 광원 별로 1 μmole/m²/s에서 10 μmole/m²/s, 그리고 50 μmole/m²/s로 광량을 증가 시키면서 쪽의 움직임의 차이를 분석하였다 (Fig. 5). 광량 별 실험결과를 종합 해보면 6 파장 전체에서 광량 1 μmole/m²/s에서는 암조건에서의 움직임과 별 다른 차이가 발견되지 않았으나, 광량이 10 μmole/m²/s로 증가하는 경우에는 광반응이 34%에서 40.9%로 증가하였으며, 50 μmole/m²/s로 증가할 경우에는 41.4%로 10 μmole/m²/s과 통계학적으로 유사한 경향을 나타내었다. 앞선 결과를 바탕으로 10 μmole/m²/s 이상의 광량이 광반응을 유도할 수 있는 광량으로 나타났으며, 파장별 광반응 실험은 10 μmole/m²/s 광량을 기준으로 실험을 진행하였다.

파장별 광반응 분석 결과를 보면 405 nm-525 nm 가시광선 영역에서는 Violet (43.0 %), Blue (43.0%), Cyan (43.5%), Green (43.0%) 파장이 43% 이상의 광반응을 나타내는 것으로 나타났으나, 그 이외의 파장에서는 Amber (40.5%) 그리고 Red (37.0%) 와 Dark (36.5%)로 유의적인 차이를 나타내었다. 통계분석 시, Dark 상태를 기준으로 Violet (P=0.017), Blue (P=0.034), Cyan (P=0.017), Green (P=0.034) Amber (P=0.449), Red (P=1.000)로 나타났다. 이 결과는 amber와 red와 같은 장파장

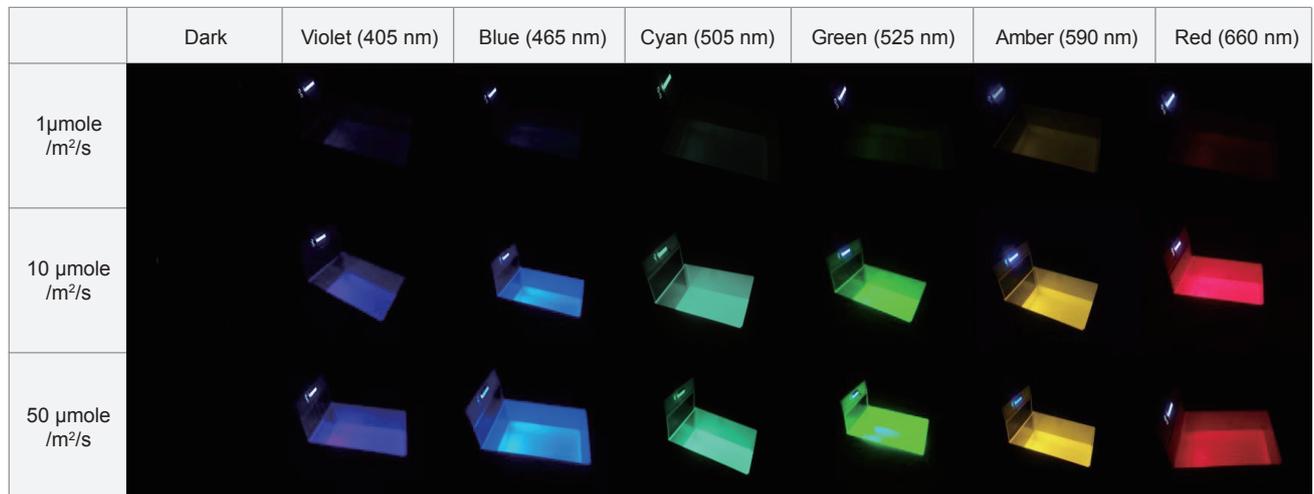


Fig. 4. Experimental tanks illuminated with LEDs of different wavelengths (dark, no light; violet 405nm; blue 465 nm; cyan 505 nm; green 525 nm; amber 590 nm and red 660 nm) and light intensities of 1, 10, and 50 μmole/m²/s.

