

# 하이브리드 배터리 시스템 기반 어류 바이오로거

구성민<sup>1,2</sup>, 백승재<sup>1</sup>, 강현<sup>1</sup>, 박아현<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원 ICT융합연구센터, <sup>2</sup>KMOU-OST School 해양과학기술융합학과, <sup>3</sup>㈜엠이티솔루션

## Hybrid Battery System based Fish Biologger

Sungmin Koo<sup>1,2</sup>, Seungjae Baek<sup>1</sup>, Hyoun Kang<sup>1</sup>, Ah Hyun Park<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Maritime ICT R&D Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan Korea

<sup>2</sup>Department of Convergence Study on the Ocean Science and Technology, KMOU-OST School, Busan, Korea

<sup>3</sup>R&D Center, Marine Equipment Technology Solutions, Busan, Korea

**요약** 바이오로거는 소형 데이터 획득 장치를 부착하여 대상체의 행동 특성 및 주변 환경 데이터를 수집하는 기술로써, 방대한 시간·공간의 데이터 확보를 가능하게 한다. 바이오로거를 원격 탐사 도구로 사용하여 장시간 데이터를 획득하기 위해서는 바이오로거의 경량화, 저전력화가 필수적이다. 본 논문에서는 하이브리드 배터리 기반 PSAT(Pop-up Satellite Archival Tag) 타입의 어류 바이오로거를 제안한다. 제안된 바이오로거는 동작 모드에 따라 해수배터리와 리튬이온 배터리를 선택적으로 사용한다. 효율적인 전력원 변경을 위해 바이오로거의 전력 사용패턴을 분석하였고, 전력 소모 임계치에 따라 끊임 없이 전력원을 변경할 수 있는 전원 변경 회로를 제안하였다. 제안된 회로는 실제 해수배터리와 리튬이온 배터리를 활용하여 구현하였고, 테스트 코드를 통해 정상 동작함을 검증하였다. 또한, 전력 소모량 측정을 통해 제안된 하이브리드 배터리 기반 바이오로거가 기존 바이오로거 대비 약 84.2% 적은 리튬이온 배터리 용량만으로 동일 기간 작동 가능함을 검증하였고, 수밀 공간 감소를 통해 경량화가 가능함을 보였다.

**Abstract** A biologging that enables the acquisition of large-scale behavioral and environmental data is a technology that attaches a logger to the target species to collect the required data. However, to acquire long-term data, it is essential to reduce the weight and power consumption of the logger. This paper proposed a hybrid battery system-based PSAT (Pop-up Satellite Archival Tag) fish biologger. The proposed system selectively uses either a sea-water or a lithium-ion battery depending on the logger's operation mode. We first analyzed the power usage pattern of a biologger to change the power source efficiently. We then proposed a circuit in which the power source is instantly changed without any power cut and according to the power consumption threshold. The proposed circuit for a biologger was implemented with a sea-water battery and a lithium-ion battery and was verified using a simple test code. We then measured the system's power consumption and confirmed that the proposed system could provide the same lifetime with only about 84.2% lesser lithium-ion battery capacity. We also have shown that the minimization of the size of the watertight space can reduce the weight of the entire system.

**Keywords** : Biologger, Sea-Water Battery, Hybrid Battery System, Remote Sensing, PSAT

본 연구는 산업통상자원부 한국에너지기술평가원의 해수이차전지 대용량화 및 MWh급 ESS 기술개발(1KWh급 이상 해수이차전지 단위모듈 적용 해양기기 제품개발, 20215610100030)의 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

\*Corresponding Author : Ah Hyun Park(Marine Equipment Technology Solutions)

email: smkoo@kiost.ac.kr

Received October 8, 2021

Revised October 27, 2021

Accepted November 5, 2021

Published November 30, 2021

## 1. 서론

지속적인 해양 오염 및 기후변화 가속화로 해양 생태계와 어족자원 서식 등 해양 환경의 근본적 변화가 지속되고 있다[1]. 인간의 기본적 생활에 막대한 영향을 주는 해양변화에 대응하기 위해서는 장기간의 관측 데이터에 기반한 정량 분석이 필수적이다.

최근, 장시간 해양 환경 정보 획득을 위해 바이오로거(Bio-logger)의 사용이 각광을 받고 있다. 바이오로거는 소형 데이터 획득 장치를 동물에 부착하여 대상 동물의 행동 특성 및 주변 환경 데이터를 수집하는 기술이다. 동물을 원격 탐사 도구로 사용함으로써 방대한 시간·공간 규모의 환경 데이터 확보가 가능하다.

