2019M1A5A1102273

해양 바이오로깅 요소기술 개발 및 기반 구축 연구 최종보고서

2021

한국해양과학기술원
해양과학기술정보통신부

보안 과제( ), 일반 과제(√) / 공개(√), 비공개( )발간등록번호( )
해양극지기초원천기술개발 사업 제2차 연도 최종 보고서

해양 바이오로깅 요소기술 개발 및 기반 구축 연구
최종보고서

2021.06.11.

주관연구기관 / 한국해양과학기술원

과 학 기 술 정 보 통 신 부

한국해양과학기술원

제 출 문

과학기술정보통신부장관 귀하

‘해양 바이오로깅 요소기술 개발 및 기반 구축 연구’(연구개발 기간 : 2019.10.19. ~ 2021.3.31.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2021. 06. 11.

주관연구기관명 : 한국해양과학기술원 (대표자) 김웅서 (인)

주관연구기관책임자: 백승재

과학기술정보통신부 소관 과학기술분야 연구개발사업 처리규정
제35조(연구개발성과의 공개)에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	2019M1A5A1102273	해당 단계 연구 기간	2019.10.10. ~ 2021.03.31 (18개월)	단계구분	1/1
연구사업명	중사업명	해양극지기초원천기술개발사업			
	세부사업명	해양극지기초원천기술개발사업			
연구과제명	대과제명	해양 바이오로깅 요소기술 개발 및 기반 구축 연구			
	세부과제명				
연구책임자		해당단계 참여연구원 수	총: 20명 내부: 6명 외부: 14명	해당단계 연구개발비	정부:436,000천원 민간: 천원 계:436,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 22명 내부: 6명 외부: 16명	총 연구개발비	정부:686,000천원 민간: 천원 계:686,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국해양과학기술원 해양ICT융합연구센터			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내 · 외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	보안과제 해당 없음

9대 성과 등록 · 기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁번호	O	O	O								

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약

1. 해양 바이오로깅 요소기술 개발
2. 해양 바이오로깅 시범 적용 연구
3. 연구결과 반영 중장기 전략 도출 및 수립
4. 연안 생물종 포획 및 바이오로거 부착 테스트
5. 바이오로깅을 결과를 통한 서식환경 관측 및 행동 분석

보고서 면수 : 108

해양극지기초원천기술개발사업 최종보고서
(평가/제출용, 총괄과제용)

양식A101-1

① 부처사업명(대)	거대과학연구개발사업	④ 보안등급(보안, 일반)	일반
② 사업명(중)	해양극지기초원천기술개발사업	⑤ 과제성격(기초, 응용, 개발)	기초
③ 세부사업명(소)	해양극지기초원천기술개발사업		

⑥ 총괄과제명	국 문	해양 바이오로깅 요소기술 개발 및 기반 구축 연구
	영 문	Development of elementary technology for marine bio-logging

⑦ 주관연구기관명	한국해양과학기술원	⑧ 사업자 등록번호	134-82-01458
⑨ 세부과제기관명	한국해양과학기술원, 한국해양과학기술원 부설 극지연구소		

⑩ 주관연구책임자	성 명	백승재	국가연구자번호	10663991
	전 공	컴퓨터공학	직급(직위)	책임연구원(센터장)
	소속부서	해양ICT융합연구센터	전자우편	baeksj@kiost.ac.kr
	전 화	051-664-3040	휴대전화	010-8527-1383

⑪ 연구개발비 현황(단위: 천원)

년 도	정부 출연금 (A)	기업체부담금			정부외출연금 (B)	합계 G=(A+B+E)	상대국 부담금 (F)
		현금 (C)	현물 (D)	소계 E=(C+D)			
1차년도	250,000					250,000	
2차년도	436,000					436,000	
3차년도							
4차년도							
5차년도							
6차년도							
7차년도							
8차년도							
9차년도							
10차년도							
합계	686,000					686,000	

⑫ 총연구기간	2019. 10. 10 - 2021. 03. 31 (18개월)
⑬ 다년도연구기간	2019. 10. 10 - 2021. 03. 31 (18개월)
⑭ 당해연도연구기간	2020. 04. 01 - 2021. 03. 31 (12개월)

⑮ 참여기업 수	중소기업		중견기업		대기업		계	

⑯ 국제공동연구	국가명	상대국 연구기관수	상대국 연구개발비	상대국연구책임자수

⑰ 실무담당자	성 명	구성민	휴대전화	010-7420-8282	전자우편	smkoo@kiost.ac.kr

관련 법령 및 규정과 모든 지시 시항을 준수하면서 이 국가연구개발사업을 성실히 수행하고자 아래와 같이 연구개발계획서(연구개발제안서)를 제출합니다. 아울러 이 연구개발계획서(연구개발제안서)에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 선정 취소, 협약 해약 등의 불이익도 감수하겠습니다.

주관연구책임자 : 백 승 재 (직인생략)

주관연구기관장 : 김 웅 서 (직인생략)

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀하

〈 요 약 문 〉

양식A201

<table>
<tr><td>연구개발
목표
(500자 내외)</td><td colspan="4">ICT 융합 기반 해양 바이오로깅 요소기술(정보수집, 정보 송수신, 정보 분석)을 개발하고, 이종 해양동물 바이오로거 시범 적용 및 결과분석을 통해 해양 바이오로깅 연구 중장기 전략 수립</td></tr>
<tr><td>연구개발 내용
(1000자
내외)</td><td colspan="4">1. 해양 바이오로깅 요소기술 개발
○ (정보수집) 해양동물의 특징을 고려한 바이오로거 소형화・최적화 요소기술
– 바이오로거의 장기간 구동 및 성능 향상을 위한 최적화 기술 연구
– 해양동물에 효율적인 부착을 위한 바이오로거 소형화 기술 연구
○ (정보 송수신) 다중 데이터 실시간・동시전송 해양통신 요소기술
– 바이오로거 정보의 seamless 전송을 위한 다중 해양통신 프로토콜 연계기술 성능 검증
– 바이오로거-지상국 간의 전송 거리 확장 및 고용량 데이터 전송을 위한 분산 협력 안테나 기반 해양 cloud radio access network 설계 및 최적 네트워크 운용기술 연구
○ (정보 분석) 바이오로깅 정보의 빅데이터 처리 요소기술
– 장기간에 걸친 바이오로깅 관측 운용 방안 및 상세 설계안 도출
– 바이오로거 정보기반 다중 개체 간 상호관계 및 사회성 분석 가능성 검토
– 바이오로깅 획득 정보의 분야별 (생태계 보전, 환경오염, 기후변화 등) 활용 방안 도출

2. 해양 바이오로깅 시범 적용 연구
○ (시범 적용 #1) 어류 바이오로깅
– Wildlife computers 社의 mini-PAT과 동등 수준의 어류용 바이오로거 제작
– 대상 어종(방어)에 바이오로거 부착 후, 부착 위치와 방법에 따른 체내 생리학적 반응 연구 수행 및 데이터 수집 여부 테스트
○ (시범적용 #2): 해양조류 바이오로깅
- KoEco 社의 WT-300 활용 시험 적용
- 대상 조류(고방오리) 바이오로거 최적 부착 위치·방법 도출 및 데이터 수집 여부 테스트

3. 연구결과 반영 중장기 전략 도출 및 수립
– `해양 바이오로깅 요소기술 개발 사업`의 환경분석, 미래 사업전략 및 연구개발 타당성 검토 등을 통해 예비타당성 평가 대비 기획보고서 작성</td></tr>
<tr><td>활용계획 및
기대효과
(500자 내외)
(응용분야 및
활용범위 포함)</td><td colspan="4">○ 바이오로깅 기법을 활용하여 환경변화에 따른 유용 어류 자원의 이동, 서식처 및 산란장 등을 파악하여 유용 어류 자원의 보존, 관리 및 개발을 위한 기반 자료로 활용
○ 해양 환경변화 관측과 동물생태 변화를 감지할 수 있는 기술 확보
○ 바이오로깅 관련 선진 그룹인 미국, 프랑스, 일본 등과 대등한 연구 역량 확보</td></tr>
<tr><td rowspan="2">국문핵심어
(8개)</td><td>해양 바이오로깅</td><td>소형화・최적화</td><td>해양통신</td><td>빅데이터 분석</td></tr>
<tr><td>해양동물</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">영문핵심어
(8개)</td><td>Marine bio-logging</td><td>Miniaturization and optimization</td><td>Maritime communication</td><td>Bigdata analysis</td></tr>
<tr><td>coastal species</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

〈 연구 분야 〉

양식A103

코드구분	중심분야		관련분야1		관련분야2		관련분야3		관련분야4	
	코드	비중	코드	비중	코드	비중	코드	비중	코드	비중
국가과학기술표준분류	ND1001	40 %	EE0502	30 %	EE0201	30 %		%		%
국가과학기술표준분류(적용분야)	X07	100 %		%		%		%		%
과학기술분야분류	G13502	40 %	G30214	30 %	G30301	15 %	G30302	15 %		%
6T 기술분류	020315	40 %	010316	60 %		%		%		%
NTRM 분류	B040403	100 %		%		%		%		%
원천기술개발분야	0631	100 %		%		%		%		%

〈 보안 등급의 분류 및 결정사유 〉

양식A102

보안 등급 분류 (선택)	보안	일반
	N	Y
결정 사유	연구책임자 의견	연구기관 자체 검토결과
	보안과제 해당없음	보안과제 해당없음

< 목 차 >

1. 연구개발 목표 및 평가항목별 성과 ····· 8
2. 추진내용 및 연구개발 결과 ····· 19
3. 연구 개발 결과의 활용 방안 ····· 87
4. 당초 연구계획 대비 주요 변경사항 ····· 89

첨부1 연구개발 목표의 달성도 증빙 ····· 91
첨부2 자체평가의견서 ····· 101
첨부3 연구개발결과 활용계획서 ····· 104

1. 연구개발 목표 및 평가항목별 성과

1-1. 연구개발 목표

최종목표	ICT 융합 기반 해양 바이오로깅 요소기술(정보수집, 정보 송수신, 정보 분석)을 개발하고, 이종 해양동물 바이오로거 시범 적용 및 결과분석을 통해 해양 바이오로깅 연구 중장기 전략 수립
세부목표	1. ICT 기반 해양 바이오로깅 요소기술 개발 ○ (정보수집) 해양동물의 특징을 고려한 바이오로거 소형화・최적화 요소기술 – 바이오로거의 장기간 구동 및 성능 향상을 위한 최적화 기술 연구 ・바이오로거의 MCU, RAM을 위한 효율적인 DVFS (Dynamic Voltage Frequency Scaling) 기법 개발 및 검증 ・Flash memory, eMMC보다 저전력・고성능 memory인 NVRAM (Next Generation Non-Volatile RAM)을 이용한 바이오로거 효율성 및 신뢰성 향상 기법 연구 – 해양동물에 효율적인 부착을 위한 바이오로거 소형화 기술 연구 ・해수 배터리를 이용한 바이오로거의 수밀 공간 소형화 기술 개발 ○ (정보 송수신) 다중 데이터 실시간・동시전송 해양통신 요소기술 – 바이오로거 정보의 seamless 전송을 위한 다중 해양통신 프로토콜 (예: 위성통신, LTE, LoRa) 연계기술 성능 검증 ・위성통신, LTE, LoRa의 선택적 지원 가능한 통신 인터페이스 개발 ・바이오로거-지상국 간 거리, 바이오로거 전송 데이터 양 및 해양 무선 채널 등의 통신 환경변화에 동작하는 Deep reinforcement learning 기반 네트워크 스위칭 알고리즘 개발 및 검증 – 바이오로거-지상국 간의 전송 거리 확장 및 고용량 데이터 전송을 위한 분산 협력 안테나 기반 해양 cloud radio access network 설계 및 최적 네트워크 운용기술 연구 ・해양 무선 채널 최대 rank 확보를 위한 최적 분산 안테나 거리 도출 ・이종 바이오로거의 각기 다른 통신 QoS 보장을 위한 Medium access control (예: 분산 안테나 선택, 무선 자원 할당 등) 기술개발 ○ (정보 분석) 바이오로깅 정보의 빅데이터 처리 요소기술 – 어류 바이오로거 시작품 제작 및 비교 검증 – 장기간에 걸친 바이오로깅 관측 운용 방안 및 상세 설계안 도출 – 바이오로거 정보기반 다중 개체 간 상호관계 및 사회성 분석 가능성 검토 – 바이오로깅 획득 정보의 분야별 (생태계 보전, 환경오염, 기후변화 등) 활용 방안 도출 2. 시범 적용 ○ (시범 적용 #1) 어류 바이오로깅 – 대상 및 특징

대상어종	방어 (Seriola quinqueradiata)
특징	• 일본, 한국 동해안, 하와이를 포함한 북서태평양 지역에 분포 (www.fishbase.org) • 캄차카반도의 남부에서 대만해역까지 회유하는 어종 (www.nifs.go.kr) • 우리나라 봄과 여름에는 북쪽으로, 가을과 겨울에는 남쪽으로 이동하는 남북회유 습성 • 최대 전장 1.5 m (40kg), 수심 100 m 서식 (www.fishbase.org)
기존연구	• 해외 생태 연구 사례의 경우, 일본 주변 해역의 어황, 자원 변동 및 회유 경로 연구 (Mitani, 1951; Tanaka, 1972; Murayama, 1992), Wakasa만에 출현하는 방어 식성 연구 (Fumio, 1958), 동중국해 부유조에 출현하는 방어 치어의 연령 조성 (Sakakura and Tsukamoto, 1997), 일본 연안 부유조에 출현하는 방어자어와 치어의 식성 연구 (Anraku and Azeta, 1965) 보고 • 우리나라의 경우 통영 해역 뜬말에 출현하는 유어 특성 (Cho et al., 2002), 분포와 어장 형성 (Kim et al., 2002; Chang et al., 2010), 동절기 온난화와 어획 변동 (Lee and Go, 2006), 치어 및 유어의 식성 (Jeong et al., 2016), 동해 수온 변화에 따른 방어 어획량 영향 (Kim et al., 2017) 보고
선정사유	• 방어는 겨울철 우리나라 주변에서 어획되는 상업적으로 매우 중요한 회유성 어종(NFRDI, 1998)이지만, 기존의 연구는 유어의 출현, 식성 및 어획변동 특성 고찰에만 집중되어 있음 • 특히, 최근 온난화 등 기후변화로 인해 방어 자원의 어획량 변동 연구결과를 통해 **바이오로거를 이용한 자원의 이동 경로 및 서식처 특성 파악이 필수적으로 요구**되고 있음 • 또한 깊은 수심까지 서식하며 우리나라 동해안 지역의 남북을 회유하고 일본 지역까지 이동이 가능한 대형 종으로 본 과제를 통해 개발된 장비의 성능 테스트 target species로 적합 • 정확한 회유 경로 파악을 통한 대상 어종의 지리 정보화 및 서식처 특성 구명에 활용

– 획득 가능한 측정 항목

• Wildlife Computers 社의 mini-PAT와 동일한 측정 항목 수집

mini-PAT의 측정 항목	수심, 수온, 조도, 위치, Wet/Dry 등

– 바이오로깅 사이즈 및 적용 종 수 (mini-PAT 기준으로 작성)

• 크기: 124 x 38 (L x D, mm)

• 무게: 60g

• 적용 종수: 5개체 이상

– 바이오로깅 측정값과 타 분석결과의 비교 검증

• 현재 국내외에서 어류 바이오로깅 연구에 가장 활발히 사용되고 있는 Wildlife computers 社의 PSAT인 mini-PAT(60g)과의 성능 비교 수행

– 테스트 계획

• 1차 테스트

일시	2020년 8월경
장소	한국해양과학기술원 통영해상과학기지
목적	• 바이오로거 부착에 따른 방어 장기간 생리적 테스트 • 바이오로거 장비 실해역 동작 테스트 및 비교 검증

그림 1 한국해양과학기술원 통영해상과학기지

• 2차 테스트

일시	2020년 10월경
장소	한국해양과학기술원 통영해상과학기지
목적	• 바이오로거 장비를 방어에 부착하여 장기간 이동 경로 및 서식처 특징 수집

○ (시범 적용 #2) 해양조류 바이오로깅(중형 오리류)

– 대상 및 특징

대상어종	고방오리(*Anas acuta*)
특징	• 고방오리는 우리나라 연안에 도래하는 대표적 겨울 철새로서, 최근 5년간 조사된 갈매기류 중 36.6%를 차지하는 우점종(국립생물자원관 철새지리정보, 2019) • 북극권 러시아, 북미 대륙에서 번식하며, 겨울철 한국을 비롯한 중저위도 지역에서 겨울을 보냄 • 몸길이 약 50~70cm, 무게 1kg 미만의 중형 오리류 • 강 하구, 저수지 등지에서 서식하며 얕은 물에서 헤엄치며 초식성 먹이를 섭취한다고 알려져 있음
기존연구	• 1999년부터 2012년까지 조사된 겨울철 조류 동시 센서스에 따르면 총 18,352개체가 확인되었으며, 이는 수면성오리류 가운데 3번째로 많은 숫자임(Choi et al. 2012) • 지난 14년간 월동개체군 숫자는 급격히 감소하는 추세이며, 연간 9.3%가량 감소하는 추세(Choi et al. 2012) • 최근 한국환경생태연구소에서 겨울철 고방오리의 위치추적을 시도한 적이 있음
선정사유	• 겨울철 도래 개체군 숫자가 빠르게 감소하고 있으며, 번식지인 북극권 환경도 변화함에 따라 바이오로깅 기술을 통한 행동 관측이 필요함 • 조류 인플루엔자 바이러스로 인해 폐사한 기록이 있으며, 이동 경로를 따라 전염성 병원균이 퍼질 가능성이 있는 것으로 여겨짐

– 측정 항목
- 위치 좌표(위도, 경도): 조류의 이동 경로를 알기 위하여 위치값을 기록
- 고도: 비행시 높이에 대한 정보를 위하여 위치값과 함께 고도를 측정
- 온도: 바이오로거 외부 온도를 통해 조류 서식 환경에 대한 수치로 활용
- Wet/Dry: 수중에서 활동하는지 여부를 판단하기 위한 근거

– 바이오로깅 사이즈 및 적용 개체수
- 크기 : 50 x 30 x 20 (L x W x H, mm) 미만
- 무게 : 30 그람 미만
- 적용 개체수 : 10 개체

– 바이오로깅 측정값과 타 분석결과의 비교 방법
- 국립생물자원관에서 활용한 KoEco 社의 WT-300 활용 시험 적용
- 이동경로 지도를 비교하고, 실제 측정된 좌표의 빈도와 기간을 대조
- 본 연구 결과의 측정치와 WT-300 결과를 비교하여 측정 효율(Tracking efficiency, '실제 측정값 숫자/예정된 측정값 숫자') 및 측정 수준(Tracking quality, 측정치가 사용한 위성 숫자 기준)을 산출

– 테스트 계획

일시	2020년 11월-12월
장소	서해안 강 하구 및 저수지
목적	• 포획 및 바이오로깅 기기 장착 테스트 • 바이오로거 적용 및 정보 전송 확인

○ (**국제 협력조사**) 러시아 과학 아카데미(Russian Academy of Sciences)

– 겨울철 국내 도래 해양조류의 번식지 공동 현장조사

• 주요 번식지로 알려진 러시아 레나강 하구(2020년 7월-8월)

• 러시아 현장 담당연구자: Dr. Arkadiy Isaev(Head of Laboratory for Ecosystem Studies in Cold Regions)

– 해양조류 바이오로깅 및 데이터 확보

• 오리류, 기러기류, 갈매기류 가운데 부착 가능한 10개체

– 국내 연안에서 실시한 바이오로깅 결과와 비교 연구

• 겨울철 국내에서 부착한 조류의 이동 경로와 여름철 예상 번식지에서 얻어진 경로의 측정 효율 및 측정 수준을 비교

3. 연구 결과 반영 중장기 전략 도출 및 수립

– `해양 바이오로깅 요소기술 개발 사업`의 환경분석, 미래 사업전략 및 연구개발 타당성 검토 등을 통해 예비타당성 평가 대비 기획보고서 작성

• 기존 사업 성과분석

• 이슈분석

• 환경분석

• 산업, 정책 및 기술적 동향분석

• 역량 및 기술 수준 분석

– 신규과제 도출

• 기술수요조사

• 개발후보대상 과제 도출

• 기술개발 필요 과제 선정

– 과제 추진 계획 및 타당성 분석

• 과제 추진계획(연구내용, 예산, 투입인력, 성과지표, 로드맵, 국제협력방안, 데이터 송수신 방안)

