

바이오로거 체외 부착방법이 점농어(*Lateolabrax maculatus*)의 혈액성상 및 바이오로거 부착효율에 미치는 영향

강필준 · 이근수 · 오승용*

한국해양과학기술원 해양생명자원연구부

Blood Property and Biologger Attachment Efficiency of Spotted Sea bass *Lateolabrax maculatus* depending on External Biologger Attachment Methods

Pil Jun Kang, Geun Su Lee, Sung-Yong Oh*

Marine Biotechnology & Bioresource Research Department, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Korea

Corresponding Author

Sung-Yong Oh

Marine Biotechnology & Bioresource
Research Department, Korea Institute of
Ocean Science & Technology, Busan
49111, Korea

E-mail : syoh@kiost.ac.kr

Received : May 29, 2024

Revised : May 29, 2024

Accepted : May 31, 2024

바이오로거 외부 부착방법이 점농어 *Lateolabrax maculatus*(평균 체중 2630.8 g)의 혈액 특성과 바이오로거 부착효율에 미치는 영향을 조사하기 위해 바이오로거 미부착구(대조구), anchor attachment (AA), monofilament attachment (MA) 및 silicon tube attachment (SA) 방식의 4가지 실험구를 설정하였다. 바이오로거 부착 후 1, 7, 14, 28, 56 및 84일에 혈액성상과 바이오로거 부착효율을 조사하였다. 혈액 내 hematocrit, Na⁺, Cl⁻, GPT, total protein 농도 및 superoxide dismutase 활성은 바이오로거 외부 부착방법에 영향을 받지 않았다($p>0.05$). AA 그룹의 GOT (부착 1일), hemoglobin(56일) 및 total cholesterol(56일 및 84일)와 MA 그룹의 glucose와 cortisol (14일) 및 total cholesterol(84일) 농도는 대조구에 비해 유의하게 높았다($p<0.05$). 실험 기간 동안 SA 그룹의 모든 혈액 특성은 대조구와 차이가 없었다($p>0.05$). AA, MA 및 SA 그룹의 바이오로거 부착효율은 부착 84일 후 각각 0.0%, 33.3%, 그리고 100.0%였다. 이상의 결과에서 최적의 외부 바이오로거 부착방법은 SA 유형으로 나타났으며, 점농어의 생체원격측정 기술 개발을 위한 기본 정보로 활용될 수 있을 것이다.

The purpose of this study was to determine the effect of external biologger attachment methods on the blood parameters and attachment efficiency of spotted sea bass *Lateolabrax maculatus* (mean body weight 2630.8 g). The fish were tagged using four different external attachment methods with dummy biologgers: no attachment (control), anchor attachment (AA), monofilament attachment (MA), and silicon tube attachment (SA), each with triplicates. Blood indices and biologger attachment efficiency were assessed on days 1, 7, 14, 28, 56, and 84 after attachment. The concentrations of hematocrit, Na⁺, Cl⁻, glutamic pyruvic transaminase and total protein, and the activity of superoxide dismutase in blood were not affected by the external attachment method of biologger. The concentrations of glutamic oxaloacetic transaminase (day 1 of attachment), hemoglobin (day 56) and total cholesterol (day 56 and 84) in AA group, the concentrations of glucose and cortisol (day 14) and total cholesterol (day 84) in MA group showed significantly higher than those of control ($p<0.05$). During the experiment period, the SA group had no differences from the control in all blood properties. The biologger attachment efficiencies of the AA, MA, and SA groups after 84 days were 0.0%, 33.3%, and 100.0%, respectively. These results indicate that the optimum external biologger attachment method under our experimental conditions is SA type.

Keywords: Stress indices(스트레스 지표), External tagging(외부 태깅), Biologger(바이오로거), Physiological response(생리적 반응), Biotelemetry(생물원격측정)

서론

어류 바이오로깅은 바이오로거(biologger)라는 소형 데이터 획득장치를 활용하여 어류의 위치, 움직임 및 주변 환경 정보를 파악하는 기술로서, 바이오로거는 global positioning system (GPS), 가속도계 등 어류의 동작 행동측정 센서와 온도, 전도도, 염분, 광량 등의 주변 환경 측정센서 그리고 배터리, 저장장치 및 통신장치 등으로 구성되어 어류의 서식 환경을 포함한 생태적 정보 구축에 매우 유용하며, 특히 장시간의 다양한 정보를 수집할 수 있어 생물원격측정(biotelemetry)을 위한 주요한 도구로 알려져 있다 (Macaulay et al., 2021; Oh, 2023; Park and Oh, 2023). 이와 같은 바이오로거를 활용한 바이오로깅 기술은 어업 분야뿐만 아니라 양식어류의 다양한 생리반응 및 생태적 모니터링 등 그 연구 분야가 증대되고 있어(Bridger and Booth, 2003; Macaulay et al., 2021; Oh, 2023; Park and Oh, 2023), 전지구적 문제점인 기후 변화와 같은 환경 이슈에 대한 다양한 생물들의 반응 연구 및 해양생물자원의 개발을 위한 산란, 먹이섭취 및 서식지 파악 등에 대한 개체 또는 군집수준 연구 등 그 적용 범위가 넓고 다양하다(Donaldson et al., 2014; Tone et al., 2022). 생물원격측정에 활용되고 있는 바이오로거 중 pop-up satellite archival tag (PSAT)는 어류 체외에 부착한 다음 일정 시간 후 떨어져 수면 위로 떠오르면 advanced research and global observation satellite (Argos)와 통신을 통해 저장된 데이터를 수집하는 방식으로, 다양한 어종의 이동 경로, 유영수심, 행동패턴 및 환경 정보 등 파악하기 어려운 생태학적 정보 수집뿐만 아니라 배터리 수명도 길어 장기간 추적조사에 적합해 그 활용도가 높아지고 있다(Bridger and Booth, 2003; Bolle et al., 2005; Hazen et al., 2012; Lynch et al., 2017; Oh, 2023; Park et al., 2024). 이와 같은 PSAT의 장점에도 불구하고 체외 부착이라는 물리적 영향으로 인한 어류 표피 및 근육 손상, 유영활동 및 생리적 저해 등 다양한 부정적 현상과 함께 부착된 PSAT의 조기 탈락의 원인으로 보고되고 있어(Prince et al., 2002; Musyl et al., 2011; Smircich and Kelly, 2014; Jepsen et al., 2015; Oh and Jeong, 2021; Lee et al., 2023; Oh, 2023), PSAT 활용을 통한 생물원격측정 전 부착에 따른 대상어류의 생리적 영향 및 PSAT 부착효율에 대한 정보 수집을 통한 안정적인 체외 부착방법 구축이 필수적이다(Oh, 2023).