바이오로거를 해양 환경에 도입하여 방대한 해양의 장시간 데이터 획득을 위해서는 바이오로거의 경량화, 저전력화가 필수적이다. 이에 따라 본 논문에서는 바이오로거의 경량화 및 장기간 운용을 위한 하이브리드 배터리가 적용된 어류 바이오로거를 제안한다. 제안된 바이오로거는 리튬이온 배터리와 해수에 노출하여 사용 가능한 해수배터리를 하이브리드 전력원으로 사용하며, 요구 전력에 따라 해수배터리와 리튬이온 배터리를 선택적으로 사용한다. 이를 통해, 기존 바이오로거 대비 약 84.2% 적은 용량의 리튬이온 배터리로 기존과 동일한 기간 운용이 가능함을 보였다.

2장에서 바이오로거와 해수배터리에 대해 소개하고, 3장에서는 제안하는 하이브리드 배터리 바이오로거에 대해 설명한다. 4장에서는 제안한 기술에 대한 구현 및 실험 결과를 보이고, 마지막으로 5장에서 결론을 짓는다.

## 2. 선행연구

### 2.1 바이오로거

바이오로거는 메인 컨트롤러, 저장장치, 센서, 배터리와 케이스 등으로 구성되며, 요구 기능에 따라 안테나가 추가될 수 있다. 메인 컨트롤러는 로거의 구동을 담당하며, 장기간 운용을 위해 슬립모드 기능이 지원되는 저전력 소모 MCU(Micro Control Unit)가 사용된다. 저장장치에는 센서로부터 획득된 데이터가 저장되며 비교적 전력 소모량이 적은 플래시메모리(Flash memory) 등이 사용된다. 로거의 요구조건에 따라 온도, 전도도, 염분, 압력, 광량 등 다양한 센서가 부착되며, 저장된 데이터의

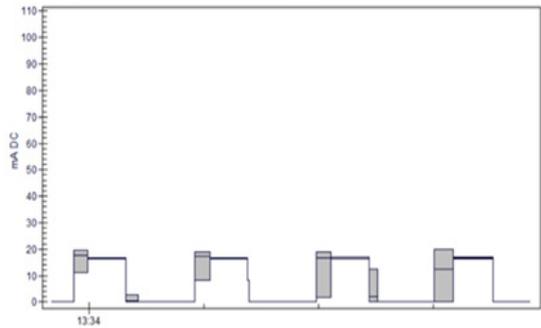


Fig. 1. Power consumption pattern of conventional bio-logger

송신이 필요한 경우 음향통신(Acoustic), RF(Radio Frequency) 혹은 위성통신을 위한 안테나가 함께 장착된다. 각 구성요소들은 로거를 작동시키기 위한 배터리와 함께 사용 환경에 적합한 재질의 케이스로 패키징된다.

PSAT(Pop-up Satellite Archival Tag)는 아카이벌 태그와 통신 태그의 하이브리드 형태로써, 대상체에 부착된 후 데이터를 수집하여 태그 내부에 저장한 뒤, 특정 기간 이후 수표면으로 부상하여 RF 혹은 위성을 통해 데이터를 전송한다[2,3].

### 2.2 해수배터리

양극과 음극으로 구성된 기존 배터리와 달리, 해수배터리는 기존의 양극을 해수로 대체하여 작동되는 2차 전지이다[4-6]. 이는 해수배터리가 기존 배터리 대비 절반의 크기로 동일 배터리 용량을 제공하거나, 동일한 배터리 용량을 제공하면서 배터리의 크기와 무게를 절반으로 줄일 수 있음을 의미한다. 또한, 충격에 의한 폭발 위험이 없으므로 안정적 활용이 가능하며, 수밀이 필요 없기에 이를 활용하는 해양 기기의 크기와 무게를 대폭 줄일 수 있다[7].