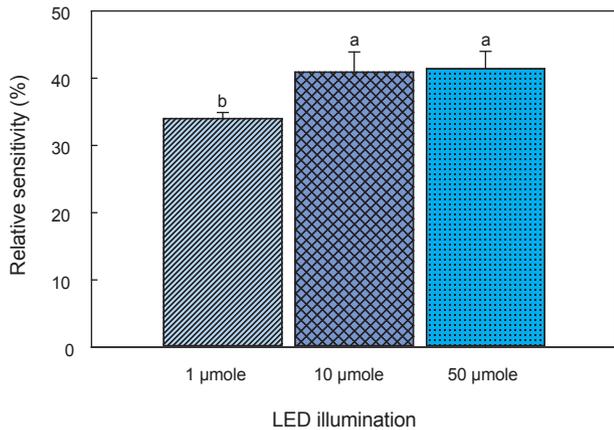


Fig. 5. Photosensitivity analysis of mud shrimp *Upogebia major* measured upon three (1, 10, and 50 μmole/m²/s) intensities of LED illumination. ^{a-b} Means with superscripts bars are significantly different ($P < 0.05$).

계열 (< 590 nm)에서는 빛에 따른 반응이 낮았음을 확인할 수 있었으며, 650 nm의 Red 광원은 암실에서와 마찬가지로 빛의 자극을 유도하지 않아 IR 대신에 관찰용 조명등으로 이용하기에 적합한 것으로 판단된다(Fig. 6).

행동분석

파장별 광반응 유도효과를 기반으로 세부 행동분석을 위하여, 파장별 자극 후 쪽의 1분간 움직임을 CCD카메라를 사용하여 녹화하여 분석하였다. 앞선 실험과 마찬가지로 총 6가지 파장을 사용하였으며, 1시간 이상 암순응 시킨 후, 암순응 상태와 조명 점등시의 이동속도 차이를 분석하여 Fig. 7에 나타내었다. 총 3회씩 5세트의 반복 실험한 결과 암순응에서 평균 속도는 1.117 ± 0.15 cm/s이며, 1시간 이상 암순응 후 LED 조명을 점등한 상태에서의 평균 속도는 각각 1.379 ± 0.87 cm/s (405 nm), 1.656 ± 0.89 cm/s (465 nm), 2.183 ± 1.76 cm/s (505 nm), 1.743 ± 1.32 cm/s (525 nm), 1.615 ± 1.15 cm/s (590 nm), 0.904 ± 0.84 cm/s (660 nm)로 나타났다. 파장 별 LED 점등 후 속도 변화율 분석은 암순응 상태의 평균속도를 100% 기준으로 설정하고 매 실험마다 속도 증가율의 평균을 종합하여 계산하였다. 이 속도 증가율의 평균은 140.0 ± 30.4% (405 nm), 172.2 ± 31.4% (465 nm), 193.0 ± 32.0% (505 nm), 175.2 ± 25.9% (525 nm), 143.0 ± 28.4% (590 nm), 102.6 ± 22.6% (660 nm)로 나타났으며 이 결과를 토대로 분석한 파장별 움직임은 505 nm > 525 nm ≒ 465 nm > 590 nm ≒ 405 nm >> 660 nm ≒ Dark 순서로 나타났다. 통계분석 결과는 Dark 상태로 Violet ($P=0.098$), Blue ($P=0.008$), Cyan ($P=0.000$), Green ($P=0.000$), Amber ($P=0.061$), Red ($P=1.000$)로 나타났으며 이는 청-녹 계열 (465-525 nm)에서의 유의적인 차이를 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 파장별 광반응 효과를

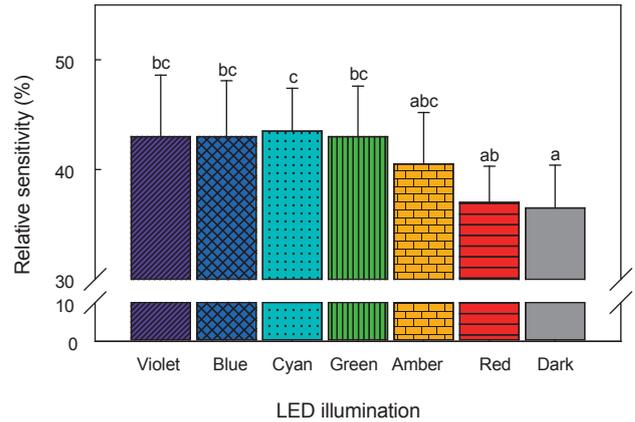


Fig. 6. Photoresponse analysis of mud shrimp *Upogebia major* with different LED wavelengths. ^{a-c} Means with superscripts bars are significantly different ($P < 0.05$).