바이오로거의 체외 부착방법은 일반적으로 코팅 플라스틱, 티타늄, 스테인레스 스틸, 나일론 재료의 tether와 연결된 anchor (Murie et al., 2011; Donaldson et al., 2014; Oh and Jeong, 2021; Tone et al., 2022), monofilament 또는 multifilament (Hedger et al., 2017; Park and Oh, 2018; Oh, 2023), silicon tube (Oh and Jeong, 2021; Lee et al., 2023; Park et al., 2024), 그리고 bolt, nut 및 cable tie (Gilly et al., 2006)를 활용해 대상어류의 등지느러미 기저부 근육(Bridger and Booth, 2003; Thorstad et al., 2013; Hedger et al., 2017; Dick et al., 2018; Park and Oh, 2018; Oh and Jeong, 2021;

Oh, 2023)에 부착이 이루어지지만, 이와 같은 PSAT 체외 부착방법에 따른 생리적 영향 및 바이오로거 부착효율에 대한 정보는 제한적이다(Park and Oh, 2018; Oh, 2023).

주요 양식 종이자 우리나라 연근해 어업 종으로서 경제적 가치가 높은 점농어(*Lateolabrax maculatus*) (Oh, 2023)는 향후 연근해 어업 자원관리 및 양식생산성 향상을 위한 이동 경로, 생리적 습성, 서식지 및 산란지에 대한 지리생태학적 정보의 수집은 매우 중요하며, 이를 위한 바이오로깅 기술 개발이 필요하다. 점농어의 생물원격측정을 위한 바이오로거 활용 기술은 PSAT의 최적 부착 위치에 대한 이전 연구(Oh, 2023)가 이루어진 바가 있지만, 부착 방법에 대한 비교 연구는 이루어진 바가 없다. 따라서 본 연구는 점농어 바이오로깅 기술 개발을 위한 conditioning 연구로서, PSAT 부착방법에 따른 바이오로거 부착효율 및 대표적인 스트레스 지표인 혈액성상(Park and Oh, 2018; Oh and Jeong, 2021; Zakęś et al., 2019; Oh, 2023)의 시간 경과별 변화 경향을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험어 및 바이오로거 부착

실험어는 한국해양과학기술원 통영메가코즘시험기지 내 사육 중인 체중 2630.8 ± 403.5 g과 전장 61.3 ± 3.3 cm(평균 \pm SD)인 점농어 12마리를 사용하였다. 모든 실험어는 바이오로거 부착과 상관없이 정상적인 유영활동을 할 수 있도록 해상가두리($6 \times 6 \times 6$ m) 내 수용하여 실험 종료 시까지 유지하였다.

실험에 적용한 바이오로거는 이전 연구(Park and Oh, 2018; Oh and Jeong, 2021; Lee et al., 2023; Oh, 2023)와 동일한 PSAT인 dummy mr (mark report) PAT(무게 40 g, 크기 127 mm) (Wildlife Computers Inc., WA, USA)를 사용하였다. 모든 실험어는 바이오로거 부착 전 해상가두리에서 2주 이상 순치하였으며, 점농어의 바이오로거 최적 부착 위치로 이전 연구에서 보고된 등지느러미 아래 근육 부위(Oh, 2023)에 dummy mrPAT를 부착하였다. 부착방법은 anchor 부착구(anchor attachment, AA), monofilament 부착구(monofilament attachment, MA), 실리콘 튜브 부착구(silicon tube attachment, SA) 및 미부착구(control, C)의 4가지 형태로 설정하였다(Fig. 1). 모든 실험어는 2-phenoxyethanol (Junsei Chemical Co., Ltd., Koshigaya, Japan) 150 mg/l로 마취시킨 후 무게 및 전장 측정 다음 바이오로거를 부착하였다(Oh, 2023). 부착구 AA에 사용된 anchor는 이전 연구(Oh and Jeong, 2021)와 동일한 무게 0.46 g과 길이가 20.2 mm인 domeier medium dart (Wildlife Computers Inc., WA, USA)로서, dummy mrPAT와 연결한 뒤 Oh and Jeong (2021)이 보고한 방법으로 점농어에 부착하였다(Fig. 1). 부착구 MA의 바이오로거 부착방법은 두께 0.64 mm의 monofilament를 사용하여 Oh (2023)의 방법으로 부착하였다. 부착구 SA의 경우 cable tie(무게 0.59 g, 직경 3.57 mm, 길이 140 mm)가 삽입된 실



Fig. 1. Three different attachment methods for attaching biologgers to spotted sea bass *Lateolabrax maculatus* applied in this study: Anchor attachment (AA; A-1 ~ A-4) type, monofilament attachment (MA; B-1 ~ B-4) type and silicone tube attachment (SA; C-1 ~ C-4) type.

리곤 튜브(내경 2.64 mm, 외경 4.24 mm)를 wilton applicator pin (Wildlife Computers Inc, WA, USA)을 사용하여 점농어 등 근육에 삽입한 다음 mrPAT과 부착하였다(Oh and Jeong, 2021). 모든 실험어는 바이오로거 부착 직후 세균 감염 등을 방지하기 위해 부착 부위에 povidone iodine solution으로 소독 및 200 mg/l oxytetracycline의 해수에 1분간 약욕한 후 해상가두리에 수용하였다. 모든 부착구와 대조구에 사용된 점농어는 각각 3마리씩이었으며, 총 실험 기간은 84일간이었다. 실험 기간 동안의 평균 수온, 염분, 용존산소 및 투명도는 각각 $17.3 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$, 30.5 ± 1.9 psu, 9.9 ± 1.4 mg/l, 4.5 ± 0.8 m이었다.