## 3. 설계 및 구현

효율적인 하이브리드 배터리 시스템 설계를 위해 바이오로거의 동작 특성을 분석하였다. 바이오로거는 사용자가 설정한 시간 간격에 따라 주기적으로 데이터를 수집하여 저장한다. 즉, 데이터를 수집하지 않을 때는 최소의 전력만 소모하는 슬립(sleep) 모드 상태를 유지하며, 사용자가 사전에 정의한 시간 간격이 되면 정상 활동(work) 모드로 활성화되어 작동된다. 시간 간격이 짧을

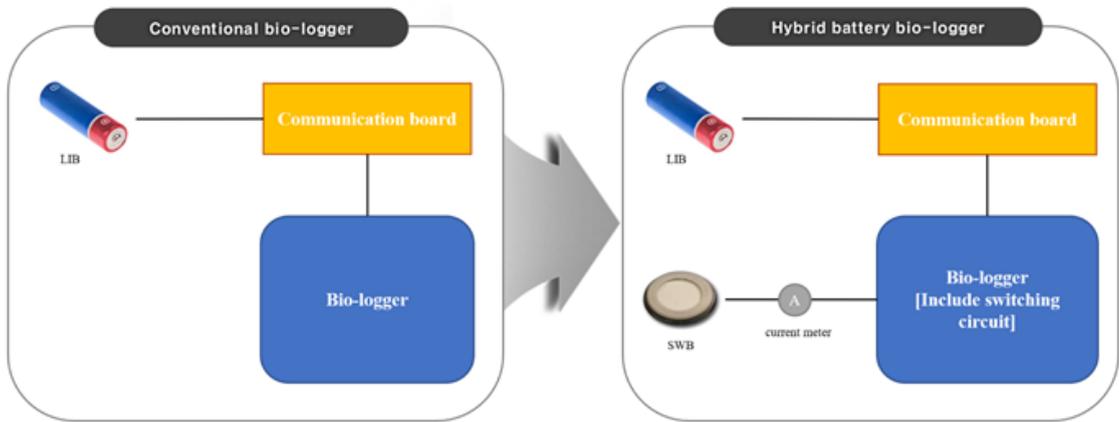


Fig. 2. Concept of hybrid battery bio-logger

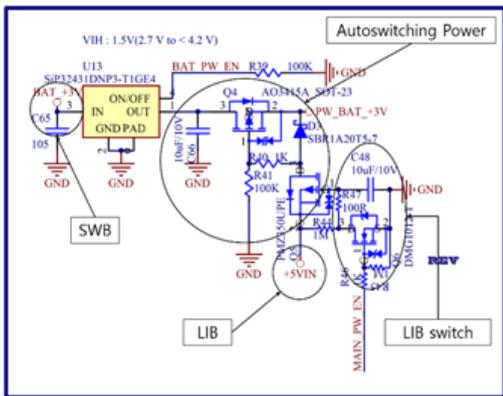


Fig. 3. Circuit diagram of autoswitching power

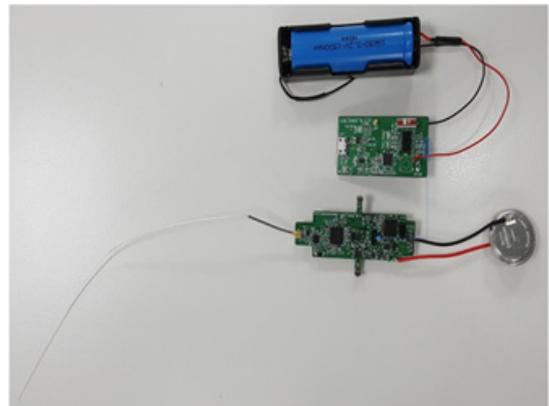


Fig. 4. Hybrid battery bio-logger prototype

수록 정밀한 데이터를 얻을 수 있으나 장시간 데이터 수집을 위해서는 한정된 배터리 양을 고려한 적절한 설정이 필요하다. 최적의 데이터 밀도를 얻기 위한 바이오로거의 데이터 수집 간격은 수명이 270일 미만일 경우 4시간, 270일 이상일 경우 12시간으로 설정해야 하며[8], 본 논문에서는 장기간의 데이터 수집을 목표로 하므로 하루 2번 데이터를 수집한다.