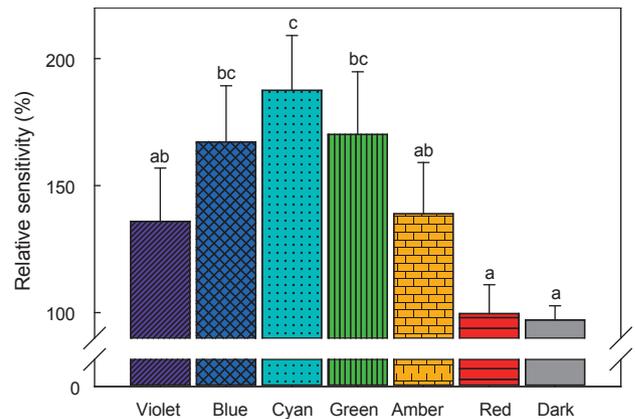


Fig. 7. Relative sensitivity (%) of mud shrimp *Upogebia major* reflected in the change of speeds upon illumination of LEDs as compared to that of the movement in the dark (100%). ^{a-c} Means with superscripts bars are significantly different ($P < 0.05$).

자세히 분석하기 위하여, 가장 민감한 반응을 나타낸 청-녹 계열의 3가지 파장(465, 505, 525 nm)을 대상으로 동일한 방법으로 추가 실험을 진행하였으며 광원에 따른 쪽의 움직임을 히트맵과 트래킹을 이용하여 분석하였다(Fig. 8). 본 연구 결과 평균 이동거리를 보면 암순응 상태에서는 79.80 ± 11.06 cm이며, 조명 점등 시 105.44 ± 53.58 cm (465 nm), 149.75 ± 63.79 cm (505 nm), 123.32 ± 61.60 cm (525 nm)로 각각 나타났다. 암순응 시 평균 이동거리를 100% 기준으로 설정하여 환산할 경우, 148.3 ± 38.5% (465 nm), 169.7 ± 25.9% (505 nm), 160.2 ± 17.6% (525 nm)로 나타났다. 파장별 이동거리 증가율 평균은 505 nm > 525 nm ≒ 465 nm >> Dark 로 나타났으며, 암순응 상태 기준 통계 분석 결과는 Blue ($P=0.013$), Cyan