2. 혈액성상 및 스트레스 호르몬 분석

바이오로거 부착방법이 바이오로거 부착 후 시간 경과에 따른 점농어의 체내 생리반응에 미치는 영향을 조사하기 위해 부착구 AA, MA 및 SA와 대조구의 모든 실험어에서 부착 1일, 7일, 14일, 28일, 56일 그리고 84일째에 채혈하여 혈액성상 및 스트레스 호르몬을 분석하였다. 실험어의 채혈 역시 2-phenoxyethanol 150 mg/l로 마취 후 헤파린이 처리된 주사기를 이용하여 미부 혈관에서 채취한 다음 hematocrit, hemoglobin, Na^+ , Cl^- , glutamic oxaloacetic transaminase (GOT), glutamic pyruvic transaminase

(GPT), glucose (GLU), total protein (TP) 그리고 total cholesterol (TCHO), cortisol 그리고 superoxide dismutase (SOD)를 자동혈액 분석기(DRI-CHEM 4000i, FUJIFILM, Japan)를 이용하여 측정하였다. 혈액성상 중 hematocrit와 hemoglobin은 전혈을 사용하였고, 그 외 혈액성상은 원심분리(조건 12,000 rpm, 5분, 4°C)하여 분리된 혈장을 사용하여 분석하였다. 혈장 내 cortisol과 SOD는 ELISA kit (CUSABIO, Wuhan, China)를 활용한 competitive inhibition technique ELISA법으로 Epoch Microplate spectrophotometer (BioTek, Winooski, VT, USA)을 이용하여 측정하였다.

3. 바이오로거 부착효율

바이오로거 부착방법 별 AA, MA 그리고 SA의 시간 경과에 따른 바이오로거 부착효율을 조사하기 위해 바이오로거 부착 1일, 7일, 14일, 28일, 56일 그리고 84일째에 dummy mrPAT의 탈부착 여부를 조사하였다.

4. 통계처리

모든 결과의 통계 분석은 SPSS 11.5 (SPSS Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)를 사용하여 바이오로거 부착구(즉, AA, MA, SA)

및 대조구(C) 간의 분산분석(ANOVA)을 통해 평균 간 유의성을 Tukey's multiple range test로 95% 신뢰수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

바이오로거를 활용한 어류 생물원격측정 결과는 대상어류의 군집을 대표하기 때문에 바이오로거 부착으로 유발될 수 있는 부정적 영향에 대한 방류 전 확인 및 개선 방향에 대한 연구가 매우

중요하다(Bridger and Booth, 2003; Jepsen et al., 2015; Runde et al., 2022; Park and Oh, 2018; Oh and Jeong, 2021; Lee et al., 2023; Oh, 2023; Oh et al., 2024). 바이오로거의 체내 삽입 또는 체외 부착에 따른 대상어류의 생리학적 영향 및 건강 상태를 확인할 수 있는 방법인 혈액성상 및 스트레스 호르몬 분석은 masu salmon (*Onchorhynchus masou*) (Makiguchi and Ueda, 2009), pikeperch (*Sander lucioperca*) (Zakęs et al., 2019), Atlantic salmon (*Salmo salar*) (Thorstad et al., 2000), 참돔(*Pagrus major*) 및 조피볼락(*Sebastes*

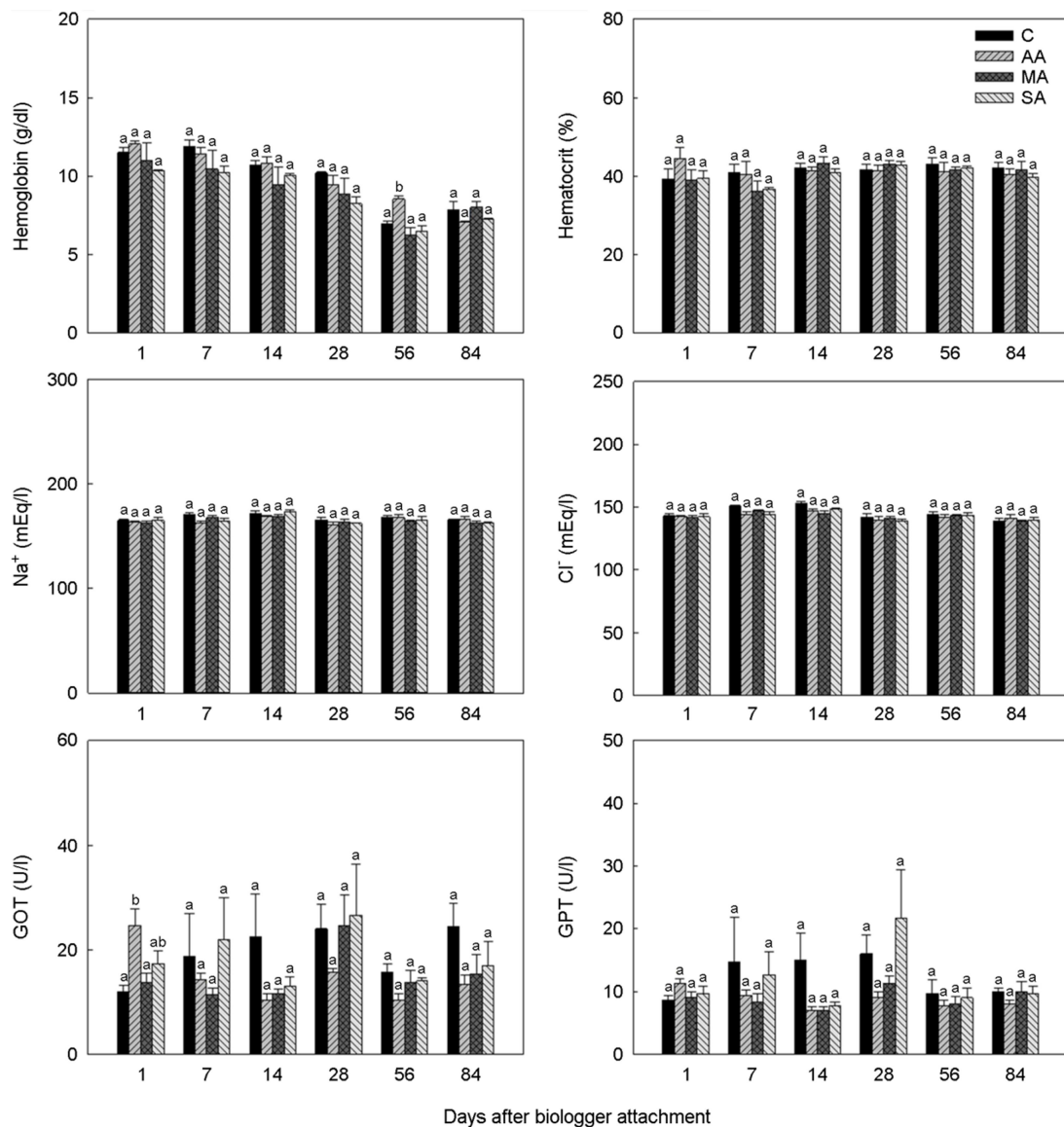


Fig. 2. Comparison in concentrations of hemoglobin and hematocrit in whole blood and electrolytes (Na⁺ and Cl⁻), GOT and GPT in blood plasma of spotted sea bass *Lateolabrax maculatus* subjected to four different attachment methods (C, non-tagging; AA, anchor attachment; MA, monofilament attachment; SA, silicone tube attachment) for 84 days in sea cage. Values (mean ± SE, n=3) with different letter in same day are significantly different ($p < 0.05$). GOT, glutamic oxaloacetic transaminase; GPT, glutamic pyruvic transaminase.

schlegelii (Park and Oh, 2018), 방어(*Seriloa quinquerradiata*) (Oh and Jeong, 2021) 그리고 점농어(Oh, 2023; Oh et al., 2024) 등 다양

한 어종을 대상으로 이루어진 바가 있다.