바이오로거의 전력 요구 특성을 정량적으로 파악하기 위해 동작 모드별 소모 전력을 분석하였다. 분석을 위해 데이터 수집 시간 간격을 10초로 설정하였으며, 활동 모드 진입 시 Wet/Dry, 압력, 조도, 자이로 9축 센서로 값 측정 후 저장장치에 저장하도록 하였다. Fig. 1과 같이 바이오로거는 활동 모드 진입 시 전력 소모량이 급 상승하여 전력을 소모하고, 센싱 이후 슬립 모드 상태로 즉각 전환되어 전력 소모량을 최소화하는 단순 패턴을 반복한다. 이는, 단 시간 동안 고출력 요구조건을 만족시킬 수 있는 배터리와 장 시간 동안 저출력 요구조건을 만족시

킬 수 있는 배터리로 하이브리드 배터리 시스템을 구성하는 경우 바이오로거의 효율적 장기간 운용이 가능함을 의미한다.

Fig. 2는 본 논문에서 제안하는 하이브리드 배터리 시스템의 구조를 기존 바이오로거와 비교하여 나타낸 것이다. 기존 바이오로거는 전력 공급원으로 리튬 기반 단일 배터리를 사용한다. 반면, 본 논문에서 제안하는 하이브리드 배터리 시스템 바이오로거는 다이오드의 순방향 특성을 통해 전원이 스위칭되며, 슬립 모드에서 해수배터리 코인셀을 통해 전력을 공급하고 활동 모드에서 리튬 기반 배터리를 통해 전력을 공급한다. 하이브리드 배터리 시스템 도입의 효과를 분석하기 위해 바이오로거의 부품별 무게를 분석하였다. Wildlife Computers 社の mrPAT의 경우 배터리와 수밀 재료가 전체 무게의 약 80%를 차지한다. 해수배터리는 수밀 처리가 불필요하므로, 해수배터리를 적용한 하이브리드 배터리 시스템 도입 시 기존과 동일한 총 배터리 용량을 제공하면서, 수밀

**Algorithm 1** Pseudo code of testing tool

```

1: procedure TESTING_BIOLOGGER
2:   LIB_ENABLE
3:   Test_Value ← -333
4:   CHECK_VALUE → -333
5:   while True do
6:     Test_Value ← 777
7:     CHECK_VALUE → 777
8:     FUNCTION_ENABLE
9:     Sensing()
10:    Send_data()
11:    FUNCTION_DISABLE
12:    LIB_DISABLE
13:    Sleep(10)
14:    Wake_up()
15:    LIB_ENABLE
16:  end while
17: end procedure
    
```