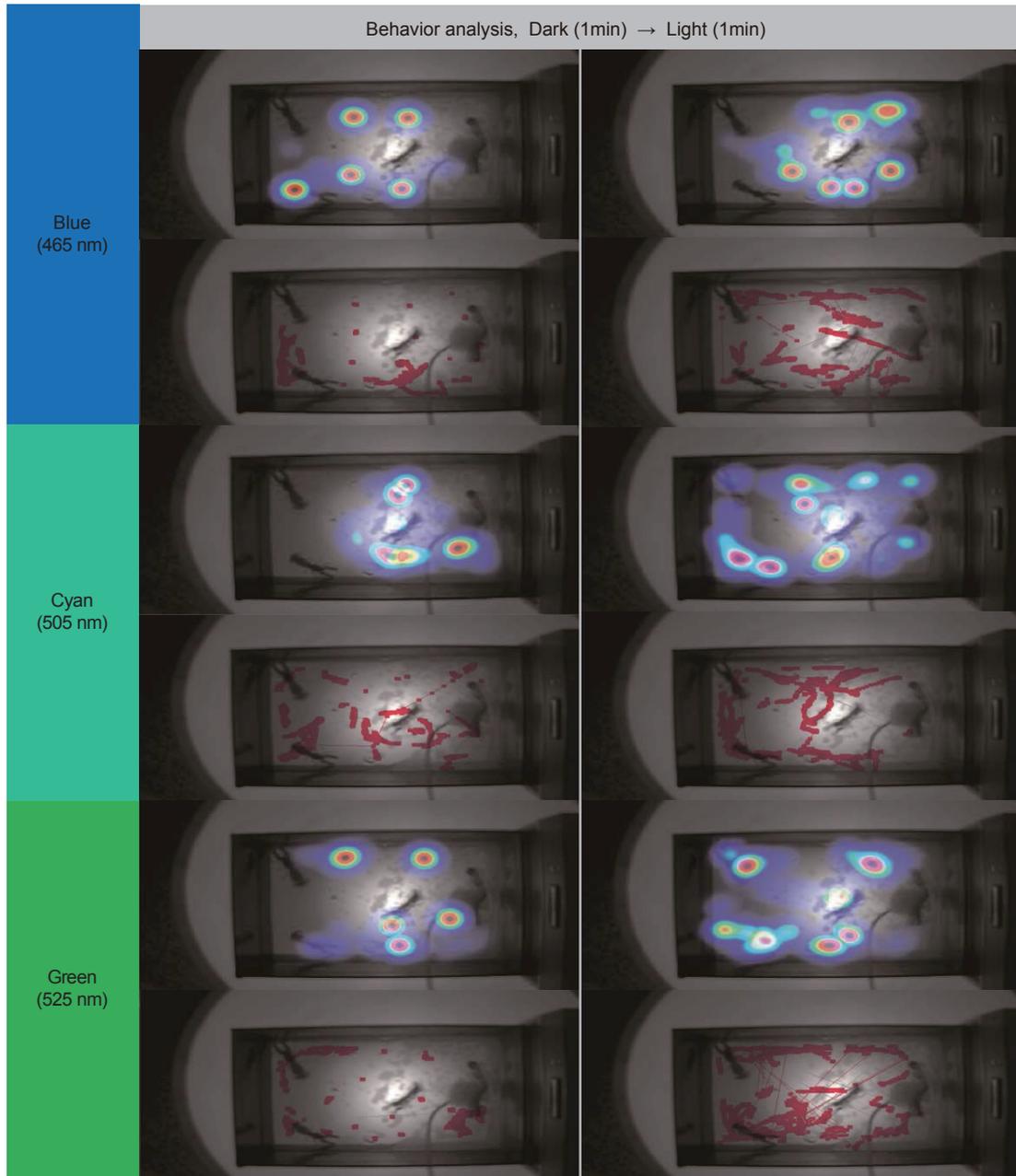


Fig. 8. Behavior analysis (heat-map, tracking) of mud shrimp *Upogebia major* upon illumination of Blue (465 nm), Cyan (505 nm), and Green (525 nm) LEDs. In contrast to the movement observed in the dark, the right side showed the tracking of the movement observed upon illumination of LEDs of different wavelengths as indicated.

($P=0.001$), Green ($P=0.002$) 로 나타났다. 히트맵 분석에서는 1분간 빛에 노출된 쪽이 머무르는 지역을 나타내었으며 조명이 점등된 후에는 점등 전보다 쪽이 수조 내부에서 지속적인 움직임이 있었음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 갯벌 양식장의 침탈생물의 하나인 쪽을 대상으로 LED 파장에 따른 행동 분석 시스템을 구축하고 LED파장

별 자극에 따른 움직임의 차이를 확인 하였다. LED 파장별 광 반응 결과는 특정한 영역(405-590 nm)의 가시광선을 인지하는 것으로 판단되며, 660 nm이상의 장파장 영역은 인식하지 못하는 것으로 판단된다. 가시광선 영역에서도 특히 청-녹 계열의 파장영역에서 더 큰 반응을 나타내었으며, 청-록 계열의 3가지 파장 중에서도 505 nm에서 평균속도가 169.7% 증가하는 것으

로 나타났으며, 465 nm와 525nm는 각각 148.3%, 160.2%의 결과를 나타내었다. 이와 마찬가지로 히트맵 분석 결과도 LED 점등 시 505 nm에서 가장 활발한 행동 변화를 나타내며, 쪽의 광반응 시 이동거리 변화에서 169.7%로 505 nm에서 가장 높게 나타났다.