• 정책적, 사회적, 경제적 타당성 분석

연차별목표	1차년도	○ 해양바이오로깅 요소기술 개발 – 바이오로거 장기간 구동 및 성능 향상을 위한 최적화 기술 연구 (DVFS, NVRAM) – 다중프로토콜 통신 인터페이스 시작품 제작 – 기간 설정 바이오로깅 관측 운용 방안 및 설계안 도출 ○ 어류 바이오로깅 시범 적용 – 해양 바이오로깅 전략, 방법 정립 ○ 해양동물 포획 및 바이오로거 부착 기술 개발
	2차년도 (최종)	○ 해양바이오로깅 요소기술 개발 – 해수배터리 기반 바이오로거 소형화 기술 개발 – 시작품 기반 스위칭 알고리즘 개발 – 해양 C-RAN 최적 운용 기술 개발 – 바이오로거 정보기반 다중 개체 간 상호관계 및 사회성 분석 가능성 검토 – 바이오로깅 획득 정보의 분야별 (생태계 보전, 환경오염, 기후변화 등) 활용 방안 도출 ○ 어류 바이오로깅 시범 적용 – 방어에 바이오로깅 적용 및 양식장, 실해역 테스트 수행 ○ 중장기 전략 수립 – 예비타당성 평가 대비 기획보고서 작성 ○ 바이오로깅 기술을 활용한 연안 대형 생물종 시험 적용 – 연안 생물종에 바이오로거 부착 – 데이터 관측 및 분석

1-2 평가주안점별 성과

평가주안점	가중치 (%)	관련 세부목표	연차	연차별 목표 (조건/환경)	실적요약	관련증빙
바이오로거의 장기간 구동 및 성능 향상을 위한 최적화 기술 연구	12.5	1	1차년도	DVFS 기법 적용 시 감소되는 전력량 평가 (정량)	MCU가 80MHz로 동작할 때 대비 40MHz일 때 10.45%, 20MHz일 때 16.3%의 전력 소비량이 감소함	1.국외 SCIE 논문
	12.5	1	1차년도	NVRAM 적용 시 향상되는 전력량 및 성능평가 (정량)	Fram(NVRAM)을 Flash memory 대신 사용할 경우, 79.41%의 전류 소모량을 줄일 수 있음	
다중프로토콜 통신 인터페이스 시작품 제작	10	1	1차년도	3종 해양통신 프로토콜 지원 가능 여부 평가 (정성)	LoRa, Wi-Fi, Zigbee 지원 범용 통신 인터페이스 시작품 개발 및 시험 운용	2.시작품
기간에 걸친 바이오로깅 관측 운용 방안 및 설계안 도출	5	3	1차년도	보고서 및 전문가 평가 (정성)	전문가 평가 수행	3.보고서
해양바이오로깅 전략, 방법 정립	10	2	1차년도	자료수집 및 계획안 평가 (정성)	Target species(방어) 적용 바이오로거 conditioning 및 현장 실험 방안 구축	4.보고서
해수배터리 이용시 줄어드는 수밀 공간 평가	21.25	1	2차년도 (최종)	해수배터리 이용 시 줄어드는 수밀 공간 평가 (정량)	리튬이온배터리와 소형 코인셀 해수배터리를 사용하는 하이브리드 배터리 바이오로거를 개발하여 수밀 공간 안에 들어가는 리튬이온배터리의 크기를 43.99% 감소	5.국내특허
시작품 기반 스위칭 알고리즘 개발	6.25	1	2차년도 (최종)	해양통신 성능 향상 확인 여부 평가 (정성)	해양 C-RAN 스위칭 알고리즘 개발을 통해 바이오로거 무선 통신 성능을 보장하는 선에 육상 분산 안테나 수를 최소화	6.국외 SCIE 논문
해양 C-RAN 최적 운용기술 개발						
바이오로거 정보기반 다중 개체 간 상호관계 및 사회성 분석 가능성 검토	6.25	3	2차년도 (최종)	보고서 및 전문가 평가 (정성)	고방오리를 대상으로 바이오로거 부착 및 추적하여 '개체 간 변이'가 크며, '나이' 및 '성별' 자료에 따라 그룹이 나뉘는 것을 확인하였고 개체 정보에 따라 그룹 간 비교를 통해 자료를 분석하는 것이 필수인 것을 확인함.	7.보고서
바이오로깅 획득 정보의 분야별 (생태계 보전, 환경오염, 기후변화 등) 활용 방안 도출					분야별 바이오로거 활용 가능 과제 리스트 10개 제시	

방어에 바이오로깅 적용 및 양식장, 실해역 테스트 수행	12.5	2	2차년도 (최종)	데이터로거 데이터 획득 및 생리 분석 결과 제시 (정성)	• 바이오로거 활용을 위한 conditioning 기술개발을 통해 silicon tube 방식이 체외 상처 최소화 및 tag 부착효율 최대 유지 • 바이오로거 부착 방어의 실해역 tracking 모니터링을 통해 최대 81일(설정 대비 90%), 통영 연안에서 강릉 외해까지 약 1177.8 km 이동하며 최대 수심 40m와 최저 10.8℃까지 서식분포 파악	8.국내학술지 논문 9.학회발표 논문지
예비타당성 평가 대비 기획보고서 작성	3.75	3	2차년도 (최종)	기획보고서 작성 유무 평가 (정성)	기획보고서 작성	10.기획보고서
바이오로깅 부착 가능 생물종 자료 수집 및 타당성 평가	10	1	2차년도 (최종) (1단계 1차년도)	바이오로깅 부착 가능 생물자료 수집 (정성)	자료 수집 바탕 리뷰 논문 작성	11.국내SCIE 논문
부착 방법에 따른 특성 평가 및 적합한 부착법 제안	40	1	2차년도 (최종) (1단계 2차년도)	부착 장비 및 재료 테스트 (정성)	GPS 장비 테스트 결과표	12. 부착 테스트 결과표
연안 생물종 부착 적용	25	2,3	2차년도 (최종) (1단계 2차년도)	안정화된 부착 기술 및 데이터 획득 (정성)	부착 적용 및 자료 원격 획득	13.국외SCIE 논문
행동 특성 및 서식환경 분석	25	2,3	2차년도 (최종) (1단계 2차년도)	관측자료 해석 및 지도 작성 (정성)	연안종 3종(재갈매기, 고방오리, 쇠기러기) 관측, 지도 작성	14.재갈매기 관측 지도 15.고방오리 관측 지도 16.쇠기러기 관측 지도
합계	100					

1-3. 선정/단계/연차점검의견

선정평가	1. 종합의견 ○ (우수한 점) • 연구개발 내용을 정보수집, 정보 전송, 정보 분석, 시범 적용 및 정책적 관점에서 효과적으로 분류하여 기술하였으며, 해양 바이오로깅 장비 국산화 등의 시류에 적합하며 선행연구와 해당 과제 연구목표를 적절하게 연결함. • 바이오로깅에 필수적인 센서의 소형화 • 최적화 요소기술 개발 및 다중 데이터 실시간 • 동시전송 해양통신 요소기술 개발 계획이 우수함. • 총괄연구책임자는 ICT 융합 기반 바이오로깅 요소기술에 관한 직간접적인 경험이 있는 것으로 사료 되며, 본 과제의 최종 목표를 달성하는데 유리할 것으로 보임. • 해양 바이오로깅 요소기술의 현장 적용 대상 생물로 방어와 고방오리를 선정함으로써 연안 회유성 어류의 서식 양태 및 바다생물의 이동 거동을 동시에 파악할 수 있도록 현장 적용시험을 구성함. • 바이오데이터로깅을 위한 소형화 • 최적화를 목표로 목적생물 • 전원(해수 전지) • 데이터저장 및 전송기술이 핵심일 것으로 사료 되어 본 연구과제를 수행하기 위한 바이오로깅 기반기술은 갖추고 있는 것으로 사료됨. • 어류 바이오로깅 선행연구 경험과 독자적인 해수 배터리 기술을 바탕으로 본 과제수행에 충분한 역량이 있는 것으로 판단되며, 본 과제를 수행하기에 충분한 인프라를 갖추고 있다고 사료됨. • 시범 적용 측면에서 어류 및 해양조류의 선정 사유 및 구체적인 테스트 계획이 잘 묘사되어 있음. ○ (미흡한 점) • 연구 기간과 예산을 고려할 때 어류와 조류 두 가지에 적용하기보다는 여러 어류에 적용하여 공통적이고 심도 있는 바이오로깅 데이터 획득 및 분석이 좋을 것으로 판단됨. • 바이오로거 소형화를 위한 구체적 방안이 필요함. 바이오로거 개발 계획이 부족하며, 기존의 바이오로거와의 비교 분석 등 보완이 필요하다고 사료됨. • 개발한 센서의 송수신 가능 범위 등 목표를 제시하고, 센서의 소형화에 대한 종류별 구체적인 사양이나 크기가 제시되어야 함. 현재는 배터리의 소형화에 대한 부분만 포함됨. • 해수배터리의 소형화는 본 과제 진행에 매우 중요한 요소 가운데 하나로 판단되나, 추가 소형화 가능성 및 소형화 추진 일정에 따라 실제 어류 바이오로깅 시험에 적용 여부가 명확하지 않음. • 현장 적용시험을 담당하는 세부 연구자는 미세조류 전문가이므로, 방어와 고방오리를 활용한 현장 적용시험을 위해서는 해당 분야 전문성 보완이 필요함. • 본 과제를 통해 얻은 바이오로깅 정보와 타 분석결과와의 정량적 비교 방안이 명확하지 않음. • 세부 요소기술에 대한 설명과 이들 간의 연계성 및 가중치 수립 등에 대한 구체적 목표설정이 필요한 것으로 사료됨.

	• 성과목표 제시가 미흡하며, 연구비 규모에 비해 도전적이지 않음. • 성과 창출 및 목표치에 대한 좀 더 구체적인 지표가 필요하다고 판단됨. 목표 달성을 평가할 수 있는 정량적 및 정성적 지표가 필요함. • 바이오로거의 수정과 수상에서 사용 가능한 차별적인 기술개발이 필요함. • 바이오로깅시 어류와 조류에 따른 무선통신 기법의 차별화가 필요함. • 정보 분석 측면에서 빅데이터 처리 요소기술에 대한 구체적인 연구목표 및 내용이 다소 부족해 보임. • 참여진의 구성에서 산학연 및 책임급과 연구원 비중의 적절한 안배가 필요함. • 인공지능 및 딥러닝 분야의 전문가 추가가 필요함. • 연구 장비 및 재료비에 대한 2억 4천만 원 가량의 예산에 대한 명확한 정당성이 부족함. 특히 1차년도 대비, 2차년도의 연구 장비 재료비가 2배가량 증가한 것이 연구계획에 비추어 명확하지 않음. 증가 사유가 단순 연구 기간의 증가에 따른 것으로 사료됨. 2. 수정 및 보완사항 ○ (조정/권고사항) • 본 과제를 통해 획득한 바이오로깅 데이터의 활용은 물론 관련 연구자나 기관과 공유가 요구됨. • 해외의 경험이 있는 기관이나 전문가와 교류 및 정보 교환을 통해 국제적인 기술개발과 광범위한 데이터를 통해 연구의 활용성과 신뢰성 확보가 요구됨. • 계절별 바이오로깅이 중요함으로 데이터수집 기간을 사계절인 1년으로 조정할 필요가 있음. • 해양 바이오로깅 적용 대상 생물로 방어와 고방오리를 선정하였는데, 어류 및 조류 분야(분류, 생태, 자원 등)의 전문가 보완이 필요할 것으로 보임. • 시범 적용 대상 생물별로 획득하고자 하는 구체적인 데이터의 종류, 필요성 및 활용에 관한 내용이 보완되어야 할 것으로 보임. • 현장 시범 적용에서 얻어진 바이오로깅 측정값 및 분석결과의 구체적인 비교 검증에 대한 보완이 필요할 것으로 보임. • 세부 요소기술에 대한 설명과 이들 간의 연계성 및 가중치 수립 등에 대한 구체적인 목표설정이 필요한 것으로 사료됨. • 바이오로거의 국산화를 위해 다양한 특허 기술의 접목을 시도하는 데에 있어서 혁신적이라 할 수 있지만, 새로 개발한 바이오로거의 검증을 위한 정확성과 신뢰성 검증에 관한 내용 추가가 필요함. • 기업체 참여로 기술이전 및 상용화에 대한 부분이 추가되면 더욱 바람직할 것임. • 수중 자료 전송, 통신방법에 대한 내용을 기획연구 부분에 추가할 것을 권고함. • 과제성과 목표 및 평가 지표에 대한 구체화가 필요하며, 각 요소기술에 대한 구체적인 개발 사항 및 방법에 대한 보완과 향후 기술개발 계획의 구체화가 필요하다고 판단됨. • 국제협력에 대한 보완이 필요하다고 사료됨. • ICT 기술을 통한 바이오로거의 최적화 및 소형화 그리고 세계 최초의 해수 배터리를 기반으로 한 바이오로거의 개발이라는 연구의 목표에 비해 성과목표가 낮아

	보이므로 좀 더 상향 조정할 것을 권고함. • 정보 분석 측면에서 빅데이터 처리 요소기술에 대한 구체적인 연구목표 및 내용 보완이 필요함. 3. 연구비 조정사항 ○ (연구비 조정의견) • 국제협력이 요구되는 과제로 예산 편성에 해외 자문과 교류 등이 포함되어야 함. • 기존의 바이오로깅과 차별화된 새로운 제품개발 없이 단순 현장 적용시험의 수준이라면 연구비는 감액되어도 무방할 것으로 보임. • 연구 장비 및 재료비에 대한 1차년도와 2차년도 배분에 대한 검토가 필요함.

2. 추진내용 및 연구개발결과

2-1. 추진내용 및 연구개발결과

그림 2 세부 연구 내용의 연계성

1. 1차년도

○ **바이오로거의 장기간 구동 및 성능 향상을 위한 최적화 기술 연구**

– 바이오로거는 어류 및 동물에 부착하여 한정된 배터리 용량으로 장기간 동작해야 하므로 소형화 및 저전력 기술이 필수적임.

– 바이오로거는 수집된 센서값을 저장하는 작업이 주를 이루기 때문에 최소한의 computing power만으로도 기능 수행이 가능함. 따라서 DVFS (Dinaic Voltage and Frequency Scaling) 기술을 적용하여 많은 computing power가 필요하지 않을 때, MCU와 RAM의 동작 주파수를 낮춰 소비 전력을 감소시킬 수 있음.

– 최근 대부분의 전자 제품, 특히 저전력 특성이 요구되는 소형기기에서는 주로 Flash memory를 저장매체로 사용함. NVRAM은 바이트 단위 접근이 가능하며, 데이터의 영구적 저장이 가능한 비휘발성 저장매체임. NVRAM은 Flash memory 대비 저전력 고성능 특성을 보임. 따라서, 기존 시스템의 Flash memory를 NVRAM으로 대체함으로써 전력 소모를 줄이고 성능이 향상될 가능성이 존재함.

– DVFS와 Flash memory vs. Fram 비교실험에 사용한 Evaluation board는 그림2와 같음.

그림 3 NUCELEO-L476RG(좌), MSP-EXP430F5529LP(중), MSO-EXP430FR2433(우)

(1) DVFS 기법 적용 시 감소 되는 전력량 평가

• STMicroelectronics 社의 저전력 MCU Arm Cortex-M4(80MHz, 1MB flash 128KB SRAM)를 탑재한 eVALUATION bOARD nuceleo-l476rg에 DVFS를 적용하여 소모 전류를 측정함.

• 그림 3과 같이 Power generator로 5V DC 전류를 흘려주어 전원을 인가하고 MCU 클럭을 80MHz, 40MHz, 20MHz로 조절해가며 소모되는 전력을 멀티미터로 측정하였음.

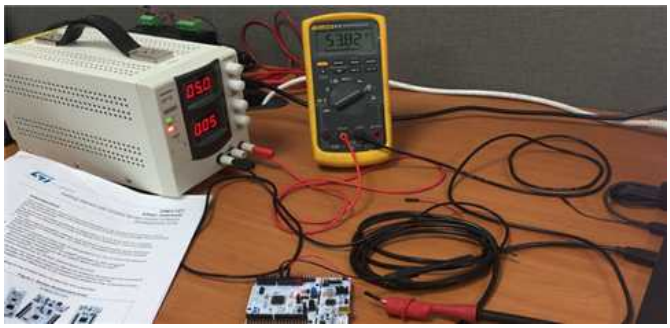


그림 4 DVFS 전력 측정 실험

• 결과 값의 편차를 줄이기 위해 총 3번의 전류측정을 시행하였고, 결과는 아래 표와 같음.

표 1 DVFS 실험결과

Experiments	Clock	LED off (mA)	LED on (mA)	Average (mA)
1	80MHz	54.1	65.5	59.8
	40MHz	47.9	59.3	53.6
	20MHz	44.2	55.6	49.9
2	80MHz	53.8	65.3	59.55
	40MHz	47.9	59.3	53.6
	20MHz	44.5	55.9	50.2
3	80MHz	54.9	65.3	60.1
	40MHz	47.8	59.2	53.5
	20MHz	44.4	55.8	50.1

• 보드의 디버거 부분의 LED가 보드 동작 시 점멸하여 높은 수치와 낮은 수치 2개의 전류가 측정되었음.

• 총 3번의 실험결과, MCU가 80MHz Clock으로 동작할 경우, 59.8 mA, 59.55 mA, 60.1 mA의 전류가 측정되어 평균 59.82 mA, MCU가 40MHz Clock으로 동작할 경우, 53.6 mA, 53.6 mA, 63.5 mA의 전류가 측정되어 평균 53.57 mA, MCU가 20MHz Clock으로 동작할 경우, 49.9 mA, 50.2 mA, 50.1 mA의 전류가 측정되어 평균 50.07 mA의 전류를 소모함.

• MCU가 80MHz로 동작할 때 대비 40MHz일 때 10.45%, 20MHz일 때 16.3%의 전력 소비량이 감소함. 이는 DVFS를 적용하여 바이오로거의 가용시간 증대가 가능함을 의미함.

DVFS 적용 바이오로거 전력 소비량 최대 16.3% 감소

(2) NVRAM 적용 시 향상되는 전력량 및 성능평가

• Flash memory와 Fram(NVRAM)의 소모 전력을 비교하기 위하여 Texas Instruments 社의 Flash 기반 Evaluation Board MSP-EXP430F5529LP와 NVRAM 기반 Evaluation Board MSP-EXP430FR2433의 비

교실험을 진행함(그림 4).

• Flash memory와 Fram에서 소모되는 전류량만을 측정하기 위하여 I/O 수행 시 소모되는 전력과 idle 상태 시 소모되는 전류량을 측정하여 차이를 계산함.

그림 5 MSP-EXP430F5529LP(좌), MSP-EXP430FR2433(우) 전류 측정 실험

• 결과 값의 편차를 줄이기 위해 총 3번의 전류 측정을 시행하였고, 결과는 아래 표와 같음.

표 2 Fram과 Flash memory 실험결과

		I/O (mA)	Idle (mA)	I/O-Idle (mA)
1	MSP-EXP430F5529LP(mA)	17.13	16.46	0.67
	IdleMSP-EXP430FR2433(mA)	17.82	17.55	0.27
2	MSP-EXP430F5529LP(mA)	17.35	16.67	0.68
	IdleMSP-EXP430FR2433(mA)	17.71	17.65	0.06
3	MSP-EXP430F5529LP(mA)	17.21	16.51	0.7
	IdleMSP-EXP430FR2433(mA)	17.72	17.64	0.08

• 총 3번의 실험 결과, Flash memory는 소모 전류량이 0.67 mA, 0.68 mA, 0.7 mA로 측정되어 평균 0.68 mA의 전류가 소모되며, Fram은 소모 전류량이 0.27 mA, 0.06 mA, 0.08 mA로 측정되어 평균 0.14 mA의 전류가 소모됨.