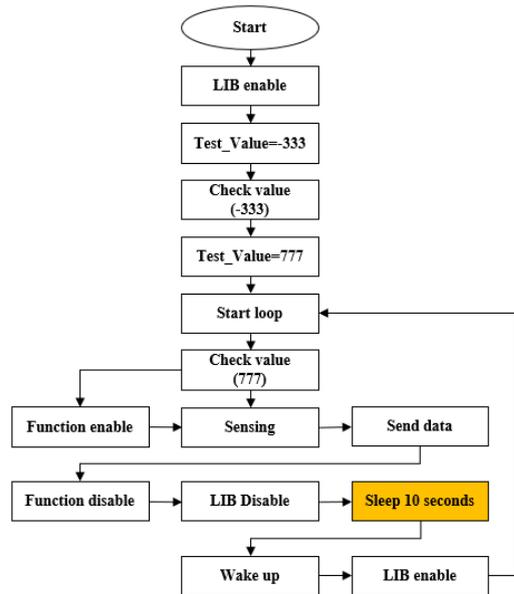


Fig. 5. Test Program

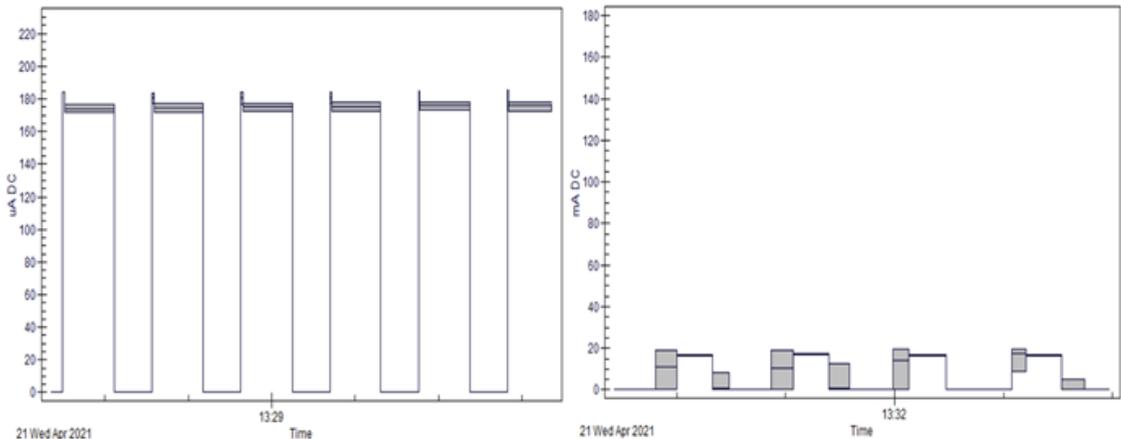


Fig. 6. Result of power consumption test (left: SWB, right: LIB)

공간 감소를 통해 바이오로저의 경량화가 가능하다. 바이오로저의 무게에 따라 적용 어종에 제약이 존재하므로, 바이오로저의 경량화는 다양한 어종에 적극적인 바이오로저 적용을 가능케 한다.

한편, 하이브리드 배터리 기반 바이오로저의 효율적 동작을 위해서는 전력 중단 없이 짧은 시간 내에 전력 공급원 변경이 완료되어야 한다. 바이오로저는 슬립-활동의 단순한 동작 특성을 가지고 있으므로, 소모 전력량이 해수배터리가 감당할 수 있는 임계치를 넘어서면 리튬이온 배터리로 전력 공급원을 변경하는 단순한 형태의 파

워 스위치(power switch)로 전력 공급원 변경 회로의 구현이 가능하다.

Fig. 3은 파워 스위치 회로도이다. 파워 스위치를 기계식 릴레이로 구현하는 경우 전력원 전환 순간 전원 끊김이 발생하므로 반도체 소자를 사용하여 자동 스위칭 전원(auto-switching power) 회로를 구현하였다. 자동 스위칭 전원 회로는 FET(Field Effect Transistor) 내부의 다이오드와 외부의 쇼트키 다이오드의 순방향 특성을 사용하여 제어된다. FET switch(Q5)가 OFF 되면 코인셀(2.8V)로부터 FET(Q4)을 통하여 전원이 공급되며,

FET switch(Q5)가 ON이 되면 FET(Q4) 전원 공급 방향이 내부 다이오드로 바뀌게 된다. 이때, 전위가 낮은 코인셀은 FET 내부 다이오드가 순방향이 되지 못해 차단되고 전위가 높은 리튬이온 배터리로부터 쇼트키를 통하여 전원이 공급된다.

Fig. 4는 하이브리드 배터리 기반 어류용 바이오로거 프로토타입이다. 프로토타입은 상부 PCB와 하부 PCB로 구분되어 있다. 하부 PCB는 바이오로거의 핵심 기능을 수행하며, 구동을 위한 MCU, 수중환경을 파악해 동작하기 위한 Wet/Dry 센서, 수심을 파악하기 위한 압력센서, 일출, 일몰을 기반으로 위치를 파악하기 위한 조도센서, 움직임 감지를 위한 자이로 9축 센서, 해수배터리 코인셀, 위성통신을 위한 안테나가 포함된다. 상부 PCB는 리튬이온 배터리가 포함되며, 바이오로거의 데이터 수집 간격 설정 및 필요시 데이터를 PC로 추출할 수 있는 통신 기능을 수행한다.

### 3. 실험결과

하이브리드 배터리 기반 바이오로거의 동작 검증을 위해 Fig. 5와 같이 동작하는 테스트 코드를 작성하였다. 구체적으로, 바이오로거 부팅 시 메모리에 존재하는 Test\_Value 변수의 값을 -333으로 초기화 및 출력하고, 다시 값을 777로 변경하며, 10초 동안 슬립 모드 상태를 유지한 후 활동 모드로 복귀한다. 활동 모드로 복귀 이후 변수 값을 확인함으로써 해수배터리 코인셀로 슬립 모드 유지 시 요구되는 전력의 정상 공급 유무를 확인한다. 테스트 코드 수행 결과 Test\_Value 값이 777로 유지되는 것을 확인하였다. 이는 자동 스위칭 전원 회로를 통해 바이오로거의 전력 요구량에 따라 하이브리드 배터리 시스템의 전원을 끊김 없이 전환하며 운용 가능함을 의미한다.