네 가지 다른 바이오로거 체외 부착방법 별 시간 경과에 따른

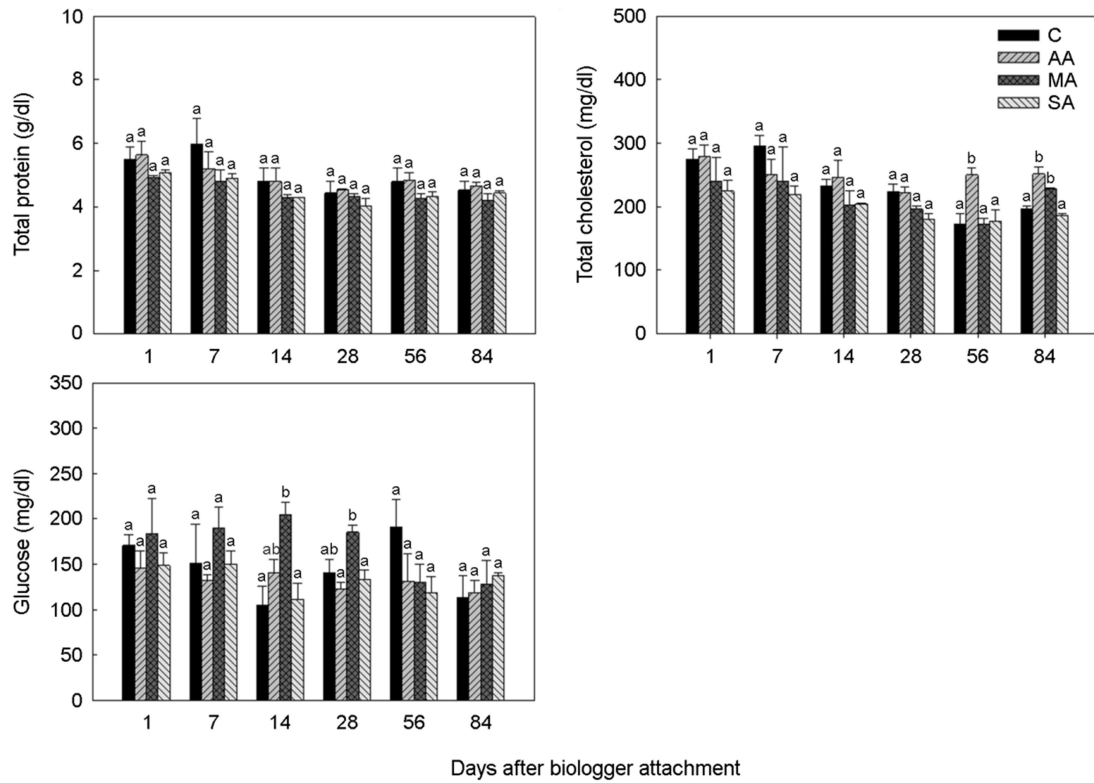


Fig. 3. Comparison in concentrations of total protein, total cholesterol and glucose in blood plasma of spotted sea bass *Lateolabrax maculatus* subjected to four different attachment methods (C, non-tagging; AA, anchor attachment; MA, monofilament attachment; SA, silicone tube attachment) for 84 days in sea cage. Values (mean \pm SE, $n=3$) with different letter in same day are significantly different ($p<0.05$).

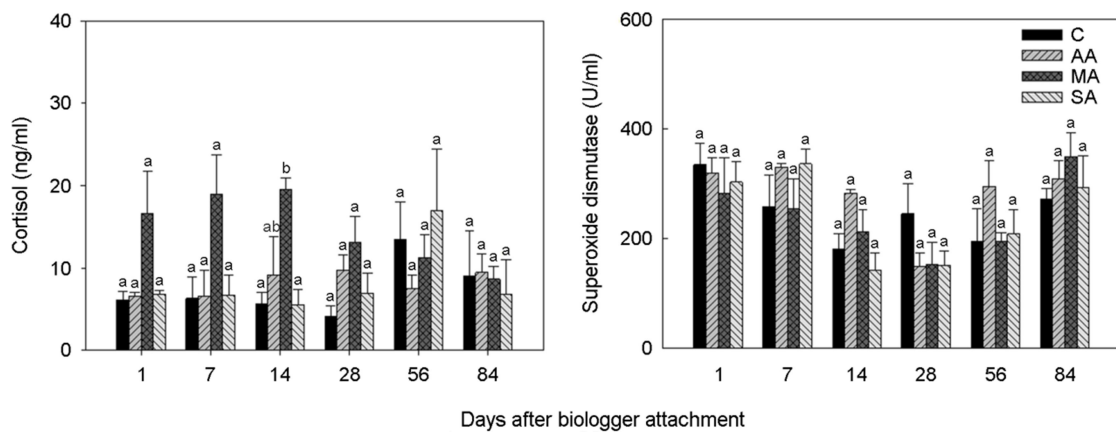


Fig. 4. Comparison of cortisol and superoxide dismutase in blood plasma of spotted sea bass *Lateolabrax maculatus* subjected to four different attachment methods (C, non-tagging; AA, anchor attachment; MA, monofilament attachment; SA, silicone tube attachment) for 84 days in sea cage. Values (mean \pm SE, $n=3$) with different letter in same day are significantly different ($p<0.05$).

점농어의 혈액 내 hematocrit, hemoglobin, Na^+ , Cl^- , GOT 및 GPT 농도 변화를 Fig. 2에, TP, TCHO 그리고 GLU 농도 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 혈액 내 hematocrit, Na^+ , Cl^- , GPT, TP의 경우 바이오로거 부착구(즉, AA, MA 및 SA)와 미부착구(즉, 대조구) 사이에 실험 기간 동안 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 실험구 AA의 경우 부착 1일째 GOT에서, 부착 56일째 hemoglobin과 TCHO에서, 그리

고 부착 84일째 TCHO에서 대조구보다 유의하게 높은 농도를 보였다(Fig. 2와 3). 실험구 MA의 경우 부착 14일째 GLU에서, 부착 84일째 TCHO에서 대조구보다 높은 농도를 보였다($p<0.05$) (Fig. 3). 실험구 SA의 경우는 부착이 이루어진 후 실험 종료 시까지 모든 혈액성상에서 대조구와 차이가 없었다($p>0.05$) (Fig. 2와 3). 스트레스 호르몬인 cortisol과 SOD 변화를 Fig. 4에 나타내었다.