• Fram을 Flash memory 대신 사용한 경우, 79.41%의 전류 소모량을 줄일 수 있으므로, 해당 기술을 통해 바이오로거의 가용시간 증대가 가능함.

NVRAM 적용 바이오로거 전류 소모량 79.41% 감소

○ **해양 바이오로깅용 센서 인터페이스 시작품 제작**

– 해양동물의 바이오로깅을 위한 온도, 조도, 압력 및 기울기 등의 다양한 센서 정보를 수집하기 위해 Texas Instruments 社의 NVRAM 기반 Evaluation Board MSP-EXP430FR2433을 활용한 센서 인터페이스 시작품을 제작함.

– I^2C (Inter-Intergrated Circuit) 통신은 두 개의 선으로 1:1 통신과 M:N 통신이 가능하여 구성이 쉽고 제품의 사이즈를 줄일 수 있는 이점으로 인해 선정함.

– 아날로그 센서 입력은 Evaluation Board에 센서를 직접 연결하지 않고 차동 OP-amp를 사용하여 센서 출력 범위와 Evaluation Board 입력 범위에 맞도록 구성하기 위해 차동 OP-amp를 선정함.

– I^2C 통신은 조도, 온도, 기울기 센서로 연결하였으며, 아날로그 센서는 압력 센서로 구성하여 센서

인터페이스 보드를 구성함.

– 시작품 제작에 사용된 센서는 Sensirion 社의 SHT-20 온도 센서, InvenSense 社의 MPU-6050 기울기 센서, BH1750FVI 디지털 조도 센서, 33A-100G-2210 압력 센서로 구성됨.

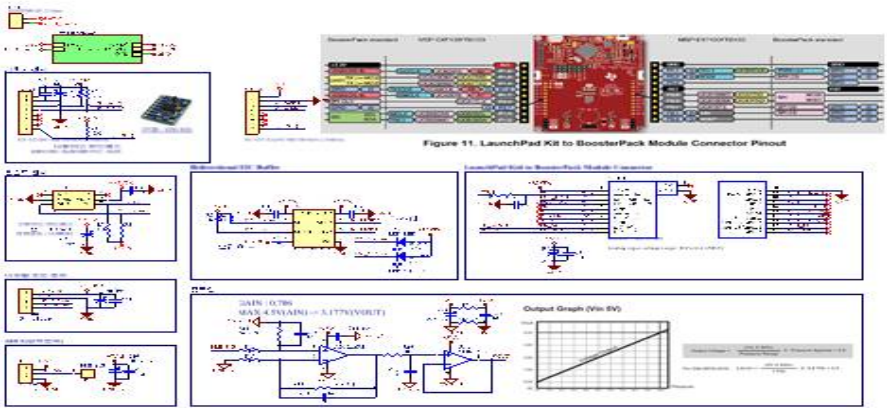


그림 6 센서 인터페이스 센서 연결부

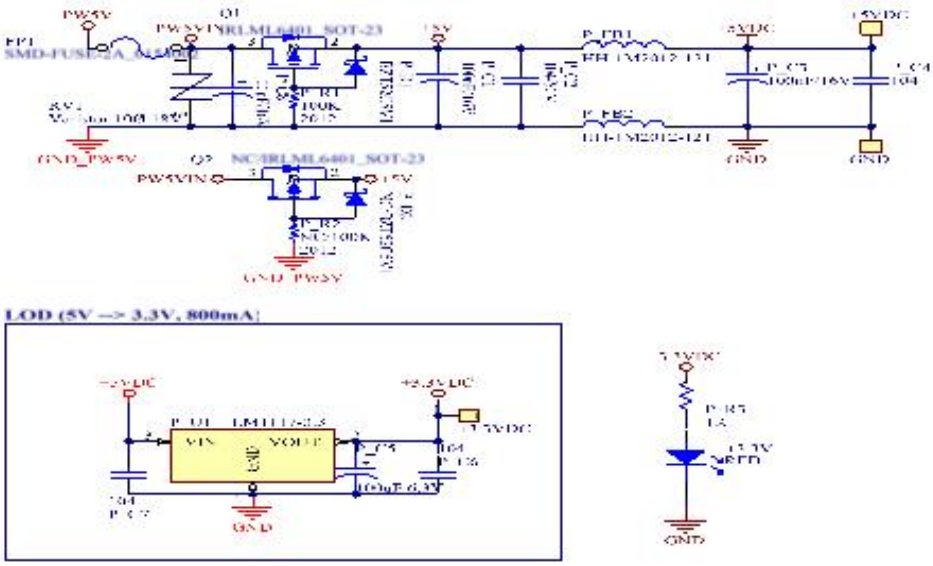


그림 7 센서 인터페이스 센서 전원부

해양 바이오로깅용 센서 인터페이스 시작품 제작 완료

○ **해양 바이오로깅용 센서 인터페이스 시작품 제작 및 기능 평가**

– Texas Instruments 社의 Flash 기반 Evaluation Board(MSP-EXP430FR2433)에 전원 공급 및 각종 센서를 인터페이싱 하기 위해 보드를 구성함.

– 센서 인터페이싱 방식은 I^2C 통신과 ANALOG INPUT으로 선정함.

– 센서의 출력 방식으로 디지털과 아날로그 방식이 있으며, 디지털 방식은 I^2C 통신, 아날로그 방식은 OPAMP를 사용하여 구성함.

– 센서 인터페이스 시작품의 온도, 압력, 조도 및 기울기 센서의 정보는 RS232 TTL 통신을 이용하여

기능의 정상 동작 유무를 확인하였음.

그림 8 바이오로거 테스트 모듈 조립

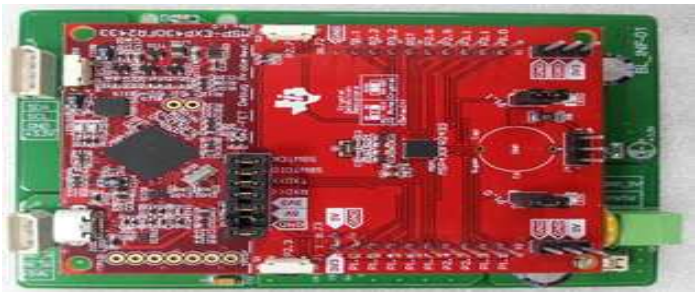


그림 9 MSP-EXP430FR2433을 센서 인터페이스에 장착

– 해양 바이오로깅용 센서 인터페이스 시작품의 RS232 TTL 통신을 이용하여 온도, 조도, 압력 및 기울기 센서의 정보를 전송받아 이틀 동안 확인함.

그림 10 센서 인터페이스 시작품 기능 측정

온도	압력	조도	X축	Y축	Z축
Temp.: 25.46,	PSI: 0.55,	Lux: 555,	X: 0.25,	Y: 0.86,	Z: 214.02
Temp.: 25.73,	PSI: 0.56,	Lux: 580,	X: 0.43,	Y: -0.29,	Z: 213.47
Temp.: 24.53,	PSI: 0.55,	Lux: 583,	X: -0.15,	Y: 1.19,	Z: 214.32
Temp.: 25.93,	PSI: 0.57,	Lux: 586,	X: -0.15,	Y: 0.36,	Z: 213.97
Temp.: 24.44,	PSI: 0.58,	Lux: 507,	X: 0.78,	Y: -0.30,	Z: 213.33
Temp.: 25.62,	PSI: 0.57,	Lux: 511,	X: 0.61,	Y: 1.40,	Z: 214.10
Temp.: 24.33,	PSI: 0.55,	Lux: 544,	X: -0.17,	Y: 0.98,	Z: 214.25
Temp.: 25.32,	PSI: 0.58,	Lux: 513,	X: 0.55,	Y: 0.19,	Z: 214.06
Temp.: 25.44,	PSI: 0.57,	Lux: 548,	X: 0.65,	Y: -0.19,	Z: 213.69
Temp.: 24.73,	PSI: 0.58,	Lux: 509,	X: 0.21,	Y: 0.72,	Z: 213.54
Temp.: 24.64,	PSI: 0.56,	Lux: 548,	X: 0.03,	Y: 1.15,	Z: 213.95
Temp.: 24.94,	PSI: 0.55,	Lux: 577,	X: 0.55,	Y: 0.22,	Z: 213.48
Temp.: 25.66,	PSI: 0.59,	Lux: 505,	X: 0.39,	Y: 0.39,	Z: 214.63
Temp.: 24.52,	PSI: 0.59,	Lux: 514,	X: 0.48,	Y: -0.23,	Z: 214.38
Temp.: 25.21,	PSI: 0.58,	Lux: 577,	X: 1.36,	Y: 0.29,	Z: 213.49
Temp.: 25.33,	PSI: 0.56,	Lux: 521,	X: 0.71,	Y: 0.42,	Z: 213.85
Temp.: 25.54,	PSI: 0.58,	Lux: 575,	X: 0.20,	Y: -0.34,	Z: 213.85

그림 11 센서 정보수집 결과

해양 바이오로깅용 센서 인터페이스 시작품 정상 동작 유무 확인

○ **다중프로토콜 통신 인터페이스 시작품 제작**

– 바이오로깅 관련 정보를 원격에 있는 서버(운용자)에게 무선 전송하기 위한 IoT 플랫폼 호환 다중프로토콜 통신 인터페이스 설계와 개발연구를 수행함. 바이오로깅 데이터 수집 센서 출력(예: 아날로그, 디지털)의 다양한 데이터 포맷 및 데이터 용량에 상관없이 모두 지원 가능한 범용적 통합 인터페이스로 설계함. Universal software를 활용하여 차후 확장 및 수정・보완을 용이하도록 함.

– IoT 플랫폼과 호환 가능하여 체계적인 데이터 수집이 가능하도록 설계함.

– 다중프로토콜 통신 인터페이스 시작품을 위한 회로도, PCB 형상, PCB 조립 사진은 아래와 같음.

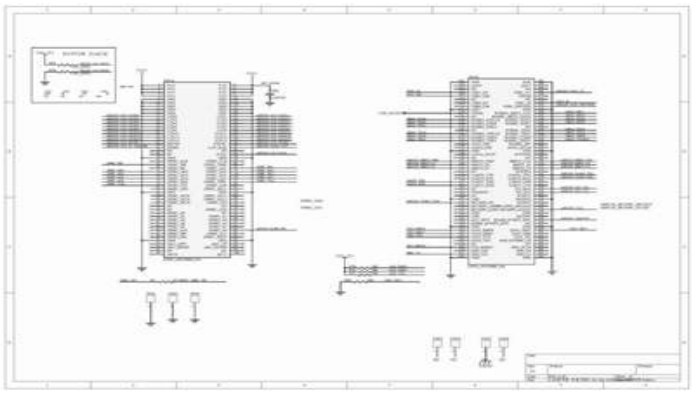


그림 12 다중프로토콜 통신 인터페이스 회로도

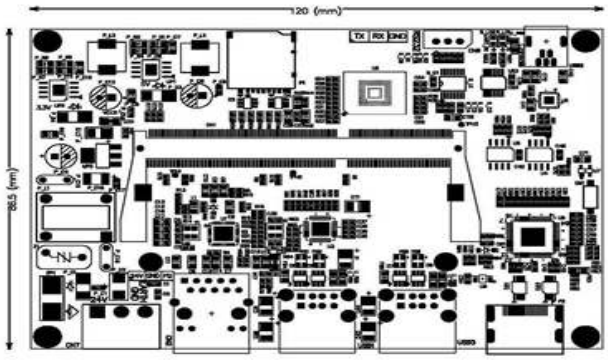


그림 13 다중프로토콜 통신 인터페이스 PCB

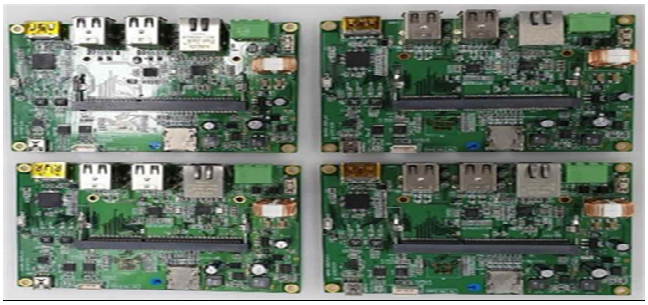


그림 14 다중프로토콜 통신 인터페이스 PCB 조립

다중프로토콜 통신 인터페이스 시작품 제작 완료

○ **다중프로토콜 통신 인터페이스 시작품 테스트**

– IoT 플랫폼과 연동되어 다중프로토콜 통신 인터페이스로부터 전송된 데이터가 원격 데이터 서버에 무선 전송 여부 테스트

– 인터페이스 단말장치

• nCube Thyme가 탑재되어 Serial 또는 USB 등을 통해 수집되는 센서 정보를 Gateway로 전송.

그림 15 nCube:Thyme(Zigbee)로부터 Yaw, Pitch, Roll 정보 수신 화면

(1) 인터페이스 단말장치: IMU

• 인터페이스 단말장치 내부에 9축 IMU 센서 부착.

• IMU로부터 수신되는 자세 정보를 수신하여 Zigbee 모듈을 통해 게이트웨이로 전송.

(2) 인터페이스 단말장치: PGS

• 인터페이스 단말장치 외부에 GPS 부착.

• GPS로부터 수신되는 위치정보를 수신하여 LTE 모델을 통해 게이트웨이로 전송.

(3) 인터페이스 단말장치: 대기 센서

• 인터페이스 단말장치 외부에 대기 질 측정 센서를 부착.

• 대기 질 측정 센서에서 수신되는 공기질 정보를 수신/분석하여 WiFi 모듈을 통해 게이트웨이로 전송.

– 테스트 결과

• 3종 센서의 정보가 각기 다른 무선통신 프로토콜(Zigbee, LTE, WiFi)를 통해 성공적으로 수신됨을 확인함.

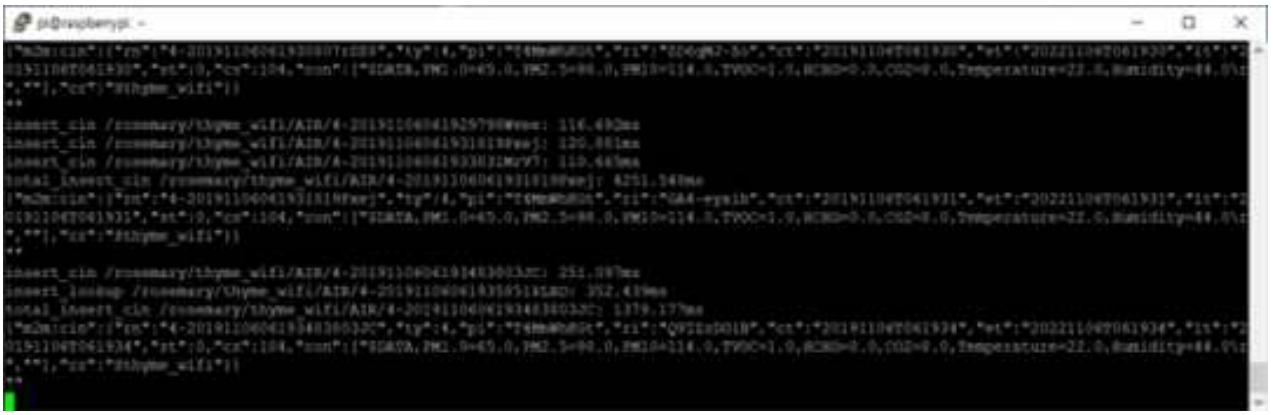


그림 16 nCube:Thyme(WiFi)로부터 대기 상태 정보 수신 화면

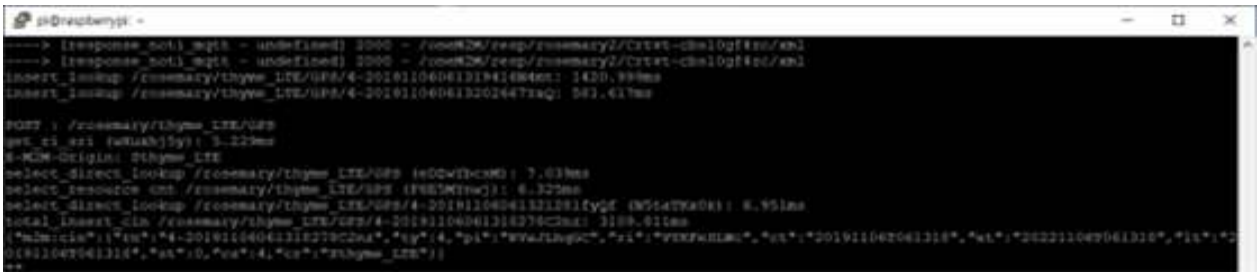


그림 17 nCube:Thyme(LTE)로부터 GPS 정보 수신 화면

다중프로토콜 통신 인터페이스 시작품 수신 테스트 완료

○ **방어 바이오로거 부착**

– 방어 해상 가두리 순치

• 바이오로거 부착에 따른 방어의 생리학적 연구를 위해 방어 20마리(10kg 내외)를 한국해양과학기술원 통영 해상과학기지 내 가두리에 순치함.

• 방어는 가두리 내 적응을 위해 약 1달간 순치시켰으며, 순치 기간 동안 해상 가두리 해역의 환경 정보는 표3과 같음.

표 3 방어 순치 시 해역의 환경정보

일시	수온 (℃)	염분 (psu)	용존산소량 (mg/L)	투명도
순치 기간	12.3±0.2	33.0±0.4	8.6±0.5	3.8±1.1

– 바이오로거 dummy 부착

• 바이오로거는 해수에 반응하여 작동하기 때문에 생리 실험에 사용하기에는 가격이 높음. 따라서 생리학적 반응 연구 시 사용한 바이오로거는 실제 바이오로거의 모양과 크기가 유사한 dummy mrPAT(Wild life computers, USA)를 제작하여 사용하였으며, dummy의 무게는 40g임.

• 방어에 바이오로거를 부착하기 위해서 dummy에 tether를 부착함. Tether는 mono filament와 stainless steel wire를 사용하였고, dart는 domeier medium dart를 사용함.

• 본 연구에서 개발되는 바이오로거의 무게는 60g으로 40g의 dummy 두 개(80g)를 방어에 부착하여 개발되는 바이오로거 보다 무게의 영향을 가중 시켜 생리학적 반응 연구를 진행하였음.

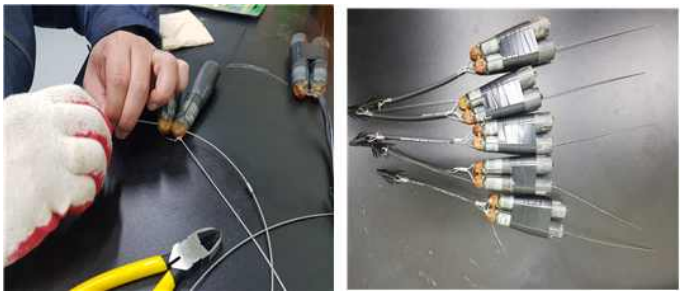


그림 18 Dummy mrPAT에 Tether 부착

• 바이오로거는 통영 해상과학기지 내 가두리에 순치 중인 방어 5마리에 부착함. Dummy 부착은 마취 없이 wilton applicator pin(Wildlife couputers)을 이용하여 부착하였고, 부착 후 가두리에 다시 순치함.

그림 19 방어에 dummy mrPAT 부착

방어 바이오로거 dummy 부착

○ **바이오로거 체내 생리학적 반응 테스트**

– 혈액 샘플 및 분석

• 바이오로거 부착에 따른 체내 생리학적 반응 조사를 위해 dummy 부착 후, 혈액학적 성상을 조사함. 채혈은 방어를 2-phenoxy-ethanol(Sigma-Aldrich, USA)로 마취 후, 헤파린이 처리된 주사기를 이용하여 미부혈관에서 실시하였으며, 대조구(dummy 미부착)와 실험구(dummy 부착) 각각 3마리씩 채혈 후, 다시 가두리에 순치시킴.

• 전혈을 이용하여 hematocrit, hemoglobin을 측정하였고, 이후 원심분리(12000rpm, 5분, 4℃)하여 혈장을 추출하고, 분리된 혈장을 이용하여 glutamic oxaloacetic transaminase(GOT), glutamic pyruvic transaminase(GPT), glucose(GLU), total protein, total cholesterol을 혈액 분석기(DRI-CHEM 4000i, FUJIFILM, Japan)을 사용하여 측정함. 실험에 사용된 방어의 크기는 전장 94.0±5.6cm, 무게 10.2±1.4kg 임.