하이브리드 배터리 기반 바이오로거의 장시간 운용 가능성을 검증하기 위해 바이오로거의 실제 배터리 소모량을 측정하였다. Fig. 6의 왼쪽은 해수배터리 코인셀의 전력 소모량, 오른쪽은 리튬이온 배터리의 전력 소모량을 나타낸다. 전력 소모량을 쉽게 파악할 수 있도록 데이터 수집 간격은 10초로 설정하였다. 해수배터리 코인셀은 슬립 모드에서는 평균 174.5 $\mu$ Ah(172-177 $\mu$ Ah), 활동 모드에서는 1 $\mu$ Ah 이하의 전력을 사용하는 것으로 측정되었다. 리튬이온 배터리는 슬립모드에서 평균 37.5 $\mu$ Ah(31-44 $\mu$ Ah), 활동 모드에서는 평균 16.5mAh(16-17mAh)의 전력을 사용하는 것으로 측정되었다.

리튬이온 배터리 기반의 기존 바이오로거와 수명 비교를 위해 기존과 동일한 1550mAh 용량의 리튬이온 배터리와 1032mAh 용량의 코인셀을 사용하여 실험을 진행했다. 활동 모드 한 사이클의 동작 시간을 측정한 결과 약 883ms로 측정되었으며, 3장에서 언급한 바와 같이 데이터 수집 간격을 설정하는 경우 활동 모드로 동작하는 시간은 하루당 실제 2초 미만이지만 본 논문에서는 위성 통신 시간 및 최악의 상황을 고려하여 하루당 20초로 설정하였다. 따라서, 리튬이온 배터리는 1563.4일, 코인셀은 246.5일의 기대수명을 갖는다. 제안된 바이오로거는 코인셀의 수명이 다할 경우 리튬이온 배터리로만 동작이 가능하도록 설계되었다. 따라서, 제안된 바이오로거의 기대 수명은 약 469.2일로 296.6일의 기대 수명을 갖는 기존 바이오로거 대비 172.6일 동안 더 동작이 가능하다.

하이브리드 배터리 기반 바이오로거의 경량화 가능성을 검증하기 위해 전력 소모량을 산정하였다. 슬립 상태는 전체 동작 시간의 약 99.98%이며, 이때 사용하는 전력 소모량은 전체의 약 98.23%에 해당한다. 본 논문에서 사용한 코인셀의 수명인 246.5일을 기준으로 배터리 용량을 구성하는 경우 기존 대비 약 84.2%의 리튬이온 배터리의 용량 감소가 가능하다.

어류 바이오로거는 대상어종에 직접 부착하여 데이터를 수집하기 때문에 바이오로거를 부착한 대상어종이 스트레스로 인해 사망하는 경우가 발생한다. 따라서, 많은 연구들이 이를 방지하기 위해 동물 매개 장치의 무게가 동물 체질량의 5% 넘지 않아야 한다는 협약을 준수한다 [9-11]. 제안된 바이오로거는 전체 무게 40g 중 32g을 차지하는 리튬이온 배터리와 수밀 재료의 무게를 26.9g 줄일 수 있으며 6g의 코인셀 무게가 추가되므로 총 20.9g의 무게 감소가 가능하다. 따라서, 소형 어종에도 부착이 가능한 장점을 가진다.

### 4. 결론

바이오로거는 장시간 슬립 모드로 동작하며, 일정한 주기로 깨어나 단시간 활동 모드에서 데이터를 수집하는 동작 특성을 보인다. 따라서, 단 시간 동안 고출력 요구 조건을 만족시킬 수 있는 배터리와 장 시간 동안 저출력 요구조건을 만족시킬 수 있는 배터리로 하이브리드 배터리 시스템을 구성하는 경우 바이오로거의 효율적 장기간 운용이 가능하다.

본 논문에서는 바이오로거의 요구 전력량에 따라 해수 배터리 코인셀과 리튬이온 배터리를 선택적으로 사용하는 하이브리드 배터리 시스템 기반 어류 바이오로거를 개발했다. 제안된 바이오로거는 리튬이온/해수배터리를 전력 공급원으로 사용하며, 효율적인 전력 공급원 변환을 위해 바이오로거의 전력 사용 패턴을 분석하여 슬립-활동의 단순한 동작 특성을 파악하였으며 전력 소모 임계치에 따라 전력 공급원을 변경할 수 있는 자동 스위칭 전원 회로를 구현하였다. 테스트 코드를 통해 제안된 바이오로거의 정상 동작을 검증하였으며, 수밀 공간에 탑재되는 리튬이온 배터리의 용량을 기존 대비 약 84.2% 줄일 수 있음을 보였다. 향후 실해역 테스트를 통해 실제 성능을 검증하고 바이오로거의 최대 수명 측정 및 고도화를 수행할 예정이다.