Fig. 5. Change in the status of the attachment site of spotted sea bass *Lateolabrax maculatus* with an anchor-connected dummy mrPAT (mark report PAT) on days 1 (A), 7 (B), 14 (C), 28 (D), 56 (E), and 84 (F).

Cortisol의 경우 부착 14일째 MA 실험구만이 대조구와 SA보다 유의하게 높았지만($p < 0.05$), 그 외 시기 및 실험구간에는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$) (Fig. 4). SOD의 경우 바이오로거 부착구와 미부착구 사이에 실험 기간 동안 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$) (Fig. 4). Oh and Jeong (2021)은 본 실험구 AA 또는 SA와 동일하게 anchor 또는 silicon tube를 활용해 방어의 등 근육에 dummy mrPAT를 부착 후 28일째까지 미부착구의 혈액성상 및 스트레스

호르몬(hemoglobin, hematocrit, GOT, GPT, Na^+ , K^+ , Cl^- , cortisol 및 SOD)과 유의한 차이가 없다고 보고하여 본 실험과 유사한 결과를 보였다. 하지만 anchor의 경우 부착 28일째 GLU, TP 및 TCHO 농도가 미부착구에 비해 유의하게 낮게 나타난 반면, silicon tube의 경우 부착 28일째 GLU 농도는 유의하게 높았고 TCHO 농도는 낮은 현상을 보였다. Monofilament를 이용하여 dummy mrPAT를 부착한 참돔과 조피볼락의 경우에도 부착 21일째까지 미부착구

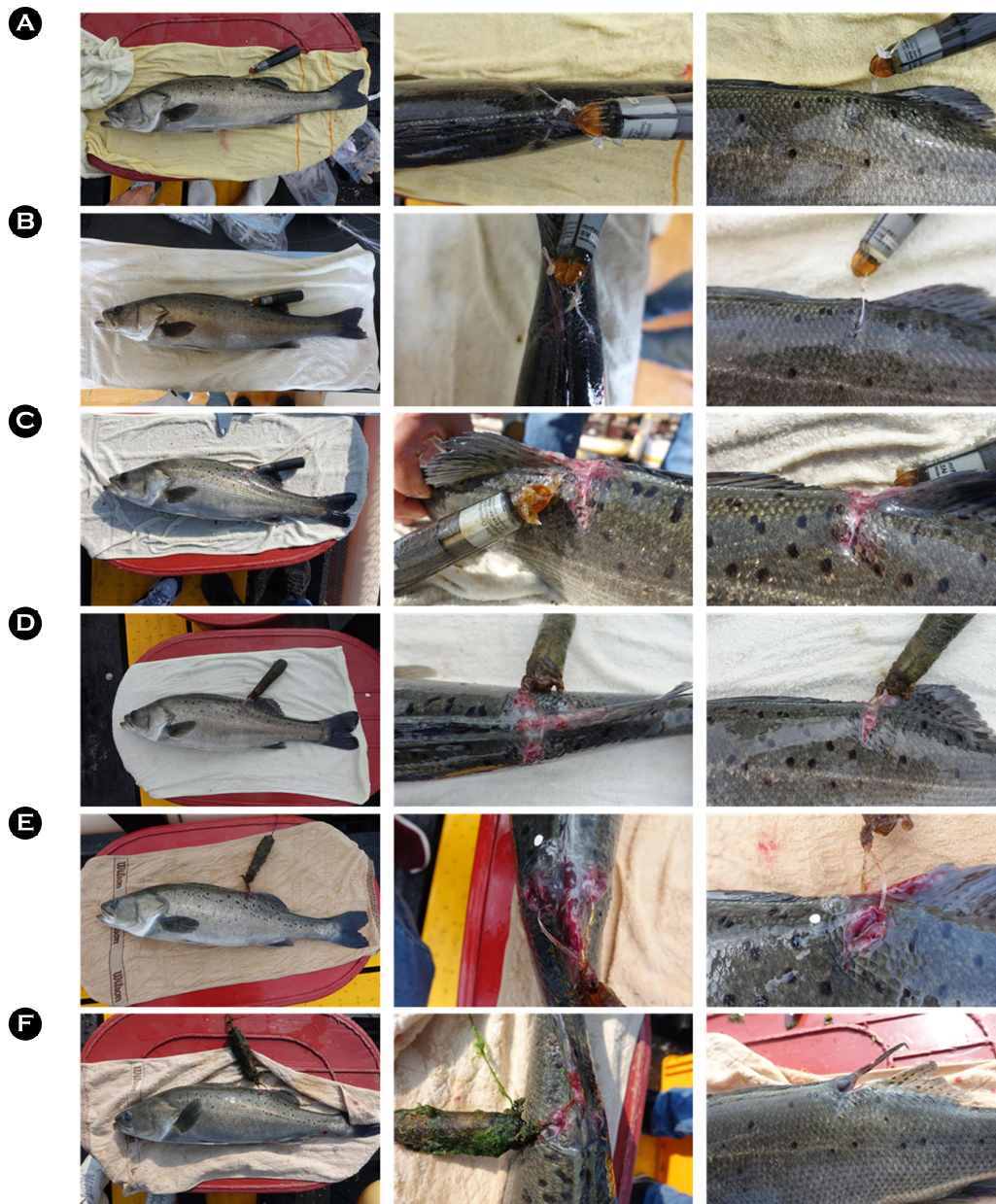


Fig. 6. Change in the status of the attachment site of spotted sea bass *Lateolabrax maculatus* with a monofilament-connected dummy mrPAT (mark report PAT) on days 1 (A), 7 (B), 14 (C), 28 (D), 56 (E), and 84 (F).