그림 20 방어 마취 및 혈액 샘플링

• 혈액 성상 분석결과는 다음과 같음.

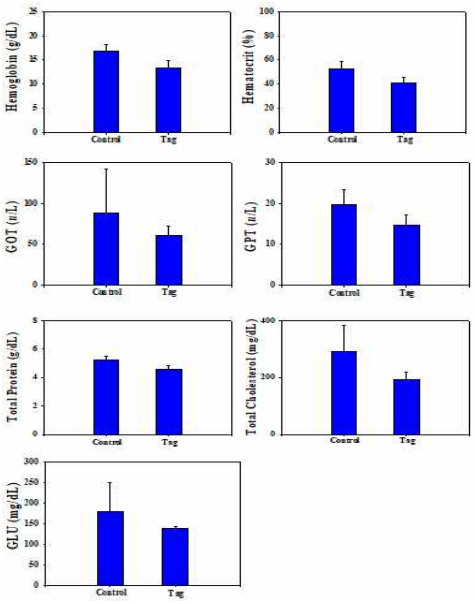


그림 21 혈액 성상 분석결과

• 분석된 혈액 성상 모두 스트레스 및 면역반응에 관여하는 대표적인 혈액 지표들로 체내 이상 시, 상승하는 경향을 나타냄. 7가지 혈액 성상 분석결과, dummy 부착에 따른 유의한 차이를 나타내지 않음. 향후 cortisol을 포함하여 약 2달간 2주 간격으로 추가적인 분석 진행 예정임.

방어 바이오로거 dummy 부착에 따른 체내 생리학적 반응 이상 무

○ **장기간에 걸친 바이오로깅 관측 운용방안 및 설계안 도출**

– 운영방안 정립을 위한 환경분석 실시

• 환경분석 범위설정, 이슈 분석 및 실무자 기획 회의를 수행함.

– 전문가 자문회의 수행

• `20.01.30(대전역 회의실)에서 실시된 전문가 자문회의에는 연구책임자 백승재, 세부과제 책임자 이원영 외 총 12인 참석함

• 기획 대상 및 범위에 대한 토의가 실시되었으며 업무 분장 및 설문 조사를 위한 PoC 업데이트가 이루어짐.

그림 22 전문가 자문회의 수행 (`20.01.30)

회의참석자 서명부

구분	성명	소속기관명(부서/직책·급)	서명	비고
1	신희철	[illegible]	[illegible]	
2	오승용	[illegible]	[illegible]	
3	백승재	KIOST	[illegible]	
4	심원준	KIOST	[illegible]	
5	홍상희	KIOST	[illegible]	
6	이원영	국미연구소	이원영	
7	하호경	인하대학교	[illegible]	
8	이후승	KEI	이후승	
9	신현옥	부경대학교	신현옥	
10	김태원	인하대	[illegible]	
11	황두진	전남대학교	황두진	
12	김수미	KIOST	[illegible]	

그림 23 회의 참석자 서명부 (`20.01.30)

장기간에 걸친 바이오로깅 관측 운용방안 및 설계안을 도출하기 위하여 전문가 자문회의를 수행함

○ **중장기 전략 도출 계획수립**

– 전문가 자문회의를 통해 예타 수준의 기획보고서 일정 확정

• 기획 프로세스에 맞춰 향후 기술 동향, 전망/수준/역량 분석, 연구과제 도출, 타당성 검토 및 기획보고서 작성을 진행할 예정임. 각 단계에서 관련 전문가의 의견을 수렴하고, 설문 조사를 통해 유관 기관 의견 반영.

36			**기획(중장기 전략 도출 및 수립)**	**181 일**	**19-11-15 (금)**	**20-07-24 (금)**
37			착수 회의	1 일	19-11-15 (금)	19-11-15 (금)
38			**환경 분석**	**98 일**	**19-11-15 (금)**	**20-03-31 (화)**
39			기획 범위 설정	14 일	20-01-28 (화)	20-02-14 (금)
40			전문가 자문회의	1 일	20-01-30 (목)	20-01-30 (목)
41			이슈 분석	6 일	20-02-17 (월)	20-02-24 (월)
42			기획 회의(실무자)	6 일	20-02-25 (화)	20-03-03 (화)
43			주요 수요처 인터뷰	6 일	20-03-04 (수)	20-03-11 (수)
44			**기술 동향 및 전망 분석**	**7 일**	**20-03-12 (목)**	**20-03-20 (금)**
45			FAST 분석	7 일	20-03-12 (목)	20-03-20 (금)
46			Tech tree 작성	7 일	20-03-12 (목)	20-03-20 (금)
47			후보 기술군 도출	7 일	20-03-12 (목)	20-03-20 (금)
48			Keyword 도출	7 일	20-03-12 (목)	20-03-20 (금)
49			특허 동향 분석	7 일	20-03-12 (목)	20-03-20 (금)
50			논문 동향 분석	7 일	20-03-12 (목)	20-03-20 (금)
51			시장 동향 및 전망 분석	91 일	19-11-15 (금)	20-03-20 (금)
52			정책 및 법 제도 분석	91 일	19-11-15 (금)	20-03-20 (금)
53			**기술 수준 분석 및 역량 분석**	**6 일**	**20-03-23 (월)**	**20-03-30 (월)**
54			R3I 설문 조사	6 일	20-03-23 (월)	20-03-30 (월)
55			기술군별 기술 수준 설문 조사	6 일	20-03-23 (월)	20-03-30 (월)
56			개발 우선 순위 설정을 위한 설문 조사	6 일	20-03-23 (월)	20-03-30 (월)
57			전략 수립 (SWOT분석)	6 일	20-03-23 (월)	20-03-30 (월)
58			**연구 과제 도출**	**31 일**	**20-03-31 (화)**	**20-05-12 (화)**
59			연구 비전 및 목표 설정	4 일	20-03-31 (화)	20-04-03 (금)
60			중점 추진 과제 후보 수요 조사	5 일	20-04-06 (월)	20-04-10 (금)
61			우선순위 도출 기반 자료 작성	5 일	20-04-13 (월)	20-04-17 (금)
62			추진과제 선호도 조사	5 일	20-04-23 (목)	20-04-29 (수)
63			연구개발 추진과제 선정	5 일	20-04-30 (목)	20-05-06 (수)
64			과제 추진체계 및 전략 수립	1 일	20-05-07 (목)	20-05-07 (목)
65			인력 및 예산 계획 수립	1 일	20-05-08 (금)	20-05-08 (금)
66			정량/정성 평가 지표 설정 및 평가 방안 도출	1 일	20-05-11 (월)	20-05-11 (월)
67			**타당성 검토**	**24 일**	**20-05-11 (월)**	**20-06-11 (목)**
68			**기술적 타당성 평가**	**5 일**	**20-05-11 (월)**	**20-05-15 (금)**
69			기술개발계획의 적절성 평가	5 일	20-05-11 (월)	20-05-15 (금)
70			성공가능성 평가	5 일	20-05-11 (월)	20-05-15 (금)
71			기존사업과 중복성 평가	5 일	20-05-11 (월)	20-05-15 (금)
72			**정책적 타당성 평가**	**5 일**	**20-05-11 (월)**	**20-05-15 (금)**
73			국가전략과 연계성 평가	5 일	20-05-11 (월)	20-05-15 (금)
74			상위계획과의 부합성 평가	5 일	20-05-11 (월)	20-05-15 (금)
75			정책적 추진의지 평가	5 일	20-05-11 (월)	20-05-15 (금)
76			**경제적 타당성 평가**	**24 일**	**20-05-11 (월)**	**20-06-11 (목)**
77			경제성 평가(외부위원)	24 일	20-05-11 (월)	20-06-11 (목)
78			파급효과 분석	24 일	20-05-11 (월)	20-06-11 (목)
79			기대효과 분석	24 일	20-05-11 (월)	20-06-11 (목)
80			**RFP/기획보고서 작성**	**32 일**	**20-06-11 (목)**	**20-07-24 (금)**
81			RFP작성	7 일	20-06-11 (목)	20-06-19 (금)
82			예산요구서 작성	7 일	20-06-11 (목)	20-06-19 (금)
83			기획보고서 작성	8 일	20-06-25 (목)	20-07-06 (월)
84			기획보고서 수정 보완	13 일	20-07-07 (화)	20-07-23 (목)
85			기획 보고서 완료	1 일	20-07-24 (금)	20-07-24 (금)

그림 24 기획 추진 일정

전문가 자문회의를 통해 기획보고서 작성 일정을 확정함

○ **해양 동물 포획 및 바이오로거 부착 기술개발**

(1) 해양 바이오로깅 적용을 위한 전략 수립

• 연구개발 수행에 앞서 1960년도부터 2019년도까지의 출판 논문을 바탕으로 Web of science 저널 색인 키워드 검색 결과, 바이오로거의 종류, 바이오로깅 연구 활용 분야, 바이오로깅 연구 적용 종 및 연구 지역을 문헌 조사를 통하여 다음과 같이 정리함(Chung et al. 2021, Ocean Science Journal).

– 바이오로깅의 용어 관련 문헌 정리

• 바이오로깅은 Bio-logging뿐만 아니라 Animal telemetry 혹은 Bio-telemetry 등으로도 정의됨.

• Boyd et al.(2004, Memoirs of National Institute of Polar Research. Special issue)은 인간의 가시 범위를 넘어 자유롭게 이동하는 유기체 및 주변을 연구하는 것을 바이오로깅으로 정의함.

• Rutz and Hays(2009, Biology Letters)는 이동하는 동물에 소형화된 기기를 부착하여 행동생태 및 생리 연구를 바이오로깅으로 정의함.

– 바이오로깅 연구의 발전 과정 문헌 정리

• 현대 방식의 바이오로깅 연구는 1965년도 쿠이먼에 의해 웨델 물범에 다이빙 기록계를 부착하는 방식으로 진행된 연구가 발표된 것을 바탕으로 이 시기에 최초로 이루어진 것으로 볼 수 있으며 (Kooyman 1965, Polar Record), 1971년에는 황제 펭귄(Kooyman et al. 1971, Respiration physiology), 1976년에는 물개에 기기 부착을 통한 연구가 발표됨(Kooyman et al. 1976, Science).

• 또한, 심박 수와 유영 속도를 측정할 수 있는 기록계를 수심계와 함께 황제 펭귄에 부착하여 다이빙 활동을 연구한 결과가 발표됨(Castellini et al. 1992, Marine Mammal Science).

• 1990년도에 들어 위성 위치추적기술이 발전하며 플랫폼 송신 터미널(이하 PTT)이라는 기기가 개발되었으며, 이 기기는 게잡이물범에 부착되어 물범의 이동을 기록한 연구가 발표됨(Bengtson et al.1993, Korean Journal of Polar Research).

– 바이오로깅 연구의 발전 과정 문헌 정리

• Web of Science 검색어["(bio-logging) OR (biologging) OR (bio-logger) OR (biologger) OR (animal-borne) OR (telemetry)"] 총 19,641건의 결과에 따른 연간 바이오로깅 연구 출판 논문의 수(1960–2019)는 노란색 막대로 나타나며, 'Marine animal'을 포함하는 결과는 파란색 막대로 나타난다 (그림 24)

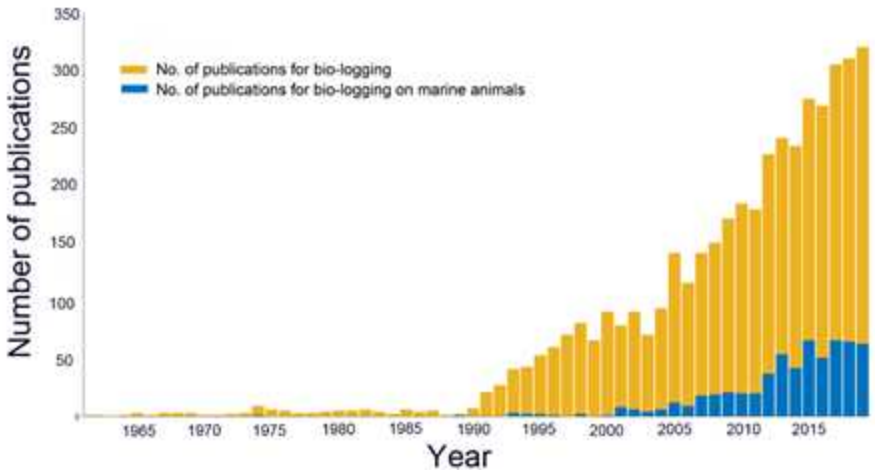


그림 25 Web of Science 키워드 검색 결과(Chung et al. 2021, Ocean Science Journal)

– 바이오로거의 종류

• 바이오로깅은 동물의 움직임이나 생리적인 자료를 측정하는 행동 바이오로깅 카테고리와 주변 환경 신호를 측정하는 환경 바이오로깅 카테고리로 나눌 수 있으며 이에 따라 바이오로거의 종류는 표4와 같이 분류함.

표 4 바이오로거의 목적에 따른 센서 종류, 획득 데이터, 특징

카테고리	센서 종류	획득 데이터	특징
Behavioural bio-logging (행동 자료)	GPS (Global Positioning System)	위치	• 공간정확도가 높음(<5m)(Bridge et al. 2011, BioScience) • 측정주기가 짧음 • 에너지소모가 큼(30초에 0.15W) (Bridge et al. 2011, BioScience) • 위성에서 라디오파를 수신 (Tomkiewicz et al. 2010, Philosophical Transactions of the Royal Society B) • 무거움(<22g)(Bridge et al. 2011, BioScience))
	CLS (Collect Localisation satellites)	위치	• 공간정확도가 상대적으로 낮음(<150m)(Bridge et al. 2011, BioScience) • 측정주기가 짧음 • 에너지소모가 큼 • 위성에서 라디오파를 수신 • 데이터 동시 송신 가능
	GLS (Geolocation System)	위치	• 공간정확도가 낮음(<200km)(Bridge et al. 2011, BioScience) • 측정주기가 김 • 에너지소모가 작음 • 작고 가벼움(<0.5g)(Bridge et al. 2011, BioScience) • 햇빛을 이용해 일몰 일출시간을 계산하여 위치를 추정
	Acoustic tag	위치	• 동물의 수중 위치 연구에 이용 • 중계 부이 필요
	Video-camera	이미지 및 음향 자료	• 대용량 배터리 및 저장소 필요 • 동물의 시각에서 시청각 자료를 해석하기 위해 이용(Moll et al. 2007, Trends in Ecology and Evolution)
	Accelerometer & gyroscope	가속도 및 기울기	• 동물의 에너지 소모 추산 가능 • 동물의 행동 정밀 분석 연구에 이용
	TDR (Time-Depth Recorder)	잠수 수심	• 전통적인 방법의 바이오로거 • 수심 측정 정확도가 높음 • 에너지소모가 작음
	ECG (Electrocardiogram)	심박 수	• 동물의 생리 연구에 이용 • 전극이 커서 소형동물에 부착하기 부담(Whitford and Klimley 2019, Animal Biotelemetry)
	EEG (Electroencephalogram)	뇌파	• 동물의 수면 연구에 이용 • 전극이 커서 소형동물에 부착하기 부담(Whitford and Klimley 2019, Animal Biotelemetry)

Environmental bio-logging (환경 자료)	CTD (Conductivity Temperature Depth)	전기전도도, 수온, 압력	• 잠수동물의 수직이동 및 주변 물리해양 연구에 이용
	Fluorometer	형광도	• 동물 주변 해수의 형광도를 측정하여 엽록소 농도를 측정하여 1차생산량을 추정하는 생지화학적 연구에 이용
	Oxygen sensor	용존산소	• 동물 주변에 존재하는 물의 용존산소를 측정하는 연구에 이용
	Hydrophone	주변 수중 음향	• 수중 혼합 신호를 측정하여 해양의 소리경관(Soundscape)를 연구하는 데에 이용(Cazau et al. 2017, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology)
	Echosounder	음향 후방 산란	• 능동 음향 후방산란을 측정하여 (Lawson et al. 2015, Animal Biotelemetry) 동물 주변의 생물 움직임 및 생물군집 탐색하는 연구에 이용 • 포식자-먹이 관계를 관찰하기 위해 이용(Goulet et al. 2019, Deep Sea Research)

– 바이오로깅 연구 적용 종 및 지리적 범위

• 바이오로깅 연구 적용 종 및 지리적 범위는 그림 25 참조.

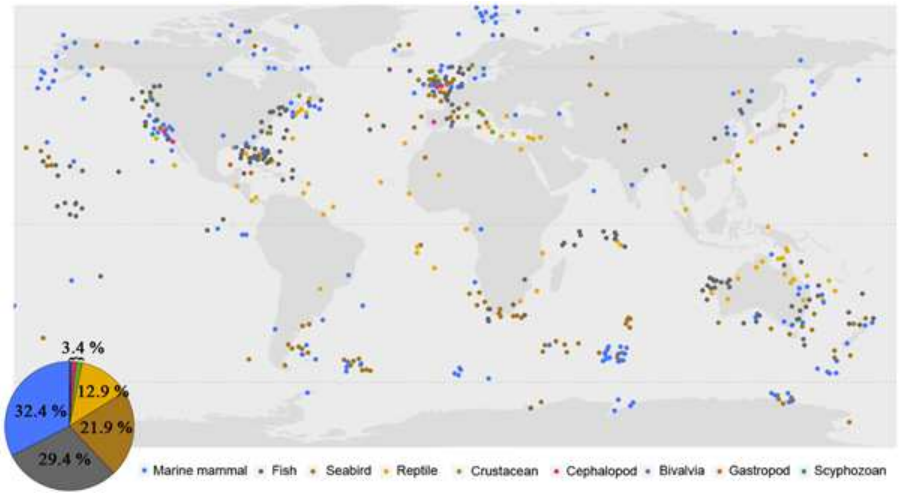


그림 26 1974~2019년까지 536개 논문에 나타난 해양 바이오로깅 연구 적용 종 및 지리적 분포 현황. 가장 많이 집계된 종부터 순서대로 해양포유류(32.4%), 어류(29.4%), 해양조류(21.9%), 파충류(12.95%) 그리고 갑각류, 이매패류, 복족류, 해파리류는 각 1% 미만으로 총합 3.4%를 점유하는 것으로 나타남(Chung et al. 2021, Ocean Science Journal)

(2) 조류 바이오로깅 부착방법 정립

- 국내에서 월동하는 조류의 특징에 맞는 배낭(harness) 형태의 위치추적기를 부착하는 방법을 선택. 배낭 형태의 위치추적기 부착방법은 소형조류에서부터 대형조류까지 모두 적용할 수 있는 방식으로, 상대적으로 조류의 비행을 적게 방해함. 또한, 이동성 조류의 장거리 경로가 포함된 이주 행동을 확인하는데 적합한 방식으로 우리나라에서 월동하고 북극권에서 번식하는 조류의 위치추적기 연구에 적합한 방식임.
- 장거리 비행 조류에 안정적으로 부착하기 위해선 현재와 같은 배낭 형태의 위치추적기가 가장 효과적일 것으로 여겨짐(그림 26).

그림 27 배낭 형태의 바이오로거(GPS)를 부착한 재갈매기(2020년 2월 경상북도 영덕군)

(3) 포유류 바이오로깅 부착방법 정립

- 3.7V 리튬폴리머 배터리가 부착된 아두이노 오픈소스 플랫폼에 각종 센서(위 시험에서는 온도 감지 센서와 압력 감지 센서가 부착됨)를 삽입한 뒤 물범에게 부착함.

그림 28 스트랩으로 센서를 묶어 물범 꼬리 부위에 고정하는 방식으로 부착(2020년 6월 청주동물원)

그림 29 꼬리에 부착된 압력센서를 달고 수조에서
휴식을 취하고 있는 물범(2020년 6월 청주동물원)

- 블루투스 통신을 통해 연구자의 휴대용 수신기 (예: 스마트폰) 어플리케이션으로 데이터를 원격으로 받을 수 있는 시스템을 구축함. 바이오로거의 물리적인 데이터 저장장치를 직접 회수할 필요가 없어지므로 데이터를 확보하기 용이함(Kim et al. 2021, Micromachines).