어류의 광반응 연구로는 대표적인 집어등 포획어종인 고등어, 오징어의 파장별 광반응 실험에서도 마찬가지로 해당 생물의 시각수용체 최대흡광 파장영역인 500 nm 영역 근처에서 가장 큰 반응성을 나타내었다. 또한, LED를 이용한 갈치의 행동분석에서는 청색광에 대한 반응이 가장 뛰어난 것으로 나타났다 (Kim et al., 2016). 그 동안 진행되어 온 시각관련 연구의 경우에는 대부분 어류에 해당하는 연구가 대부분이었으며, 갑각류의 경우는 현미분광측정법(microspectrophotometry)과 전기생리학적(electrophysiology) 방법을 통해 연구가 진행되었다. 보고된 연구 내용으로는 Mantis shrimps (Crustacea; Stomatopoda; Gonodactylidae)의 광세포 특성에 대한 연구가 있으며, 현재까지 알려진 구각목에서의 망막 주변 시각 색소의 최대흡광 분포가 평균 504.4 ± 12 nm로 나타났으며(Cronin et al., 1994a; Cronin et al., 1994b), *Orconectes virilis*, *Callinectes sapidus*, *Panulirus argus*의 시각민감도 분석 결과, 각각 565 nm, 507 nm, 510 nm에서 간상세포의 최대흡광도를 나타내는 것을 알 수 있었다(Goldsmith and Fernandez, 1968; Cummins and Goldsmith, 1981; Cummins et al., 1984). 이러한 갑각류의 시각분석 및 간상세포의 최대흡광도 결과로 볼 때, 본 실험에서의 500 nm 근방에서 반응을 최대로 유도하는 결과와 유사하게 나타났다으며 이는 수중투과 정도와 쪽 간상세포의 최대흡광 파장 영역과의 연관성이 있을 것으로 판단된다. 따라서, 이에 따른 쪽의 시각분석에 관련된 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

결론적으로 쪽은 평균적으로 505 nm 영역에서 다른 파장보다 더 민감한 반응을 나타내는 것을 알 수 있었으며, 이는 쪽의 시각과 관련된 시각세포와 광반응과의 상관관계 분석이 필요할 것으로 판단된다. 쪽이 인식하지 못하는 Red LED는 쪽의 행동을 유발하지는 않으므로 쪽의 야간 행동을 관찰하는데 적절한 광환경을 제시하는 것으로 판단된다. 따라서 추가적인 쪽의 시각분석을 통하여 광반응을 유도하는 최적의 파장 조건을 확립하면, 쪽의 친환경적인 구제에 중요한 연구 자료가 될 것이다

사 사

본 연구는 부경대학교 자율창의학술연구비(2016)년에 의해 수행되었습니다.

References

- Armstrong DA, Dumbauld B and Doty D. 1989. Oyster culture and crab habitat: conflicts over use of the insecticide Sevin in coastal estuaries. *Northwest Environ J* 5, 185-187.
- Buchanan DV, Bottom DL and Armstrong DA. 1985. The controversial use of the insecticide Sevin in Pacific Northwest estuaries: its effects on dungeness crab, Pacific oyster, and other species. In: *Proceedings of the symposium on Dungeness Crab biology and management*. Alaska Sea Grant Report. Anonymous, 401-417.
- Choi SK, Kim SJ, Park DW, Kil GS, Choi CY and Song SB. 2010. Design and fabrication of an energy saving LED-fishing lamp. *J Korean Soc Mar Eng* 34, 515-521. <https://doi.org/10.5916/jkosme.2010.34.4.515>.
- Choi SJ. 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, 480-486. <https://doi.org/10.5657/kfas.2006.39.6.480>.
- Cronin TW and Marshall NJ. 1989. A retina with at least ten spectral types of photoreceptors in a mantis shrimp. *Nature* 339, 137-140. <https://doi.org/10.1038/339137a0>.
- Cronin TW, Marshall NJ, Quinn CA and King CA. 1994a. Ultraviolet photoreception in mantis shrimp. *Vision Res* 34, 1443-1452. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)90145-7](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)90145-7).
- Cronin TW, Marshall NJ and Caldwell RL. 1994b. The retinas of mantis shrimps from low-light environments (Crustacea; Stomatopoda; Gonodactylidae). *J Comp Physiol A* 174, 607-619. <https://doi.org/10.1007/bf00217382>.
- Cummins D, Chen D and Goldsmith TH. 1984. Spectral sensitivity of the spiny lobster *Panulirus argus*. *Biol Bull* 166, 269-276. <https://doi.org/10.2307/1541448>.
- Cummins D and Goldsmith TH. 1981. Cellular identification of the violet receptor in the crayfish eye. *J Comp Physiol* 142, 199-202. <https://doi.org/10.1007/bf00605738>.
- DeFrancesco J and Murray K. 2010. Pest Management Strategic Plan for Bivalves in Oregon and Washington. In: *Summary of a workshop*. Oregon State University, Washington D.C., U.S.A., 3-88.
- Dumbauld BR, Holden DL and Langness OP. 2008. Do sturgeon limit burrowing shrimp populations in Pacific Northwest Estuaries? *Env Biol Fish* 83, 283-296. <https://doi.org/10.1007/s10641-008-9333-y>.
- Estes PS. 1986. Cardiovascular and respiratory responses of the ghost shrimp, *Callinassa californiensis* Dana, to the pesticide carbaryl and its hydrolytic product 1-naphthol. Thesis, Oregon State University, Washington D.C., U.S.A.
- Gao X, Zhang M, Li X, Song C and Liu Y. 2016. Effects of light quality and intensity on the growth, survival and metamorphosis of *Haliotis discus hannai* Ino larvae. *Aquaculture Res* 48, 3369-82. <https://doi.org/10.1111/are.13164>.
- Goldsmith TH and Fernandez HR. 1968. Comparative studies of crustacean spectral sensitivity. *J Comp Physiol* 60, 156-175. <https://doi.org/10.1007/bf00878449>.
- Herkül K, Kotta J and Paernoja M. 2011. Effect of physical disturbance on the soft sediment benthic macrophyte and invertebrate community in the northern Baltic Sea. *Boreal Env*