와 혈액성상 및 스트레스 호르몬(GPT, TCHO, catalase, cortisol 및 SOD)에 차이가 없었지만, 어중에 따라 바이오로거 부착 초기 및 후기에 미부착구에 비해 혈액성상의 유의한 증가 또는 감소하는 현상을 보였다(Park and Oh, 2018). 즉, 조피볼락은 부착 1일째(hematocrit)와 21일째(hematocrit와 hemoglobin)에, 참돔의 경우 부착 1일째(hemoglobin, GLU 및 GOT)에 유의한 감소 현상을 보여 본 실험에서 나타난 바이오로거 부착 점농어의 일부 혈액성상

의 유의한 증가와는 차이를 보였다. 본 실험과 동일한 점농어를 대상으로 monofilament를 사용하여 dummy mrPAT를 부착한 경우 hematocrit, hemoglobin, GOT, GPT, GLU, TCHO, cortisol 농도 및 SOD 활성은 부착 35일째까지 미부착구와 차이가 나타나지 않아(Oh, 2023) 본 실험과 상이한 결과를 보였지만, 실험방법(실내 vs 해상가두리) 및 실험 기간 등의 차이에서 기인한 것으로 사료된다. Oh et al. (2024) 역시 점농어를 대상으로 silicon tube 방식으로

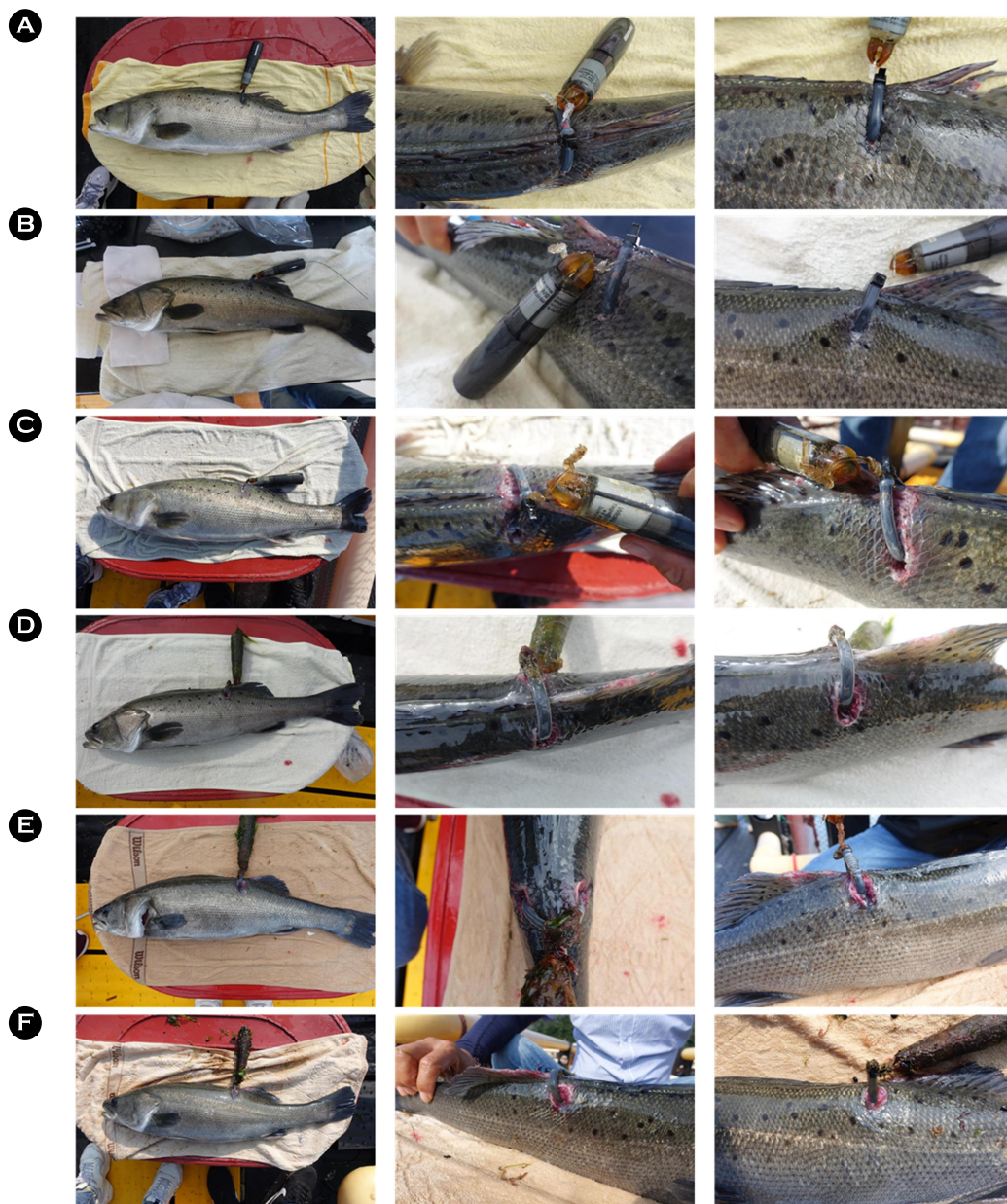


Fig. 7. Change in the status of the attachment site of spotted sea bass *Lateolabrax maculatus* with a silicon tube-connected dummy mrPAT (mark report PAT) on days 1 (A), 7 (B), 14 (C), 28 (D), 56 (E), and 84 (F).

Table 1. Biologger attachment efficiency at day 1, 7, 14, 28, 56 and 84 after attaching biologger to spotted sea bream *Lateolabrax maculatus* with three different methods

Attachment method [*]	Attachment efficiency (%)					
	Day 1	Day 7	Day 14	Day 28	Day 56	Day 84
AA	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	66.6±33.3 ^a	66.6±33.3 ^a	33.3±33.3 ^a	0.0±0.0 ^b
MA	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	33.3±33.3 ^{ab}
SA	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a

*AA: anchor attachment, MA: monofilament attachment, SA: silicon tube attachment. Values (mean ± SE, n=3) with different superscripts in the same column are significantly different ($p<0.05$)

바이오로거를 부착하여 실내 사육시설에서 부착 21일째까지 GOT, GPT, TP, TCHO, triglyceride 및 SOD 농도가 미부착구와 차이가 없다고 보고하였지만, PSAT를 부착한 blacktip shark (*Carcharhinus limbatus*)의 경우 GLU 농도가 유의하게 증가한다는(Mohan et al., 2020) 이전의 연구 결과로 볼 때 어종별 부착방법에 따라 생리적 영향 정도가 다르다는 것을 알 수 있다(Oh, 2023).