해양 동물(조류, 포유류)에 대한 바이오로거 부착 방법을 정립함.

2. 2차년도

○ **해수배터리 기반 바이오로거 소형화 기술개발**

– 바이오로거는 데이터수집을 위한 센서류, 통신 안테나, 구동을 위한 다양한 칩과 컴퓨팅 보드, 리튬이온배터리로 구성되며 필요에 따라 부력제, 수밀 재료가 추가됨.

– 어류 및 해양동물을 위한 바이오로거는 장비 보호를 위해서 위성통신을 위한 안테나를 제외한 모든 부품의 수밀 처리가 필요함.

– 해양 바이오로거의 무게 대부분은 수밀 재료와 리튬이온배터리의 비중이 크기 때문에 동일 기간 동작 기준 리튬이온배터리의 크기를 줄여 수밀 공간을 감소시키면 바이오로거의 무게를 감소 시킬 수 있음.

– 바이오로거는 대부분의 시간 동안 전력을 최소한으로 사용하는 idle 상태로 동작하며, 사용자 지정 주기로 센서를 통해 데이터를 수집하고, 데이터이 전송이 가능할 경우 위성을 통해 데이터를 전송함.

– 아래 그림과 같이 idle 상태에서는 소형 코인셀 해수 배터리를 사용하고, 동작 시 리튬이온배터리를 사용하는 하이브리드 배터리 어류 바이오로거 프로토타입을 개발함.

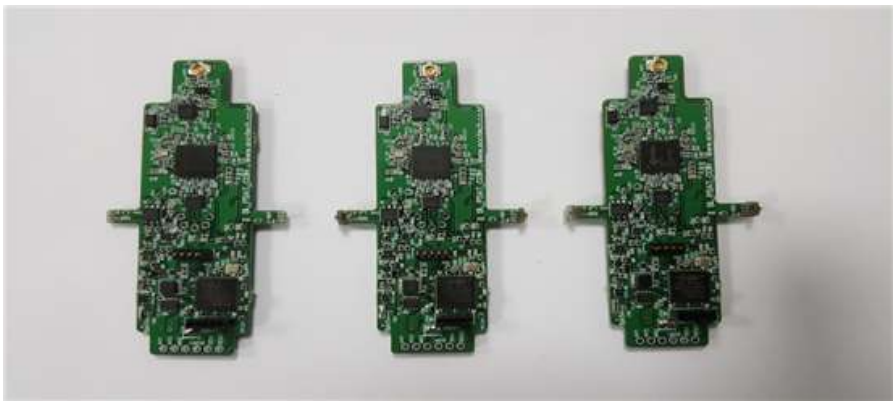


그림 30 하이브리드 배터리 어류 바이오로거 프로토타입

• 바이오로거는 idle 상태에서 MCU가 sleep 모드로 동작하며 바이오로거 시작품에서 사용한 STM32L451CEU6 MCU는 sleep 모드에서 소모 전력량이 아래 그림과 같이 2.05μA이브로 추가 전력 소모량을 고려하여도 2.5-3.0V의 전압에서 0.1-1.0mA의 출력이 가능한 소형 코인셀 해수 배터리로 동작 가능.

Features

- Ultra-low-power with FlexPowerControl
  - 1.71 V to 3.6 V power supply
  - -40 °C to 85/125 °C temperature range
  - 145 nA in V_{BAT} mode: supply for RTC and 32x32-bit backup registers
  - 22 nA Shutdown mode (5 wakeup pins)
  - 106 nA Standby mode (5 wakeup pins)
  - 375 nA Standby mode with RTC
  - 2.05 µA Stop 2 mode, 2.40 µA with RTC
  - 84 µA/MHz run mode

그림 31 STM32L451CEU6 specification

• 하이브리드 배터리 사용을 위해서는 아래 그림과 같이 전력 소모량에 따른 전력공급원을 변경해 줄 수 있는 스위칭 알고리즘이 필수적임.

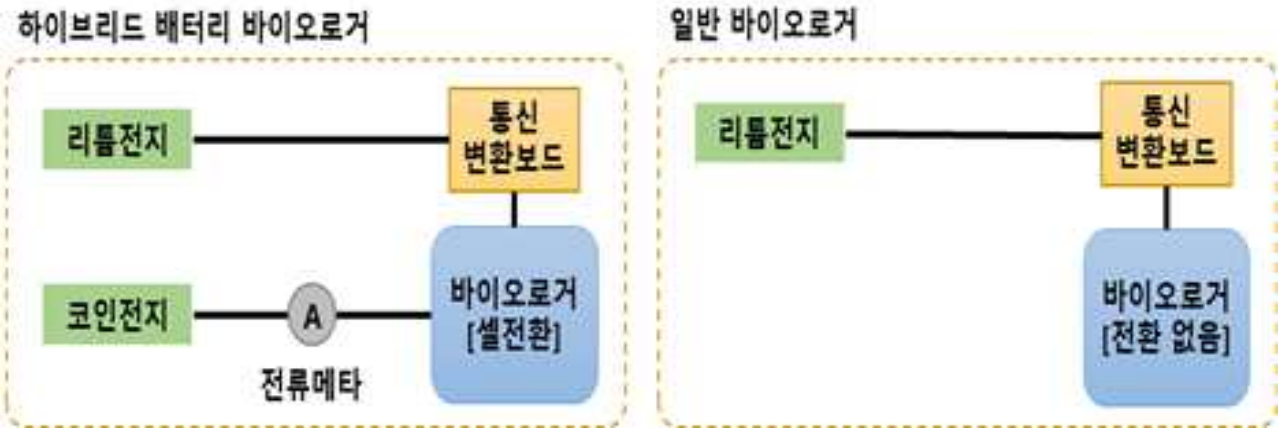


그림 32 해수 배터리 기반 하이브리드 배터리 해양 바이오로거 구동 방식

- 바이오로거의 전력 소모 패턴 확인을 위하여 FLUKE 社의 8846A 멀티 미터를 통해 mode switching 주기를 짧게 설정한 기존 바이오로거의 전력소모량을 측정하였으며, 결과는 아래와 같음.
- 바이오로거는 장시간 idle 상태로 구동하다가 단시간 데이터를 수집하고 전송하며 전력 소모량이 수직으로 상승했다가 다시 최저점으로 떨어지는 단순한 workload 특성을 보이므로 잦은 mode switching으로 인한 overhead 비용이 적음.
- 바이오로거의 동작 특성을 고려하여 소모 전력량이 소형 코인셀 해수 배터리가 감당할 수 없는 수준일 때, 리튬이온배터리로 전력공급원을 변경하는 방식으로 프로토타입을 개발함.

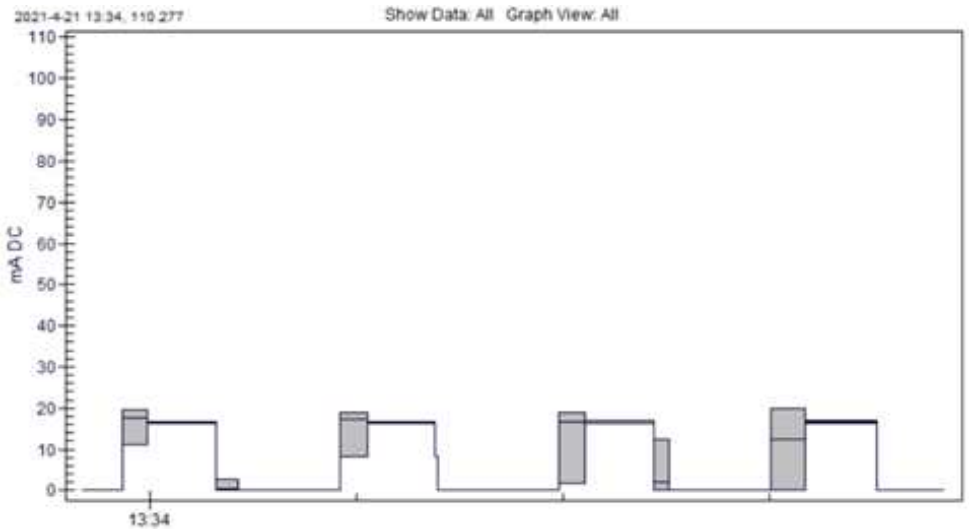


그림 33 바이오로거 전력 소모 패턴

– 아래 그림과 같이 동작하는 프로그램을 통해 하이브리드 배터리 어류 바이오로거의 구동 및 idle/working 상태의 소모 전력 측정 테스트 진행.

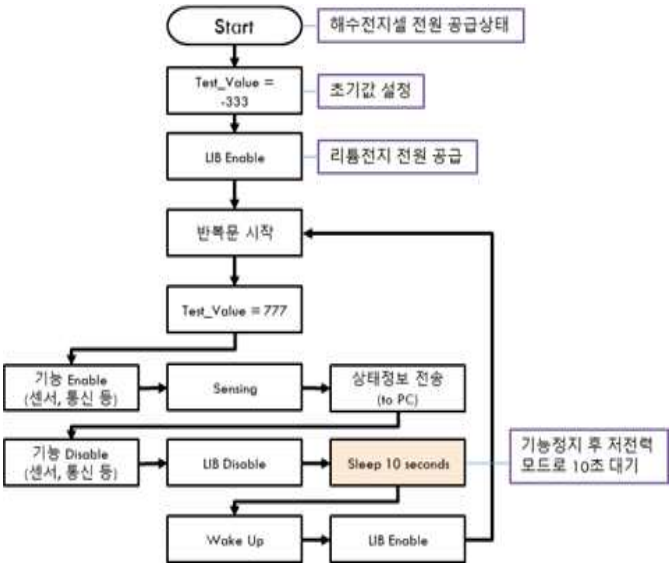


그림 34 하이브리드 배터리 어류 바이오로거 테스트 프로그램 동작 흐름도

• 바이오로거 부팅 시, Test_Value를 –333으로 초기화하고 반복문 시작 후 777로 변경하여 10초 후 깨어났을 때, 아래 그림과 같이 Test_Value 값을 확인하여 코인셀로 전원을 공급하는 idle 상태에서도 데이터가 보존되는 것을 확인하여 정상 동작 확인.

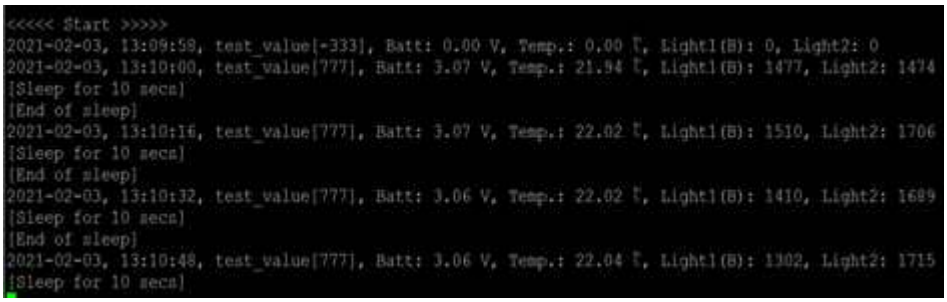


그림 35 하이브리드 배터리 바이오로거 동작 확인 결과

• 아래 그림과 같이 소형 코인셀 해수 배터리는 idle 상태에서는 최대 약 174-185 μA, working 상태에서는 약 1 μA 이하의 전력을 사용하는 것으로 측정됨.

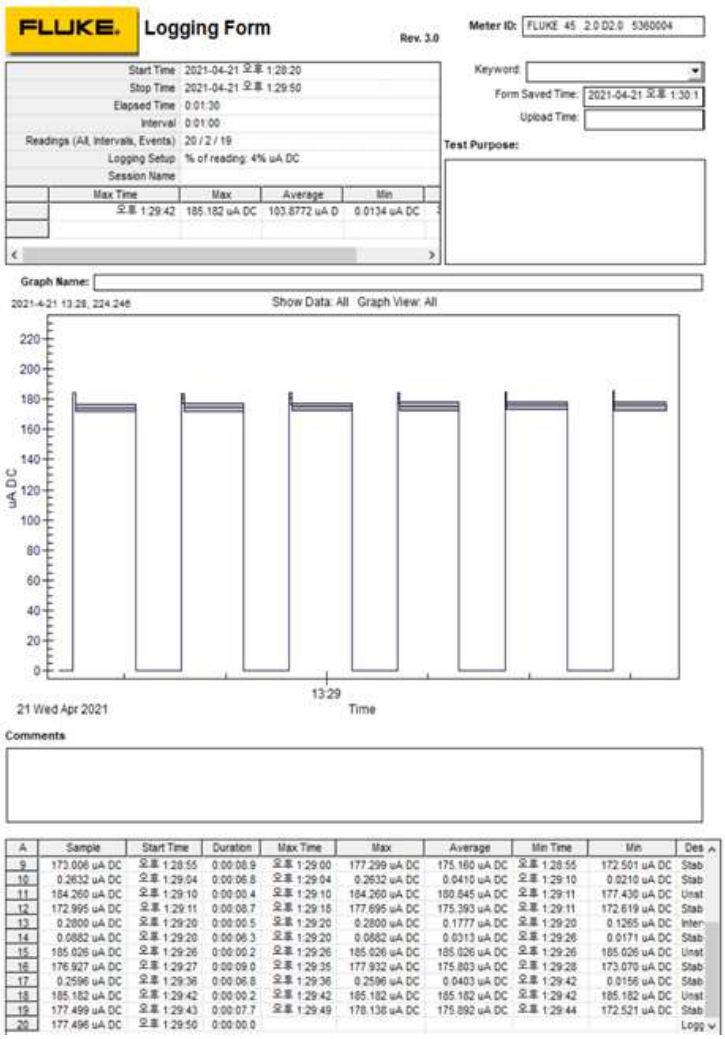


그림 36 소형 코인셀 해수 배터리 전력소모량

• 아래 그림과 같이 리튬이온배터리는 idle 상태에서는 약 30-50 μA, working 상태에서는 약 10-16 mA의 전력을 사용하는 것으로 측정되었으며, idle 상태에서 약 180-230 μA 전력을 사용하는 기존 바이오로거 대비 약 150-180 μA 전력 소모량을 감소시킬 수 있음.

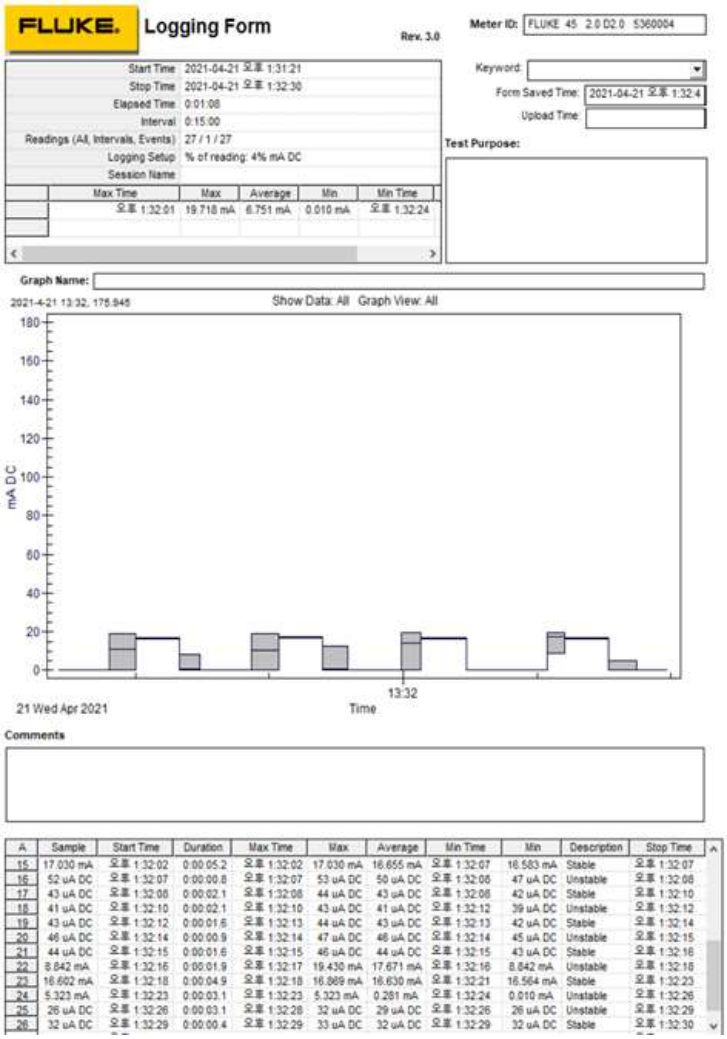


그림 37 리튬이온배터리 전력 소모량

- 하루에 1번 10초 동안 바이오로거가 데이터를 수집한다고 가정하면, idle 상태는 약 99.988%이며 이 때 사용하는 전력 소모량은 전체의 약 99%에 해당함.
- 하이브리드 배터리 바이오로거 사용 시, 기존 대비 약 77.6%-82.8%의 리튬이온배터리의 용량을 감소시킬 수 있으며 하이브리드 배터리 어류 바이오로거는 해수를 음극으로 사용하는 해수 배터리를 수밀 시킬 필요가 없으므로 수밀 공간을 감소시켜 바이오로거의 전체적인 무게를 줄일 수 있음.

바이오로거에 하이브리드 배터리 적용시 77.6%-82.8%의 리튬이온배터리 용량 감소

○ **어류 바이오로거 시작품 개발**

– 어류 바이오로거 시작품 내/외부는 아래 그림과 같이 구성되며, 리튬이온배터리가 단독으로 탑재됨.

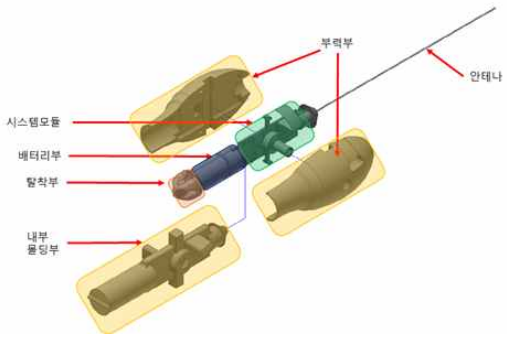


그림 38 바이오로거 외부 구성

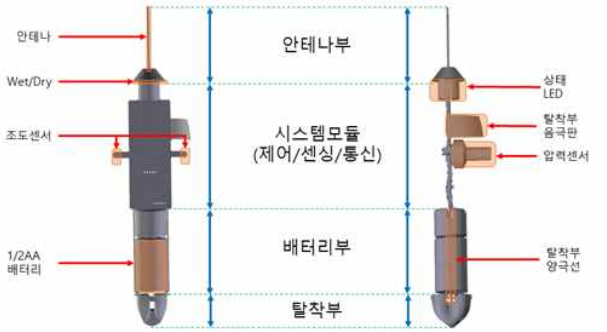


그림 39 바이오로거 내부 구성

– 아래 그림과 같이 시작품 2개와 Wildlife Computers 社의 MiniPAT을 지그에 넣어 실험선 후미에 매달아 거제-포항-묵호-속초-묵호-동해-포항 경로에서 실해역 테스트를 수행함.

Dimensions	150 mm (length) x 60 mm (diameter)
Weight in Air	<100 g

Sensors	Wet/Dry, Depth, Temperature, Light, 자체센서(6축)
Depth Sensor Range	1000 m
Depth Sensor Accuracy	±0.15 %FS
Temperature Sensor Range	-5° C to 60° C
Light Sensor	5.7m lux to 375 lux (변경 예정)
Operating Temperature Rating (C)	-20° C to 50° C
Recommended Storage Temperature Range	-40° C to 60° C
Memory	64 Megabytes(MB)
Pressure Rating	1200 m
Maximum Deployment Length	> 6 month
Data Interface	Through connector USB-TTL Serial Board

그림 40 어류 바이오로거 시작품 specification

– 실해역 실험의 항적도는 아래와 같으며, argos 수신 데이터와 항적도를 비교하여 신뢰성 추정 예정.