Res 16, 209-219.

- Hong JS. 2013. Biology of the mud shrimp *Upogebia major* (de Haan, 1841), with particular reference to pest management for shrimp control in manila clam bed in the west coast of Korea. *Ocean Polar Res* 35, 323-349. <https://doi.org/10.4217/opr.2013.35.4.323>.
- Jang JC, Choi MJ, Yang YS, Lee HB, Yu YM and Kim JM. 2016. Dim-light photoreceptor of chub mackerel *Scomber japonicus* and the photoresponse upon illumination with LEDs of different wavelengths. *Fish Physiol Biochem* 42, 1015-1025. <https://doi.org/10.1007/s10695-015-0193-z>.
- Kim MK, An YL, Park SH, Oh TC, Kang HC and Park YS. 2016. Behavioral reaction of hairtail (*Trichinus lepturus*) to different colors of LED light. *J Korean Soc Fish Technol* 52, 183-190. <https://doi.org/10.3796/ksft.2016.52.3.183>.
- Kinoshita K. 2002. Burrow structure of the mud shrimp *Upogebia major* (Decapoda: Thalassinidea: Upogebiidae). *J Crust Biol* 22, 474-480. <https://doi.org/10.1163/20021975-99990255>.
- Lindsay C. 1961. Pesticide tests in the marine environment in the State of Washington. In: *Proc Nat Shellfisheries Assoc* 52, 87-97.
- Liu W and Liu R. 2012. A new species of the genus *Austinogebia* Ngoc-Ho, 2001 (Crustacea, Decapoda, Gebiidea, Upogebiidae) from northern China. *Zootaxa* 3243, 59-64. <https://doi.org/10.1163/15685403-00003444>.
- Migaud H, Cowan M, Taylor J and Ferguson HW. 2007. The effect of spectral composition and light intensity on melatonin, stress and retinal damage in post-smolt Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 270, 390-404. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.064>.
- Park KW, Song JH, Choi YS and An KH. 2013. Changes in density and culture conditions of the Manila Clam *Ruditapes philippinarum* on the West coast of Korea. *Korean J Malacol* 29, 207-216. <https://doi.org/10.9710/kjm.2013.29.3.207>.
- Rowden AA and Jones MB. 1993. Critical evaluation of sediment turnover estimates for Callianassidae (Decapoda: Thalassinidea). *J Exp Mar Biol Ecol* 173, 265-272. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(93\)90057-u](https://doi.org/10.1016/0022-0981(93)90057-u).
- Shin HS, Lee J and Choi CY. 2011. Effects of LED light spectra on oxidative stress and the protective role of melatonin in relation to the daily rhythm of the yellowtail clownfish, *Amphiprion clarkii*. *Comp Biochem Physiol A: Mol Integrat Physiol* 160, 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2011.06.002>.
- Shin M and Kim J. 2009. Introduction to LED packaging technology. Books-hill, Seoul, Korea.
- Wynberg RP and Branch GM. 1994. Disturbance associated with bait-collection for sandprawns (*Callinassa kraussi*) and mudprawns (*Upogebia africana*): long-term effects on the biota of intertidal sandflats. *J Mar Res* 52, 523-558. <https://doi.org/10.1357/0022240943077019>.