바이오로거 부착방법 별 시간 경과에 따른 부착효율을 Table 1에 나타내었다. 바이오로거 부착 후 7일째까지는 모든 부착구에 바이오로거가 탈락하는 현상이 없었지만, 실험구 AA의 경우 부착 14일째부터 탈락 현상이 나타나 실험 종료 시인 84일째에 모두 탈락하는 현상을 보였다. 실험구 MA의 경우 부착 후 56일째까지 탈락 현상이 없었지만, 실험 종료 시(즉, 84일째)의 최종 바이오로거 부착효율은 33.3%이었다. 실험구 SA의 경우 실험 종료 시까지 탈락 없이 100%의 바이오로거 부착효율을 보여 가장 높은 효율을 보였다. Oh and Jeong (2021)은 방어의 경우 anchor를 하나 또는 두 개를 활용한 방식 모두 부착 14일째에 100.0% 탈락하지만 silicon tube 방식은 부착 28일째까지 66.7% 부착효율을 유지한다고 보고하였고, monofilament 방식을 적용한 조피볼락과 참돔은 부착 21일째까지(Park and Oh, 2018), 점농어는 부착 35일(Oh, 2023)과 21일째(Oh et al., 2024)까지 100.0%의 부착효율이 보고된 바 있다. 본 연구 결과에서도 가장 낮은 부착효율은 anchor 방식이었고 다음 순으로 monofilament 그리고 silicon tube 방식으로 나타나 이전의 연구 결과와 일치하였다. 이와 같은 바이오로거의 부착효율은 부착방법뿐만 아니라 바이오로거의 크기, 부착 부위, 어류 크기 및 어종 등 다양한 인자들이 영향을 미칠 수 있어 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다(Ralston and Horn, 1986; O'Connor et al., 2009; Beaumont and Masters, 2003; Oh and Jeong, 2021; Oh, 2023; Oh et al., 2024).

바이오로거 부착방법에 따른 시간 경과에 따른 부착 부위의 상태 변화를 Fig. 5, Fig. 6 및 Fig. 7에 나타내었다. 바이오로거 부착구 모두 부착 1일째까지는 부착 부위에 큰 차이가 없었지만, 부착 7일째부터 부착 부위의 환부가 확대되는 현상이 나타났다. 실험구 AA의 경우 부착 14일째 부착 환부의 확대에 따른 삽입 anchor

가 느슨해지기 시작해 1개체에서 바이오로거가 탈락하였다. 부착 28일째에는 anchor와 연결된 스테인레스 스틸이 육안으로 확인될 정도로 부착 부위의 환부가 확대되었으며, 부착 56일째 추가로 1개체에서 바이오로거가 탈락하였다. 부착 56일 후 남아있는 1개체의 부착 부위 환부가 개선되는 현상을 보였지만 anchor 끝부분이 노출되어 탈락 직전의 상태를 보인 후 부착 84일째에는 모든 개체에서 바이오로거가 탈락하였고, 앞서 탈락한 개체의 부착 부위 환부는 거의 회복되었다(Fig. 5). 실험 MA의 경우 부착 7일째 일부 개체에서 부착 부위 및 등지느러미 부위의 환부 발생이 나타나기 시작해 부착 14일째부터 56일째까지 부착 부위 및 등지느러미 부위의 환부 확대 현상이 관찰되었다. 부착 84일째에는 2개체에서 바이오로거가 탈락하였고, 일부 개체에서는 등지느러미까지 뜯겨져 갈라지는 현상을 보였지만 상처 부위는 회복되는 현상을 보였다(Fig. 6). 실험구 SA의 경우 다른 실험구에 비해 부착 7일째까지 부착 부위에 큰 변화를 보이지 않았지만 부착 14일째부터 부착 부위의 환부가 벌어지기 시작해 28일째까지 환부가 확대되었다. 부착 56일째에는 부착 28일째보다 부착 부위 환부가 회복되었지만 등지느러미의 환부가 발생하기 시작해 부착 84일째까지 지속되었지만 실험 종료 시에는 부착 환부의 회복 현상이 뚜렷해졌으며 바이오로거의 탈락이 발생하지 않았다(Fig. 7). 바이오로거 체외 부착을 위한 anchor, monofilament, silicon tube, 비탄성 harness 및 부착 wire 등에 의한 근육과 외피 손상은 바이오로거 탈락뿐만 아니라 대상어류의 생존율, 유영능력 및 면역력 감소 등 다양한 문제점을 야기할 수 있으며(Jepen et al., 2015; Oh and Jeong, 2021; Oh, 2023; Oh et al., 2024), 방어(Oh and Jeong, 2021), 점농어(Oh, 2023; Oh et al., 2024), American eel (*Anguilla rostrata*) (Thorstad et al., 2000) 등 다양한 어종에서 보고된 바 있다. 이와 같은 부착 부위의 환부는 바이오로거의 크기 등도 영향을 미칠 수 있기 때문에 다양한 인자들에 대한 향후 부착 부위의 손상을 최소한으로 할 수 있는 기법 개발이 필요하다(Thorstad et al., 2000; Oh, 2023).

이상의 결과로 볼 때 점농어를 대상으로 한 최적 바이오로거 체외 부착방법은 silicon tube 방식으로 부착 부위의 표피 손상이

발생하였지만, 혈액성상, 스트레스 호르몬 및 부착효율을 고려할 때 가장 효과적인 방법으로 나타났다. 이와 같은 결과는 점농어의 자원 및 양식생물학적 연구용 생물원격측정 기법 개발 및 바이오로거의 체외 부착에 따른 생리학적 영향 평가를 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원(20203030020080, 해상풍력 단지 해양공간 환경 영향 분석 및 데이터베이스 구축, PN91870)으로 이루어진 연구입니다. 본 연구의 진행 및 분석을 도와주신 최희정 기술원 및 정유경 연구원께 감사드립니다.