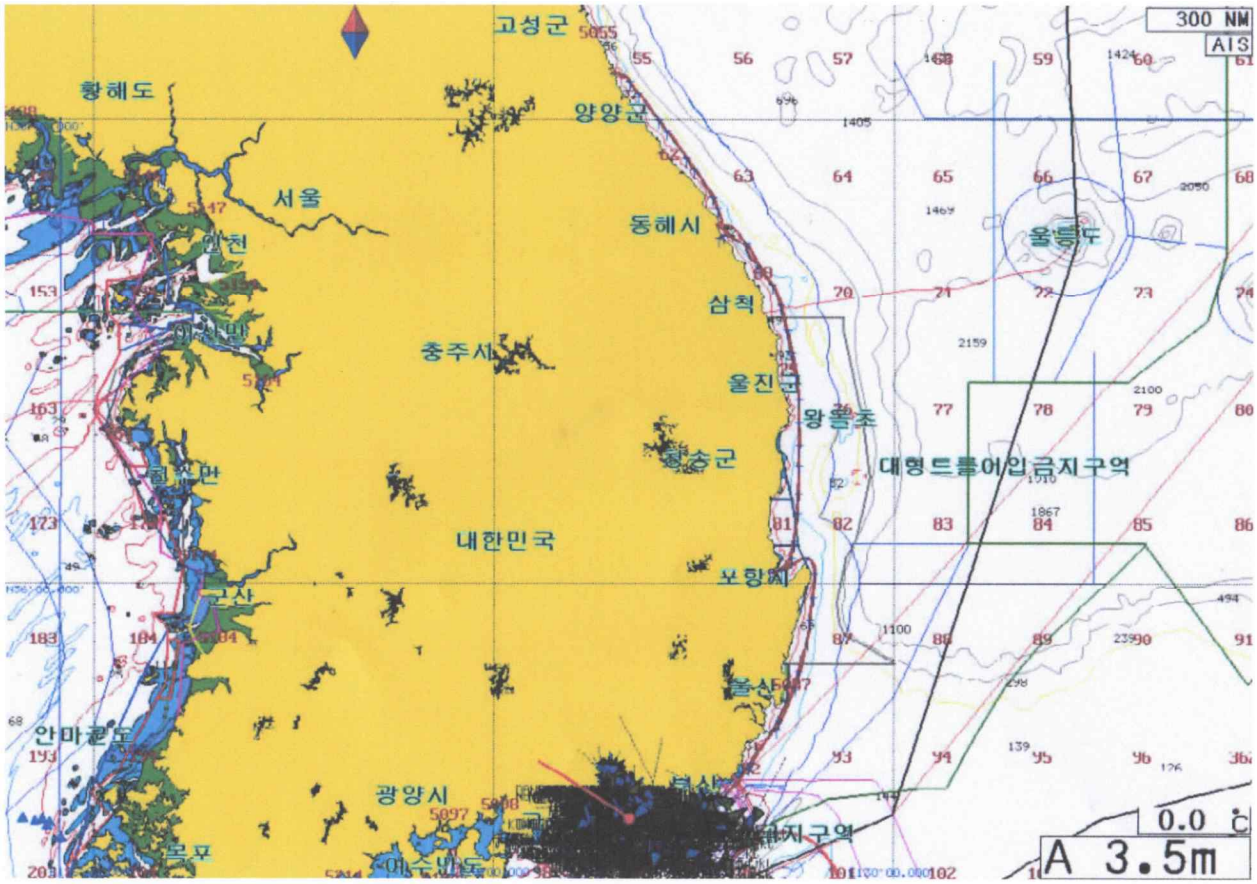


그림 41 실해역 실험 항적도

그림 42 어류 바이오로거 테스트 지그

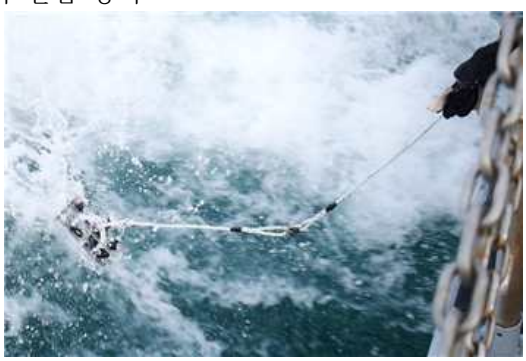


그림 43 어류 바이오로거 실해역 실험

• 실해역 실험의 결과를 확인하기 위해 argos 수신 데이터를 분석 및 서비스하는 CLS에 Track & Loc 서비스를 의뢰하였으나, COVID-19 바이러스로 인해 업무가 지연되고 있음.

어류 바이오로거 시작품을 개발하여 실해역 실증 수행

○ **해양 C-RAN 최적 운용 기술 개발**

(1) 네트워크 모델

– 해양 생물체에 부착한 바이오로거를 통해 수집한 관련 정보를 원격(육상)에 위치한 서버 운용자(또는 서버)에게 고신뢰 무선 전송하기 위한 방안으로, 해양 Cloud-Radio Access Network (C-RAN) 최적 운용기술에 대한 연구를 수행함.

– 본 연구에서 고려하는 해양 C-RAN은 아래의 그림과 같음.

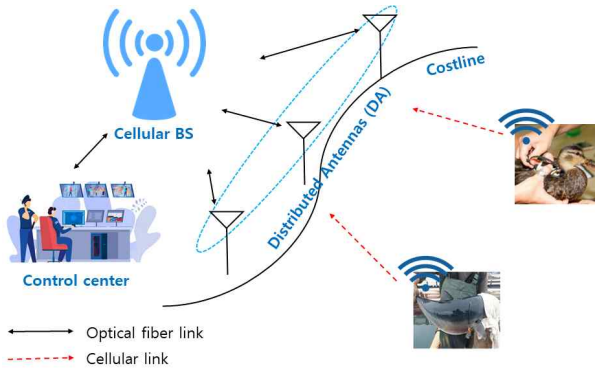


그림 44 바이오로거 데이터 고신뢰 통신을 위한
해양 C-RAN 개념도

• 분산 안테나(Distributed Antenna: DA)가 해안선을 따라 위치하고 이는 고속 유선 통신 링크(예: 광통신 링크)를 통해 셀룰러 기지국으로 연결되는 해양 무선 네트워크를 고려함.

– 해양 생물체에 부착된 바이오로거의 수집 데이터는 무 지향성 안테나 트랜시버를 사용하여 해안선에 위치한 DA에 전송됨. 본 연구에서는 바이오로거-DA간 통신을 위해 광역 커버리지 및 고속 전송을 지원하는 셀룰러 통신을 고려함.

– C_i = {1,2,...,$|C_i|$}$\subset C_i^{all}$는 바이오로거 i가 사용하는 DA 집합을 표현함. 이때 C_i^{all}는 바이오로거 i가 활용할 수 있는 모든 DA의 집합임. 고려하는 해양 C-RAN 환경에서 일반적으로 해상 지역에서는 송수신단 사이에 장애물이 거의 없기 때문에 바이오로거-DA 통신링크에 Line of Sight(LoS)가 확보되는 환경을 고려함.

– 바이오로거 i가 C_i의 DA를 사용할 때 수신 신호는 아래의 식으로 표현할 수 있음.

$$\mathbf{y}_{\mathbf{C}_i,i} = \mathbf{h}_{\mathbf{C}_i,i} \cdot s_i + \mathbf{z}_{\mathbf{C}_i}$$

• 위의 수식에서 h는 바이오로거-DA 간의 채널 이득, s는 information, z는 additive white noise를 의미함.

(2) 바이오로거 average data rate 분석

– 바이오로거-DA간 무선 통신 신뢰도 향상을 도모하기 위해 다중안테나 다이버시티 이득을 얻은 기법인 Maximum Ratio Combining (MRC) 기법을 활용함. 이를 통한 수신단(셀룰러 기지국)의 빔포밍 벡터는 아래의 수식으로 표현할 수 있음.

$$\mathbf{w}_{\mathbf{C}_i,i} = \frac{\mathbf{h}_{\mathbf{C}_i,i}^H}{\|\mathbf{h}_{\mathbf{C}_i,i}\|}$$

– 위 식을 활용하여 바이오로거 i의 average data rate은 아래와 같이 도출할 수 있음.

$$\begin{aligned}\overline{R_i} &= \mathbb{E}_{\mathbf{h}_{\mathbf{C}_i,i}}\left[\log_2\left(1+\gamma_i\right)\right] \\ &= \mathbb{E}_{\mathbf{h}_{\mathbf{C}_i,i}}\left[\log_2\left(1+\frac{P|\mathbf{h}_{\mathbf{C}_i,i}\cdot\mathbf{w}_{\mathbf{C}_i,i}|^2}{N_0}\right)\right] \\ &= \mathbb{E}_{\mathbf{h}_{\mathbf{C}_i,i}}\left[\log_2\left(1+\frac{P\|\mathbf{h}_{\mathbf{C}_i,i}\|^2}{N_0}\right)\right],\end{aligned}$$

- 위의 수식에서 γ_i는 수신단 측의 signal to noise ratio(SNR)을 의미하고, 본 연구에서는 바이오로거-DA link의 LoS특성을 반영하기 위해 shadowed-Rician fading를 채택하였음. 이때 $\|h_{c_i,i}\|^2$의 moment generating function은 아래의 수식과 같이 표현 가능함.

$$M_{\|\mathbf{h}_{C_i,i}\|^2}(s) = \frac{\left(\delta\left(s+1/(2b)\right)/(s+\delta)\right)^{m|\mathbf{C}_i|}}{2b(s+1/(2b))^{\min\{|\mathbf{C}_i|,\mu\}}}$$

- δ = $\frac{m}{2bm+\Omega}$, μ = max{$|C_i|$, $[m|C_i|]$}임.
- 위의 수식을 활용해 γ_i > 0에 대해 γ_i 의 Probability Density Function(PDF)은 아래의 수식으로 표현할 수 있음.

$$\begin{aligned}f_{\gamma_i}(x) = &\sum_{j=0}^{\beta}\binom{\beta}{j}\cdot(2b)^{(m-1)|\mathbf{C}_i|+j-\beta}\cdot\delta^{m|\mathbf{C}_i|+\frac{j-\mu}{2}} \\ &\cdot\bar{\gamma}^{\frac{j-\mu}{2}}\cdot x^{\frac{\mu-j-2}{2}}\cdot e^{-\frac{\delta}{2\bar{\gamma}}x}\left[\frac{\mathcal{M}_{\frac{\mu+j}{2},\frac{\mu-j-1}{2}}\left(\frac{\delta}{\bar{\gamma}}x\right)}{\Gamma(\mu-j)}\right. \\ &\left.+\phi\cdot\frac{\mathcal{M}_{\frac{\mu+j+1}{2},\frac{\mu-j}{2}}\left(\frac{\delta}{\bar{\gamma}}x\right)}{\Gamma(\mu-j+1)}\right],\end{aligned}$$

- 위의 수식에서 $\beta=(\mu-|C_i|)^+$, $(x)^+$, $\bar{\gamma}=\frac{P}{N_0}$은 SNR, Γ (·)는 gamma function, $M_{u,v}(\cdot)$는 Whittaker 함수, $\phi=\frac{m|C_i|-\mu}{2b}\cdot\frac{\Omega\delta}{m}$, $2b$는 다중 경로 성분의 평균 전력, m은 $m=\Sigma_{j=1}^{|C_i|}m_j$, Ω는 $\Omega=\Sigma_{j=1}^{|C_i|}\Omega_j$을 의미함. 위에서 도출한 PDF를 활용해 바이오로거 i의 average data rate은 아래의 수식으로 표현할 수 있음.

$$\begin{aligned}\overline{R_i} = &\frac{1}{\ln 2}(2b)^{(m-1)|\mathbf{C}_i|}\cdot\delta^{m|\mathbf{C}_i|-\mu}\cdot \\ &\sum_{j=0}^{\beta}\left[\frac{\delta^j}{\Gamma(\mu)}\cdot\mathcal{G}_{4,3}^{2,3}\left(-\frac{\bar{\gamma}}{\delta}\middle|\begin{matrix}-\mu+j+1,1,1,0\\ j,1,0\end{matrix}\right)\right. \\ &\left.+\frac{\phi\cdot\delta^{j-1}}{\Gamma(\mu+1)}\cdot\mathcal{G}_{4,3}^{2,3}\left(-\frac{\bar{\gamma}}{\delta}\middle|\begin{matrix}-\mu+j,1,1,0\\ j,1,0\end{matrix}\right)\right],\end{aligned}$$

(3) 바이오로거 통신 요구사항을 기반으로 한 안테나 선택 알고리즘

– 위에서 도출한 수식들을 기반으로 바이오로거 i의 통신 요구사항(전송 데이터율)을 보장하면서 사용하는 DA 수를 최소화하기 위한 최적화 문제를 아래와 같이 표현할 수 있음.

$$\min |\mathbf{C}_i|$$
$$s.t.\ \bar{R}_i \geq R_i^{th}$$

• 위의 수식에서 R_i^{th}는 바이오로거 i가 요구하는 전송 데이터율의 최소값을 의미함.

– 위의 문제의 최적화를 위해 아래의 알고리즘을 제시함.

Initialize $|\mathbf{C}_i| = 0$;
repeat
  Update $|\mathbf{C}_i| = |\mathbf{C}_i| + 1$;
  Calculate the average data rates for all service clouds of size $|\mathbf{C}_i|$ in all available DAs $\mathbf{C}_i^{all}$ by using the following equation:

$$\overline{R_i} = \frac{1}{\ln 2}(2b)^{(m-1)|\mathbf{C}_i|} \cdot \delta^{m|\mathbf{C}_i|-\mu} \cdot \sum_{j=0}^{\beta}\left[\frac{\delta^j}{\Gamma(\mu)} \cdot \mathcal{G}_{4,3}^{2,3}\left(-\frac{\overline{\gamma}}{\delta}\middle| \begin{matrix} -\mu+j+1,1,1,0 \\ j,1,0 \end{matrix}\right) + \frac{\phi \cdot \delta^{j-1}}{\Gamma(\mu+1)} \cdot \mathcal{G}_{4,3}^{2,3}\left(-\frac{\overline{\gamma}}{\delta}\middle| \begin{matrix} -\mu+j,1,1,0 \\ j,1,0 \end{matrix}\right)\right],$$

  which has been derived in (7);
  Find the service cloud that maximizes the average data rate;
  Calculate R_i^{th} according to the MUE-CH links channel environment by using the following equation:

$$R_i^{th} = \frac{1}{P_{succ}} \sum_{u=1}^{|\mathbf{U}_i|} R_i^u,$$

  which has been derived in (10);
until $\bar{R}_i \geq R_i^{th}$;
return $|\mathbf{C}_i|$

(4) 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능 평가

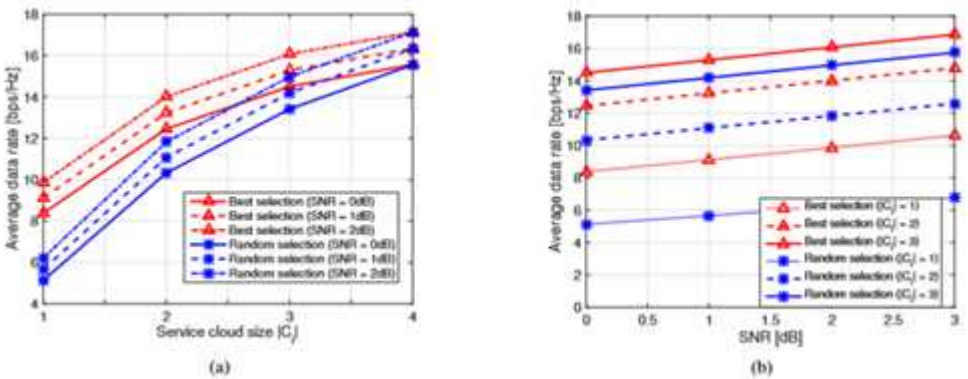


그림 45 가용한 DA 안테나 수와 바이오로거-DA 링크 SNR 변화에 따른 바이오로거의 average data rate

– 위의 그림은 $C_i^{all} = 4$인 환경에서 바이오로거 i의 average data rate를 나타냄. 제안 알고리즘의 성능

비교를 위해, $|C_i|$를 결정하는데 Best selection (Proposed algorithm) 및 Random selection 방식의 두 가지 다른 안테나 선택 방식을 고려함. 위의 결과를 통해 Best selection 기법이 Random selection 기법 대비 동일 또는 우수한 성능을 보이는 것을 확인함. 특히, $|C_i|$의 크기가 증가함에 따라 두 방식 간의 성능 격차 감소를 확인할 수 있는데, 이는 $|C_i|$가 C_i^{all}에 접근하면 활용할 수 있는 모든 안테나에서 선택할 수 있는 가능한 경우의 수가 줄어들고 이로 인해 안테나 선택 다이버시티 이득이 감소하기 때문임.

$\|\mathbf{C}_i^{all}\|$		3	4	5	6	7	8
$R_i^{th} = 2$ bps/Hz	Proposed	2	1	1	1	1	1
	Random	2	2	2	2	1	1
$R_i^{th} = 4$ bps/Hz	Proposed	2	2	2	2	2	1
	Random	2	2	2	2	2	2
$R_i^{th} = 6$ bps/Hz	Proposed	3	2	2	2	2	2
	Random	3	3	2	2	2	2
$R_i^{th} = 8$ bps/Hz	Proposed	3	3	2	2	2	2
	Random	3	3	3	3	3	2

그림 46 바이오로거 요구 data rate 변화에
따른 최소 필요한 DA 수

– 위의 그림은 바이오로거의 data rate 요구사항의 변화에 따른 최소 필요한 DA 수를 나타내고 있음. 위의 결과를 통해 Proposed algorithm이 Random algorithm에 비해 적은 수의 안테나를 활용함을 확인함. 이는 제안한 알고리즘이 바이오로거의 QoS를 보장하는 선에서 DA의 수를 최소화함으로써 해상 무선 네트워크의 에너지 효율적인 운영에 기여 할 수 있음을 의미함.

바이오로거의 QoS를 보장하는 선에서 DA의 수를 최소화하는 알고리즘 제안

○ **어류 바이오로깅 시범 적용**

– 방어 체외 최적 부착을 위한 바이오로거 conditioning 연구

• 서식처, 산란장 파악, 자원량 추정 및 다양한 해양 건설 공사 등의 해양활동으로 발생하는 해양생물 자원의 반응 패턴 분석을 위해서 대상 동물의 이동 경로, 서식 수심 및 서식 수온 등 GIS (Geographic Information System) 기반의 기초자료 확보가 필수적임.

• 대상 생물의 표지방류 연구에 띠형표 지표나 화살형표 지표와 같은 재래식표 지표, 음향 송수신기를 이용하는 aacoustic telemetry system, pop-up satellite archival tag(PSAT)와 같은 electric tag 등이 바이오로거로 활용되어 왔음.

• 바이오로거 PSAT의 경우, 대상 생물에 부착하여 일정 기간 서식온도, 깊이 및 지리 위치를 저장한 뒤 지정된 날짜에 대상 생물에서 자동 탈락 되어 저장된 자료를 Argos 위성으로 전송하는 첨단 표지법으로, 경골어류, 상어나 가오리 같은 판새 어류 및 바다거북의 수평·수직 운동, 거주시간, 방류 후 폐사율 등을 조사하기 위한 해양어업 연구에 그 활용도가 증가하고 있음.

• 바이오로거 PSAT는 주로 대형 해양 포유류, 참다랑어, 상어 및 바다거북과 같은 대형 해양생물을 대상으로 큰 규모의 이동 추적 및 생리학적 연구에 성공적으로 이용됐지만, PSAT 특성상 적용 생물의 체외에만 부착되어야 하므로, 대상 생물에 따라 스테인레스 스틸, 티타늄 및 의료용 나일론과 같은 teher에 다양한 형태의 anchor을 이용하거나, mono filament, cable tie와 nylon bolt 및 nut 등을 활용해 부착 부위의 손상을 최소화하고 부착된 PSAT가 안정적으로 계획된 기간 내에 부착이 지속되어야 하는 것과 동시에 적용된 생물에게 영향을 주지 않아

야 함.