## References

- [1] Frölicher, T.L., Fischer, E.M., and Gruber, N., "Marine heatwaves under global warming," *Nature* **560**, 360-364, Aug. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0383-9>
- [2] Block, B. A., Dewar, H., Farwell, C., and Prince, E. D., "A new satellite technology for tracking the movements of Atlantic bluefin tuna", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(16), 9384-9389, Sep. 1998.  
DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.95.16.9384>
- [3] Block, B. A., "Physiological ecology in the 21st century: advancements in biologging science" *Integr. Compar. Biol.*, 45(2), 305-320, Apr. 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1093/icb/45.2.305>
- [4] Kim, Hyojin et al., "Metal-free hybrid seawater fuel cell with an ether-based electrolyte", *Journal of Materials Chemistry A*, 2(46) 10584-19588, Dec. 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1039/C4TA04937C>
- [5] Kim, Youngjin et al., "High-Capacity Anode Materials for Sodium-Ion Batteries", *Chemistry A European Journal*, 20(38), 11980-11992, Aug. 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/chem.201402511>
- [6] Kim, Jae-Kwang et al., "Rechargeable Seawater Battery and Its Electrochemical Mechanism", *ChemElectroChem*, 2(3), 328-332, Nov. 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/celec.201402344>
- [7] S. Koo et al., "Sea-water Battery for Maritime Applications", *Global Oceans 2020: Singapore - U.S. Gulf Coast*, pp. 1-4, Oct. 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEECONF38699.2020.9389130>
- [8] Musyl, M. K. et al., "Performance of pop-up satellite archival tags", *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 433, pp. 1-28, Jul. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.3354/meps09202>
- [9] Murray, D. L. and Fuller, M. R. (2000). A critical review of the effects of marking on the biology of vertebrates. In *Research Techniques in Animal Ecology: Controversies and Consequences* (ed. L. Boitani and T. Fuller), pp. 15-64. New York: Columbia University Press.
- [10] Horning, M. et al., "Best practice recommendations for the use of fully implanted telemetry devices in pinnipeds", *Anim Biotelemetry*, 5(13), Jun. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1186/s40317-017-0128-9>
- [11] Josef Virens and Alison Cree, "Further miniaturisation of the ThermoChron iButton to create a thermal bio-logger weighing 0.3 g", *Journal of Experimental Biology*, 221(11): jeb176354, Jan. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1242/jeb.176354>

구 성 민(Sungmin Koo)

[정회원]



- 2018년 8월 : 단국대학교 대학원 컴퓨터공학 (공학석사)
- 2019년 2월 ~ 현재 : KMOU-OST school 대학원 해양과학기술훈합학과(박사과정)

<관심분야>

운영체제, 시스템소프트웨어

백 승 재(Seungjae Baek)

[정회원]



- 2007년 2월 : 단국대학교 컴퓨터과학(이학석사)
- 2010년 2월 : 단국대학교 컴퓨터공학(공학박사)
- 2011년 6월 : ㈜프롬나이(벤처 창업)
- 2013년 9월 : Univ' of Pitt Post- doc.
- 2016년 2월 : 단국대학교 조교수
- 2016년 7월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 책임연구원

<관심분야>

운영체제, 스토리지 시스템, 시스템소프트웨어

강 현(Hyoun Kang)

[정회원]



- 2012년 8월 : 단국대학교 대학원  
지반공학전공 (공학석사)
- 2014년 5월 ~ 현재 : 한국해양과  
학기술원 재직

<관심분야>

지반공학, 해양지반조사, 해양구조물

---

박 아 현(Ah Hyun Park)

[정회원]



- 2011년 2월 : 전북대학교 반도체  
화학공학부 (공학석사)
- 2015년 8월 : 전북대학교 반도체  
화학공학부 (공학박사)
- 2019년 5월 ~ 2021년 4월 : 한국  
기계연구원 연구원
- 2021년 5월 ~ 현재 : ㈜엠이티솔  
루션 선임연구원

<관심분야>

반도체 공학