참고문헌

- Beaumont WRC, Masters JEG. 2003. A method for the attachment of miniature radio tags to pike *Esox lucius*. *Fish Manag Ecol* 10: 407-409.
- Bolle LJ, Hunter E, Rijnsdorp AD, Pastoors MA, Metcalfe JD, Reynolds JD. 2005. Do tagging experiments tell the truth? Using electronic tags to evaluate conventional tagging data. *ICES J Mar Sci* 62: 236-246.
- Bridger CJ, Booth RK. 2003. The Effects of Biotelemetry Transmitter Presence and Attachment Procedures on Fish Physiology and Behavior. *Rev Fish Sci* 11: 13-34.
- Dick M, Eliason EJ, Patterson DA, Robinson KA, Hinch SG, Cooke SJ. 2018. Short-term physiological response profiles of tagged migrating adult sockeye salmon: A comparison of gastric insertion and external tagging methods. *T Am Fish Soc* 147: 300-315.
- Donaldson MR, Hinch SG, Suski CD, Fisk AT, Heupel MR, Cooke SJ. 2014. Making connections in aquatic ecosystems with acoustic telemetry monitoring. *Front Ecol Environ* 12: 565-573.
- Gilly WF, Markaida U, Baxter CH, Block BA, Boustany A, Zeidberg L, Reisenbichler K, Robinson B, Bazzino G, Salinas C. 2006. Vertical and horizontal migrations by the jumbo squid *Dosidicus gigas* revealed by electronic tagging. *Mar Ecol Prog Ser* 324: 1-17.
- Hazen EL, Maxwell SM, Bailey H, Bograd SJ, Hamann M, Gaspar P, Godley BJ, Shillinger GL. 2012. Ontogeny in marine tagging and tracking science: Technologies and data gaps. *Mar Ecol Prog Ser* 457: 221-240.
- Hedger RD, Rikardsen AH, Thorstad EB. 2017. Pop-up satellite archival tag effects on the diving behaviour, growth and survival of adult Atlantic salmon *Salmo salar* at sea. *J Fish Biol* 90: 294-310.
- Jepsen N, Thorstad EB, Havn T, Lucas MC. 2015. The use of external electronic tags on fish: an evaluation of tag retention and tagging effects. *Anim Biotelemetry* 3: 49.
- Lee GS, Kang PJ, Park HM, Oh SY. 2023. External attachment of pop-up satellite archival Tag (PSAT) and water temperature affect oxygen consumption rate of the olive Flounder *Paralichthys olivaceus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 56: 660-666.
- Lynch SD, Marcek BJ, Marshall HM, Bushnell PG, Bernal D, Brill RW. 2017. The effects of pop-up satellite archival tags (PSAT) on the metabolic rate and swimming kinematics of juvenile sandbar shark *Carcharhinus plumbeus*. *Fish Res* 186: 205-215.
- Macaulay G, Warren-Myers F, Barrett LT, Oppedal F, Fore M, Dempster T. 2021. Tag use to monitor fish behaviour in aquaculture: a review of benefits, problems and solutions. *Rev Aquacult* 13: 1565-1582.
- Makiguchi Y, Ueda H. 2009. Effects of external and surgically implanted dummy radio transmitters on mortality, swimming performance and physiological status of juvenile masu salmon *Oncorhynchus masou*. *J Fish Biol* 74: 304-311.
- Mohan JA, Jones ER, Hendon JM, Falterman B, Boswell KM, Hoffmayer ER, Wells RJD. 2020. Capture stress and post-release mortality of blacktip sharks in recreational charter fisheries of the Gulf of Mexico. *Conserv Physiol* 8: coaa041.
- Murie D, Parkyn D, Austin J. 2011. Seasonal movement and mixing rates of greater amberjack in the Gulf of Mexico and assessment of exchange with the South Atlantic spawning stock. *Southeast Data, Assessment and Review*, 33-DW12, 46.
- Musyl MK, Domeier ML, Nasby-Lucas N, Brill RW, McNaughton LM, Swimmer JY, Lutcavage MS, Wilson SG, Galuardi B, Liddle JB. 2011. Performance of pop-up satellite archival tags. *Mar Ecol Prog Ser* 433: 1-28.
- O'Connor JP, Koehn JD, Nicol SJ, O'Mahony DJ, McKenzie JA. 2009. Retention of radio tags in golden perch (*Macquaria ambigua*), silver perch (*Bidyanus bidyanus*) and carp (*Cyprinus carpio*). *Mar Freshw Res* 60: 334-340.
- Oh SY. 2023. Effect of bio-logger attachment location on blood characteristics and bio-logger attachment efficiency in spotted sea bass *Lateolabrax maculatus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 56: 651-659.
- Oh SY, Jeong YK. 2021. Effects of external pop-up satellite archival tag (PSAT) tagging method on blood indices and PSAT attachment efficiency of yellowtail *Seriola quinqueradiata*.

- Korean J Fish Aquat Sci 54: 38-45.
- Oh SY, Maeng JH, Kang HS. 2024. Effect of biollogger attachment on the stress and health state of the spotted sea bass *Lateolabrax maculatus*. J Mar Sci Eng 12: 793.
- Park JK, Oh SY. 2023. A review of fish bio-logging for biotelemetry applications. Fish Aquat Sci 26: 698-707.
- Park JK, Lee WY, Baek S, Oh SY. 2024. Horizontal and vertical movement patterns of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) in the East Sea of Korea. Fish Aquat Sci 27: 76-86.
- Park JW, Oh SY. 2018. Physiological responses of marine fish to external attachment of pop-up satellite archival tag (PSAT). Ocean Polar Res 40: 169-176.
- Prince ED, Ortiz M, Venizel A, Rosenthal DS. 2002. In-water conventional tagging techniques developed by the cooperative tagging center for large highly migratory species. Am Fish Soc Symp 30: 155-171.
- Ralston SL, Horn MH. 1986. High tide movements of the temperate-zone herbivorous fish *Cebidichthys violaceus* (Girard) as determined by ultrasonic telemetry. J Exp Mar Biol Ecol 98: 35-50.
- Runde BJ, Buckel JA, Bacheler NM, Tharp RM, Rudershausen PJ, Harms CA, Ben-Horin T. 2022. Evaluation of six methods for external attachment of electronic tags to fish: assessment of tag retention, growth and fish welfare. J Fish Biol 101: 419-430.
- Smircich MG, Kelly JT. 2014. Extending the 2% rule: the effects of heavy internal tags on stress physiology, swimming performance, and growth in brook trout. Anim Biotelemetry 2: 16.
- Thorstad EB, Økland F, Finstad B. 2000. Effects of telemetry transmitters on swimming performance of adult Atlantic salmon. J Fish Biol 57: 531-535.
- Thorstad EB, Rikardsen AH, Alp A, Økland F. 2013. The use of electronic tags in fish research – An overview of fish telemetry methods. Turk J Fish Aquat Sci 13: 881-896.
- Tone K, Nakamura Y, Chiang WC, Yeh HM, Hsiao ST, Li CH, Komeyama K, Tomisaki M, Hasegawa T, Sakamoto T, Nakamura I, Sakakura Y, Kawabe R. 2022. Migration and spawning behavior of the greater amberjack *Seriola dumerili* in eastern Taiwan. Fish Oceanogr 31: 1-18.
- Zakęś Z, Rożyński M, Demska-Zakęś K. 2019. Effect of PIT tagging on hematology and plasma composition of juvenile pike-perch *Sander lucioperca* (L.). Aquac Int 27: 971-981.