- 바이오로거 PSAT의 체외 부착은 대상 생물의 스트레스 유발, 부착 부위의 감염, 상처 확대에 따른 tag의 탈락 및 폐사 발생 등의 문제가 발생할 가능성이 큼. 즉, PSAT 활용 전 대상 생물에 적용할 안정적인 부착방법이 먼저 선결되어야만 장기간 운용 및 자료 확보가 가능할 수 있어, PSAT의 부착방법에 따른 대상 생물의 건강상태 및 부착효율을 파악을 위한 conditioning 연구가 요구됨.
- 바이오로거 PSAT 부착 후 시간 경과별 대상 생물에 미치는 다양한 생리학적 영향을 평가하기 위한 스트레스 지표 분석이 필요하며 동시에 부착된 tag의 탈락유무의 자료가 요구되지만, tag 부착에 따른 대상 생물의 건강상태와 생리적 영향 연구는 매우 부족함.
- 혈액성상 지표는 tag 부착으로 인한 스트레스, 영양학적 영향 및 체내 항상성 유지에 대해 평가를 할 수 있음.
- 방어(*Seriola quinqueradiata*)는 우리나라, 일본 및 하와이 등 태평양에 주로 분포하는 농어목 전갱이과에 속하는 어류로서, 높은 경제적 가치로 효율적인 자원관리 및 보전이 필요한 해산 어류로서, 국내에서는 분포 및 어장 형성, 치어와 유어의 생태 특성 및 식성 등이 보고되었고, 일본에서는 어황, 자원변동 및 회유 경로 등이 보고되었지만, 방어의 PSAT 부착에 따른 생리학적 연구가 이루어진 바가 없음.
- 향후 방어 자원의 개발 및 모니터링을 위한 회유 경로 및 생태·생리학적 정보 수집 시 PSAT의 안정적인 체외 부착에 필요한 conditioning 기법 개발을 위해 부착방법에 따른 시간 경과별 방어의 혈액성상 변화 및 PSAT 부착효율을 조사하였음.
- 실험어는 한국해양과학기술원 통영 해양생물자원기지에 사육 중인 체중 10.2±1.4kg(평균±SD)의 방어 12마리를 사용하였음. 실험 기간 동안 실험어는 PSAT 부착 후 자유로운 유영이 가능하도록 해상가두리(6×6×6m)에 수용하여 실험 종료 때까지 진행함.
- 실험에 사용한 PSAT는 Wildlife Computers Inc.(WA, USA)의 가장 작은 모델인 mark report PAT(mrPAT)와 동일한 크기와 무게로 제작된 dummy mrPAT(Wildlife Computers Inc., WA, USA)를 사용하였음(그림 46).

그림 47 실험에 사용된 dummy mrPAT

- 실험용 dummy mrPAT의 무게와 크기는 각각 40g과 127mm이었으며, 향후 실해역 테스트에 활용되는 mini-PAT 무게가 60g이기 때문에 방어 체외의 안정적이고 지속적인 부착 확인을 위해 2개를 하나의 set로 묶어 무게를 가중해 실험어에 부착하였음.
- 모든 실험어는 dummy PSAT 부착 전 해상가두리에서 10일 이상 순치 후 방어의 등지느러미 아래쪽 근육에 부착하였으며, 부착방법은 플라스틱 재질의 단일 anchor 부착구 (single anchor, SA), 복수 anchor 부착구 (dual anchor, DA) 및 실리콘 튜브 부착구(silicon tube, ST)의 3가지 type으로 설정하였음(그림 47).

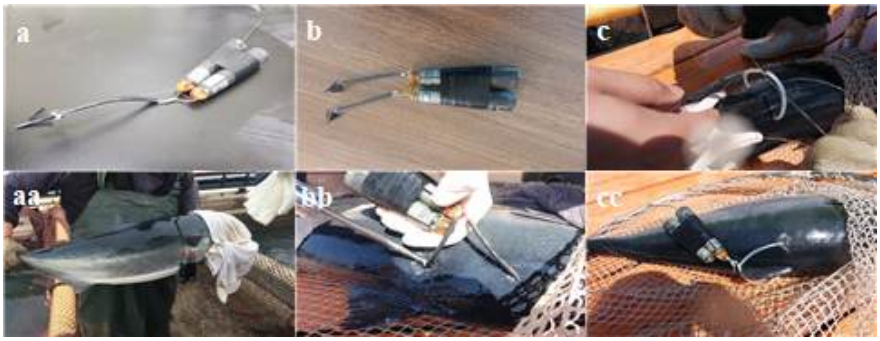


그림 48 방어 체외 바이오로거 부착에 적용한 세 가지 방법: 단일 anchor(SA; a, aa), 복수 anchor(DA; b, bb), 실리콘 튜브(ST; c, cc) 타입

- 부착구 SA와 DA에 사용된 anchor는 Wildlife Computers Inc.(WA, USA)에서 제작된 domeier medium dart로, 무게와 크기는 각각 0.46g과 20.2mm로 dummy mrPAT set에 하나 또는 두 개를 연결하여 방어 등쪽 근육에 부착하였으며 실리콘 튜브 타입의 경우 외경 4.24mm, 내경 2.64mm의 실리콘 튜브를 방어 등쪽 근육에 먼저 삽입한 후, tube 내에 mono filament를 삽입하여 dummy mrPAT와 연결 하였음.
- 모든 실험어는 핸들링 및 부착에 의한 스트레스를 방지하기 위해 2-phenoxyethanol (150mg/L)로 마취 후 체중 측정 다음 tag를 부착하였으며, 부착 후에는 povidone iodine solution으로 소독처리 및 oxytetracycline 200mg/L의 해수에 5분간 약욕한 다음 해상가두리에 수용하였음.
- 부착구와는 별개로 대조구로서 미부착구(control, C)를 설정하였으며, 대조구와 부착구(즉, SA, DA 그리고 ST)는 각 3마리씩 사용하여 총 28일간 실험을 진행하였음.
- 실험 기간 동안 환경조건의 경우 수온, 염분, 용존산소 및 투명도는 각각 12.3±0.2℃, 33.0±0.4psu, 8.6±0.5mg/L, 그리고 3.8±1.1m 임.
- 방어 등지느러미 아래 근육 부착구인 SA, DA, ST와 대조구의 혈액 성상 변화를 조사하기 위해 tag 부착 1일, 14일 및 28일째에 모든 실험어에서 채혈하였음. 혈액샘플은 실험어를 2-phenoxyethanol(150 mg/L)로 1분간 마취시킨 후, 헤파린으로 처리된 주사기를 이용하여 미부혈관으로부터 채취하여 혈액 내 hemoglobin, hematocrit, glucose(GLU), total protein(TP), total cholesterol(TCHO), glutamic oxaloacetic transaminase(GOT), glutamic pyruvic transaminase(GPT), Na^+, K^+, Cl^-, cortisol 및 superoxide dismutase(SOD)를 분석하였음.
- 혈액 내 hemoglobin과 hematocrit는 전혈을 사용하여 각각 측정한 후, 혈액을 원심분리(4℃, 12,000rpm, 5분)하여 혈장을 추출하고 자동혈액분석기(FUJI DRY-CHEM 4000i, FUJIFILM, Tokyo, Japan)를 사용하여 추출된 혈장 내 GLU, TP, TCHO, GOT, GPT, Na^+, K^+, Cl^-를 분석하였음. 혈장 내 cortisol과 SOD는 ELISA kit(CUSABIO, China)을 사용하여 competitive inhibition technique ELISA 법으로 제조사의 측정 방법에 따라 Epoch Microplate spectrophotometer(BioTek, USA)를 사용하여 측정하였음.
- Tag 부착구인 SA, DA 및 ST의 dummy mrPAT 부착효율을 조사하기 위해 혈액성상 조사 시점인 tag 부착 1일, 14일 및 28일째에 tag 탈락 여부를 관찰하여 부착효율을 산정하였음.
- 모든 자료의 통계 분석은 SPSS 11.5 (SPSS Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하여 시간 경과별 (1일, 14일 및 28일) tag 부착구 그룹들과 대조구 그룹간의 분산 분석(ANOVA)을 시행하였으며, Tukey's multiple range test로 평균 간 유의성을 95% 신뢰수준에서 검정하였음.
- 바이오로거 dummy mrPAT 부착방법에 따른 시간 경과별 방어의 혈액 내 hemoglobin과 hematocrit 농도 변화를 그림 48에 나타내었음. Hemoglobin의 경우 대조구와 SA, DA 및 ST 실험구의 1일째는 대조구에서 가장 높았지만 각 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음($P>0.05$). 부착 7일째의 경우 SA 실험구에서 가장 높았지만, 실험구 사이에는 차이가 없었음. 부착 28일째의 경우 역시 실험구 사이에는 차이가 없었음.

• 혈액 내 hematocrit의 경우 대조구와 SA, DA 및 ST 실험구의 1일째는 대조구에서 가장 높게 나타났지만, 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음(P>0.05). 부착 7일과 14일째 모두 실험구 사이에 차이가 없었음(P>0.05).

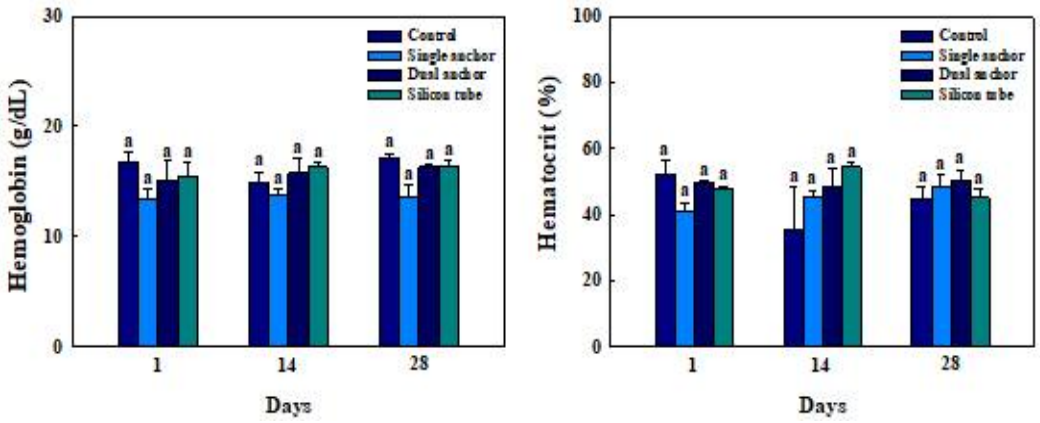


그림 49 바이오로거 dummy mrPAT 부착방법에 따른 시간 경과별 방어의 hemoglobin(좌)과 hematocrit(우) 농도 변화 (Control: 비부착구, Single anchor: 단일 anchor, Dual anchor: 복수 anchor, Silicon tube: 실리콘 튜브). 동일 날짜에 서로 다른 문자를 가진 값(평균±SE, n=3)은 유의하게 다름(P<0.05)

• 바이오로거 dummy mrPAT 부착 방법별 시간 경과에 따른 방어의 혈액 내 GOP와 GPT 농도 변화를 그림 49에 나타내었음. GOP의 경우 대조구와 SA, DA 및 ST 실험구의 1일째는 ST 실험구에서 높은 수치를 보였으나, 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음(P>0.05). 부착 7일째의 경우 대조구에서 가장 높은 농도 값을 보였지만, 실험구 사이에서는 유의한 차이는 없었음. 그러나 부착 1일째에 비해 현저히 높은 값을 보이는 것을 볼 때 1일째의 경우 부착 및 핸들링에 의한 스트레스 반응이 지속하는 것으로 보였음. 부착 28일째의 경우 대조구, SA, DA 및 ST 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음.
• 혈액 내 GPT 농도의 경우 대조구와 SA, DA 및 ST 실험구의 1일째는 대조구에서 가장 높았으나, 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음(P>0.05). 부착 7일째의 경우 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음. 부착 28일째의 경우 실험구 사이에서 유의한 차이는 없었지만, 부착 7일째에 비해 다시 상승하는 경향을 보였음.

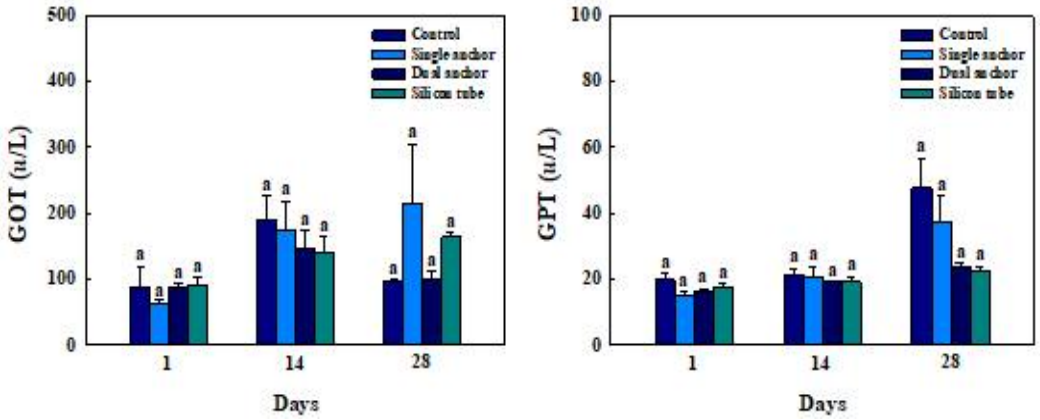


그림 50 바이오로거 dummy mrPAT 부착방법에 따른 시간 경과별 방어의 GOT(좌)와 GPT(우) 농도 변화 (Control: 비부착구, Single anchor: 단일 anchor, Dual anchor: 복수 anchor, Silicon tube: 실리콘 튜브). 동일 날짜에 서로 다른 문자를 가진 값(평균±SE, n=3)은 유의하게 다름($P<0.05$)

- 바이오로거 dummy mrPAT 부착 방법별 시간 경과에 따른 방어의 혈액 내 glucose와 Na^+ 농도 변화를 그림 50에 나타내었음. Glucose의 경우 대조구와 SA, DA 및 ST 실험구의 1일째는 실험구 사이에는 유의한 사이에는 차이가 없었음($P>0.05$). 부착 7일째의 경우 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음. 부착 28일째의 경우 대조구에 비해 SA 실험구는 유의하게 낮고 ST 실험구는 유의하게 높았음($P<0.05$).
- 혈액 내 Na^+ 농도의 경우 대조구와 SA, DA 및 ST 실험구의 1일째는 실험구 사이에는 유의한 사이에는 차이가 없었음($P>0.05$). 부착 7일, 28일째 모두 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음.

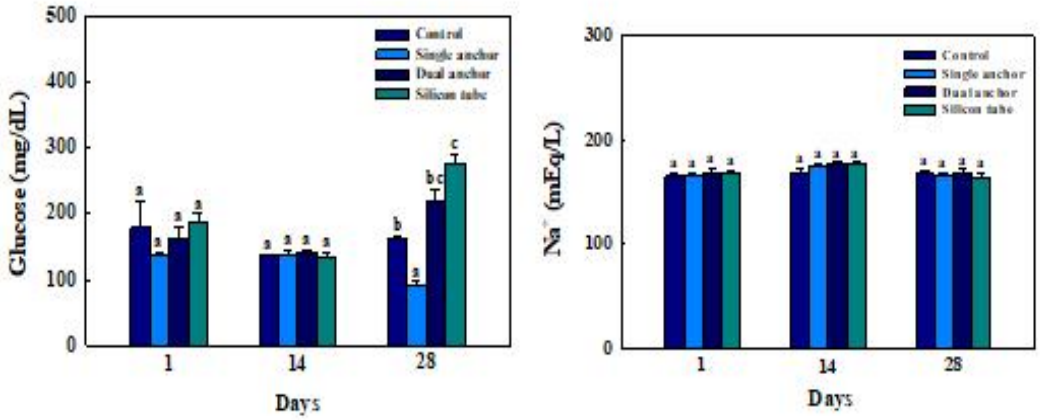


그림 51 바이오로거 dummy mrPAT 부착방법에 따른 시간 경과별 방어의 glucose(좌)와 Na^+(우) 농도 변화 (Control: 비부착구, Single anchor: 단일 anchor, Dual anchor: 복수 anchor, Silicon tube: 실리콘 튜브). 동일 날짜에 서로 다른 문자를 가진 값(평균±SE, n=3)은 유의하게 다름($P<0.05$)

- 바이오로거 dummy mrPAT 부착 방법별 시간 경과에 따른 방어의 혈액 내 K^+와 Cl^- 농도 변화를 그림 51 나타내었음. 혈액 내 K^+ 농도의 경우 대조구와 SA, DA 및 ST 실험구의 1일째는 실험구 사이에는 유의한 사이에는 차이가 없었음($P>0.05$). 부착 7일, 28일째 모두 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음.

• 혈액 내 Cl^- 농도의 경우 대조구와 SA, DA 및 ST 실험구의 1일째는 실험구 사이에는 유의한 사이에는 차이가 없었음(P>0.05). 부착 7일, 28일째의 경우 모두 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음.

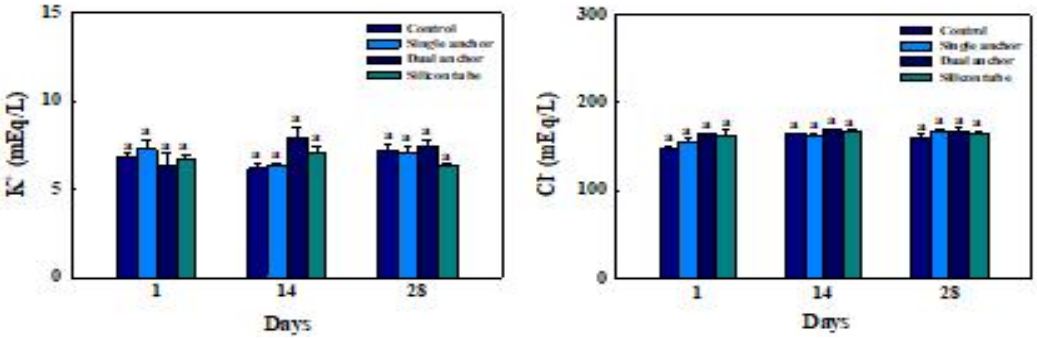


그림 52 바이오로거 dummy mrPAT 부착방법에 따른 시간 경과별 방어의 K^+(좌)와 Cl^-(우) 농도 변화 Control: 비부착구, Single anchor: 단일 anchor, Dual anchor: 복수 anchor, Silicon tube: 실리콘 브). 동일 날짜에 서로 다른 문자를 가진 값(평균±SE, n=3)은 유의하게 다름(P<0.05)

• 바이오로거 dummy mrPAT 부착 방법별 시간 경과에 따른 방어의 혈액 내 total protein과 total cholesterol 농도 변화를 그림 52에 나타내었음. Total protein의 경우 대조구와 SA, DA 및 ST 실험구의 1일째는 실험구 사이에는 유의한 사이에는 차이가 없었음(P>0.05). 부착 7일째의 경우 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음. 부착 28일째의 경우 대조구, SA, DA 및 ST 실험구는 대조구에 비해 SA 실험구는 유의하게 낮고 DA와 ST 실험구는 유의하게 높았음(P<0.05).

• 혈액 내 total cholesterol 농도의 경우 대조구와 SA, DA 및 ST 실험구의 1일째는 실험구 사이에는 유의한 사이에는 차이가 없었음(P>0.05). 부착 7일째의 경우 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음. 부착 28일째의 경우 대조구에 비해 SA와 ST 실험구는 유의하게 낮았음(P<0.05).

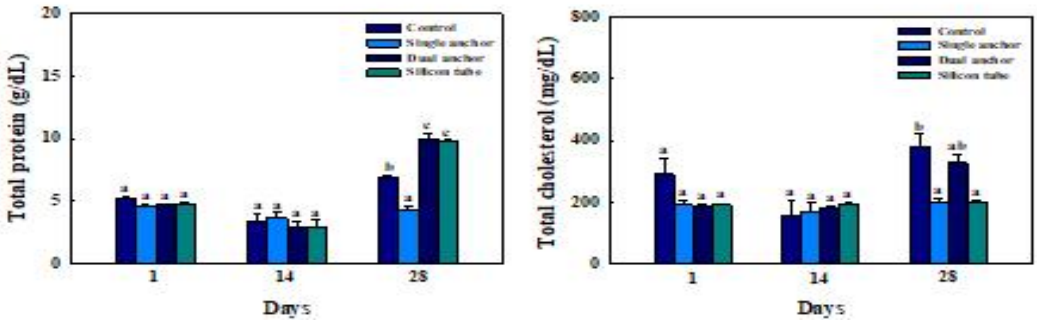


그림 53 바이오로거 dummy mrPAT 부착방법에 따른 시간 경과별 방어의 total protein(좌)와 total cholesterol(우) 농도 변화 (Control: 비부착구, Single anchor: 단일 anchor, Dual anchor: 복수 anchor, Silicon tube: 실리콘 튜브). 동일 날짜에 서로 다른 문자를 가진 값(평균±SE, n=3)은 유의하게 다름(P<0.05)

• 바이오로거 dummy mrPAT 부착 방법별 시간 경과에 따른 방어의 혈액 내 cortisol과 superoxide dismutase 농도 변화를 그림 53에 나타내었음. Cortisol의 경우 대조구와 SA, DA 및 ST 실험구의 1일째는 실험구 사이에는 유의한 사이에는 차이가 없었음(P>0.05). 부착 7일, 28일째 모두 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음.

• 혈액 내 superoxide dismutase 농도의 경우 대조구와 SA, DA 및 ST 실험구의 1일째는 실험구 사이에는 유의한 사이에는 차이가 없었음(P>0.05). 부착 7일, 28일째 모두 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었음.

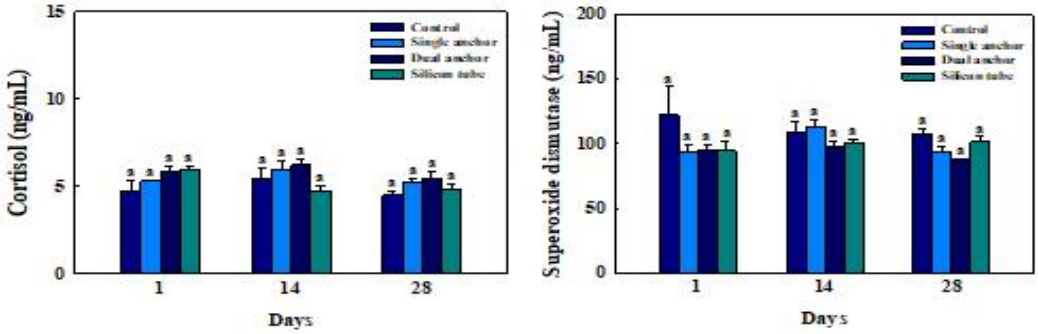


그림 54 바이오로거 dummy mrPAT 부착방법에 따른 시간 경과별 방어의 cortisol(좌)와 superoxide dismutase(우) 농도 변화 (Control: 비부착구, Single anchor: 단일 anchor, Dual anchor: 복수 anchor, Silicon tube: 실리콘 튜브). 동일 날짜에 서로 다른 문자를 가진 값(평균±SE, n=3)은 유의하게 다름(P<0.05)

• Tag 이식 방법이 대상 어류의 혈액학적 및 생리학적 지표에 미치는 영향 분석 시, tagging 방법뿐만 아니라 마취 및 포획(catch) 역시 스트레스 요인으로 작용하기 때문에 이의 영향 역시 고려 대상으로 보고하고 있어 향후 이에 관한 연구가 필요함.
• 방어 체외 PSAT 부착방법에 따른 dummy mrPAT의 부착효율을 표 4에 나타내었음. 부착 1일째의 경우 모든 부착구에서 tag가 탈락하지 않았지만, 부착 14일째의 경우 SA 부착구와 DA 부착구 모두 탈락하여 0%의 부착효율을 보였고, ST 부착구는 100% 부착효율을 보임. 부착 28일째의 경우 ST 부착구에서 1개가 탈락하여 66.7%의 부착효율로 세 가지 부착방법 중 ST 부착구가 가장 효율적인 것으로 나타났음.
• 이와 같은 결과는 실리콘 튜브가 방어 등근육 부분에 고정되고, 튜브 내 공간 내로 이어진 monofilament에 의해 tag가 연결되면서 방어의 유영에 의한 부착 부위 근육 손상이 다른 방법에 비해 영향이 상대적으로 감소하였기 때문으로 생각됨.
• PSAT와 같은 바이오로거는 어류에 부착 방류 후 어획, 폐사 및 이외의 다양한 이유로 인해 프로그램된 pop-up 기간 이전에 자료의 회수가 이루어질 수 가능성은 항상 존재하지만, 본 연구에서 나타난 바와 같이 대상 생물별 최적 부착방안에 대한 conditioning 연구개발을 통해 바이오로거의 활용의 극대화가 지속적으로 필요할 것으로 생각됨.

표 5 바이오로거 dummy mrPAT 부착방법에 따른 시간 경과별 방어의 체외 부착효율

부착방법	부착효율(%)*		
	1일째	14일째	28일째
단일 anchor	100.0±0.0^{a}	0.0±0.0^{a}	
복수 anchor	100.0±0.0^{a}	0.0±0.0^{a}	
실리콘튜브	100.0±0.0^{a}	100.0±0.0^{b}	66.7±33.3

*동일한 날짜에 서로 다른 위첨자를 가진 값(평균±표준편차, n=3)은 유의하게 다름(P<0.05)

• 단일 anchor, 복수 anchor 및 실리콘 튜브 부착방법에 따른 바이오로거 dummy mrPAT 부착 28일째의 방어 체외 표피 상태를 그림 54에 나타내었음. 부착구 단일 anchor와 복수 anchor의 경우 모두 등 근육 일부가 떨어져

나가 파였고, 방어의 유영으로 인해 부착된 dummy mrPAT의 등지느러미 뒷부분의 접촉에 따른 붉은 환부가 생성되는 현상을 보였음. 실리콘 튜브의 경우 실리콘 튜브 삽입 부위의 환부가 확대되고 SA 및 DA 부착구에서 나타난 접촉 환부가 관찰되었음.

- 바이오로거 부착 후, 시간 경과에 따라 부착 부위의 환부 확대 또는 일부 근육이 손실되는 현상은 PSAT의 부착 효율 감소 및 스트레스 원인으로 작용함.
- 이상의 결과에서 방어의 체외 부착을 위한 바이오로거 최적 부착방법은 실리콘 튜브를 활용한 방식으로 일부 혈액학적 지표에서 유의적인 증가가 있었지만, 체외 상처를 최소화하고 tag의 부착효율을 최대로 유지할 수 있어 향후 방어 자원의 양식 산업적 개발뿐만 아니라 향후 회유 경로 및 생태·생리학적 정보 수집 시 바이오로거 운용을 위한 기초 자료로 활용 가능함.

그림 55 바이오로거 dummy mrPAT 부착방법에 따른 부착 28일째 방어 체외 표피 상태 (A: 단일 anchor, B: 복수 anchor, C: 실리콘 튜브)

– 바이오로거 부착 방어의 실해역 tracking 연구

- 바이오로거 부착 방어의 방류를 통한 실해역 tracking monitoring을 위해 Wildlife Computers Inc.(WA, USA)에서 제작된 PSAT인 mini-PAT(그림 55)을 사용하여 방어의 위치를 추적하였으며 해당 tag는 내부에 조도, 수온, 수심 측정을 위한 wet/dry 센서 등이 포함되어 있어 위치뿐만 아니라 서식 수온 및 수심 측정이 가능함(표 5).

그림 56 방어 실해역 tracking monitoring을 위한 mini-PAT

표 6 mini-PAT의 주요 제원

Dimensions	127mm(length) × 28mm(dimeter)
Weight in Air	60g
Pressure Rating	2000m
Operating Frequency	401.678MHz
Operating Life	Up to two years
Sensors	Temperature, Tilt, Wet/Dry
Temperature	Range: -20℃ to 50℃ / Resolution: 0.05℃
Storage Temperature	5℃ Optimal
Communication	Via USB port using Wildlife Computers USB-Blue cable

- 앞서 도출된 최적 바이오로거 부착방법인 실리콘 튜브 방식을 적용한 방어 3마리(평균 체중 9.1±0.6kg, 평균 전장 92.5±2.6cm)를 통영 연안 해역(34°45.6675'N, 128°20.7950'E)에 2020년 10월 14일에 방류하여 tracking monitoring을 실시하였음(그림 56, 그림 57). 설정된 pop-up 기간은 방류 후 90일로 하였음.
- 바이오로거 부착은 방어 각 개체의 무게 측정 후 등지느러미 아래 등 근육에 실리콘 튜브를 삽입한 후 내부 공간으로 monofilament를 넣은 후 mini-PAT로 연결한 다음 준비된 선박의 어창으로 옮겨 방류 지점으로 이동하여 방류를 실시함. 무게 및 바이오로거 부착 시 2-phenoxyethanol(150mg/L)로 1분간 마취하여 스트레스를 최소화함.

그림 57 방어 실해역 tracking monitoring을 위한 mini-PAT 부착 모습 (2020.10.14)

그림 58 바이오로거 mini-PAT 부착 방어의 실해역 tracking monitoring을 위한 통영해역 방류 모습

- 통영해역에 2020년 10월 14일 방류한 방어 3마리 중 1마리를 제외한 2개 tag의 자료가 수신되었음(표 6). 수신된 자료는 argos 위성의 운영을 담당하고 있는 프랑스의 CLS에서 계산된 자료를 사용하였음.

표 7 바이오로거 부착 방어 mini-PAT의 pop-up 정보

No.	Tag ID.	Species	Release date	Date of pop-up	Days of data
1	198931	Yellowtail	2020-10-14	2020-10-24	11
2	198933	Yellowtail	2020-10-14	2021-01-02	81
3	198934	Yellowtail	2020-10-14	Failed	-

- 방류 방어 3마리 중 2마리의 자료 수신으로 방류 개체 대비 약 66.7%의 이동자료를 수신하였고, 설정된 pop-up 기간 90일 중 수신된 2 tag의 pop-up 기간은 11일과 81일로 pop-up 설정 대비 각각 12.2%와 90.0%로 높은 편차를 보였지만, 1개체의 경우 설정된 pop-up 기간에 거의 도달하였음.
- 이처럼 방류 개체의 tracking monitoring의 경우 방류 후 대상 생물의 폐사, 어획 및 이외의 다양한 원인으로 프로그램된 pop-up 기간 이전에 자료의 회수가 발생할 가능성이 큰 것으로 생각되며, 이의 보완을 위한 부착방법에 대한 지속적인 conditioning 연구뿐만 아니라 많은 수의 바이오로거 부착 개체 방류를 통한 그 위험성을 보완할 필요가 있음.
- 방어의 수평적 이동 경로는 tag ID. 198931의 경우 방류 후 11일(2020년 10월 14일부터 2020년 10월 24일) 동안 약 214.9km를 이동한 것으로 나타남. 방류 후 남동쪽 외해로 이동 후 대마도 쪽으로 이동한 다음 다시 우리나라 부산 연안으로 이동하는 경향을 보였음(그림 58). 이 기간의 서식 수온 범위는 17.9-22.4℃(평균 20.2±0.3℃)이었으며, 서식 수심 범위는 1-25m(평균 8.0±2.0 m)로 나타났음(단, 프랑스 CLS에서 분석한 자료 중 수심 –1m 및 0 m 서식 수심은 제외됨)(그림 59).

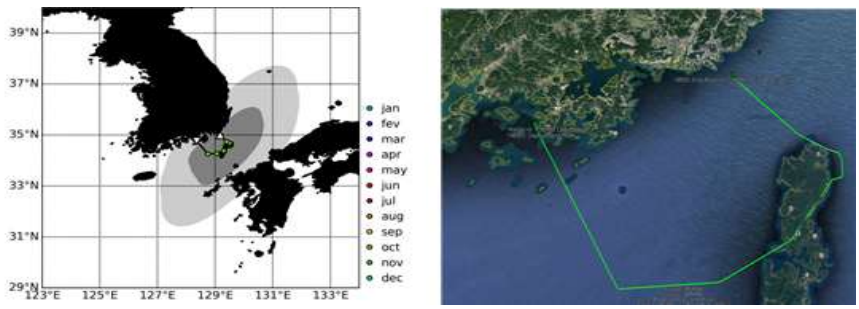


그림 59 방류한 방어(tag ID. 198931)의 2020년 10월 14일-2020년 10월 24일 기간 (11일) 동안의 수평적 이동 경로

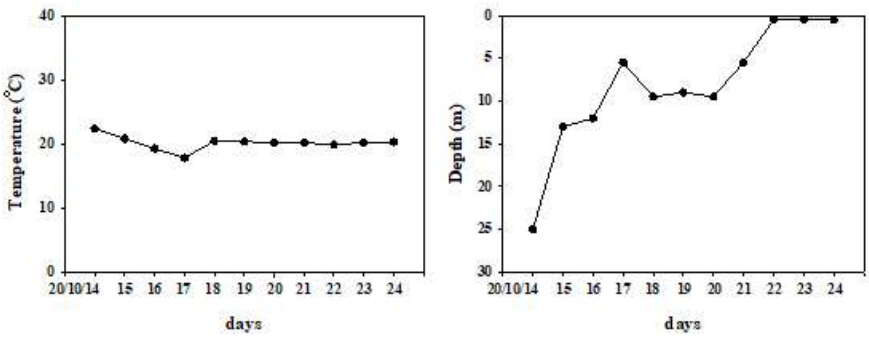


그림 60 방류한 방어(tag ID. 198931)의 2020년 10월 14일-2020년 10월 24일 기간 (11일) 동안의 서식 수온(좌) 및 서식 수심(우) 분포

• 방어의 수평적 이동 경로는 tag ID. 198933의 경우 방류 후 81일 (2020년 10월 14일부터 2021년 1월 2일) 동안 약 1177.8km를 이동한 것으로 나타남. Tag ID. 198931 개체와 마찬가지로 방류 후 남동쪽 대마도 쪽으로 이동한 다음 대한해협을 거쳐 울릉도 쪽으로 향하다 강릉 외해역까지 이동한 후 다시 내려와 포항 외해역을 거쳐 울진 외해역으로 이동하는 경향을 보여 이 기간에 우리나라 동해 외해역에서 서식하는 것으로 나타났음(그림 60). 이 기간에 서식 수온 범위는 10.8-17.8℃(평균 14.4±0.7℃)이었으며, 서식 수심 범위는 1-40m(평균 28.0±3.0m)로 나타났음(단, 프랑스 CLS에서 분석한 자료 중 수심 –1m 및 0m 서식 수심은 제외됨)(그림 61).

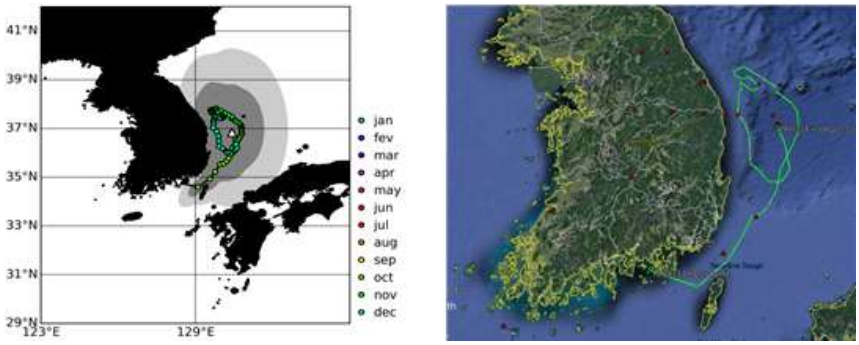


그림 61 방류한 방어(tag ID. 198933)의 2020년 10월 14일-2021년 1월 2일 기간 (81일) 동안의 수평적 이동 경로

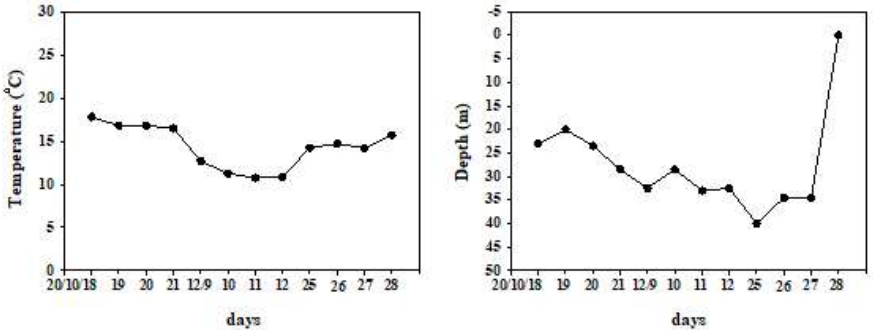


그림 62 방류한 방어(tag ID. 198931)의 2020년 10월 14일-2021년 1월 2일 기간 (81일) 동안의 서식 수온(좌) 및 서식 수심(우) 분포

• 이상의 결과에서 바이오로거를 부착한 뒤 통영 연안 지역에서 방류한 방어의 2010년 10월 14일부터 2021년 1월 2일까지 수평적 이동 경로는 초기 대마도로 지역으로 이동한 후 대한해협을 거쳐 최대 강릉 외해까지 이동한 다음 울진 지역을 포함한 동해 해역에서 서식하는 것으로 나타남. 또한 최대 수심 40m와 최저 수온 10.8℃까지 서식 분포를 보이는 것으로 나타남.
• 이와 같은 자료는 우리나라 방어 자원의 가을 및 초겨울 남해와 동해 연안 지역에서의 활동 범위를 예측할 수 있는 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 생각됨.
• 향후 바이오로거를 활용한 더 많은 수의 방어를 대상으로 계절별 또는 월별 방류를 통한 tracking monitoring을 지속해서 수행한다면 GIS(geographic information system) 기반의 생태학적 정보 축적뿐만 아니라 방어 자원 자체의 계군 분석, 기후 변화 및 다양한 해상활동 등으로 야기된 환경변화 반응 분석을 위한 과학적인 정보를 제공할 수 있음.
• 어류의 이동 경로의 정도와 실제 이용하고 있는 서식지 및 어류 개체군과의 연결성에 대한 정보는 효과적인 어업관리 및 보존을 위해 중요하지만, 정량화하기 매우 어려움.

- 어류 자어나 치어의 이동 관찰을 직접 수행한 연구가 있지만, 너무나 짧은 시간으로 인해 군집 구조와의 연결성을 파악하기 어려워 tag 또는 mark 등의 활용이 필요함.
- Mark는 일반적으로 외부, 내부 또는 대상 생물의 외피에 인식 목적으로 사용되지만, tag의 경우 특정 식별 정보를 포함하며 외부 또는 내부에 부착될 수 있음.
- Tag의 성공적인 활용을 위해서는 tag 개체의 식별이 가능해야 하며, 일정 시간 tag를 유지하고 군집 내 미부착 다른 개체와의 행동, 성장 및 생존과 다르지 않아야 함. 또한, tag가 적용된 개체의 생존, 행동 및 성장에 영향을 주지 않으며 다른 포식자에 취약하지 않아야만 개체군 연구에 활용할 수 있음.
- PSAT와 electric tag는 위치 추정을 위한 조도, 수심 파악을 위한 압력 센서 및 온도 센서를 포함하고 있어 다양한 정보를 장기간 획득할 수 있고 다시 tag 개체를 재포획할 필요가 없는 장점이 있지만, 고가이며 프로그램된 pop-up 기간을 충족하지 못한 채 자료 수집이 이루어지는 단점이 있음. 하지만 이와 같은 PSAT는 해양 생태계 내에서 자유롭게 행동하는 어류의 움직임과 행동을 연구할 수 있음.
- 성장과 생존 및 번식에 영향을 미치는 먹이활동을 통한 어류 생태학 연구, 생태계 역학 모델 구축을 위한 핵심 매개 변수 파악 등에 중요한 역할 수행. 특히, 해양 생태계 내 특정 지역의 먹이 부족 현상은 포식자의 이동을 유발할 수 있어 포식성 해양 어류의 이동, 서식지 이용 메커니즘을 파악하는데 중요한 인자를 제공함. 따라서 PSAT 활용을 통한 계절별, 연간 또는 설정된 시간 일정에 따른 섭식 행동 모니터링자료를 얻을 수 있음.
- 많은 어종의 산란 위치와 시기를 이해하는 것은 어류 군집 구조의 정체성과 역학 구조를 이해하는데 주요한 인자임. 특히 산란 이벤트와 관련된 수직 이동 및 분포에 대한 정보는 산란장에서 성어를 보호하기 위한 관리 조치의 효과를 예측하는데 매우 중요함. 또한, 산란 시기의 최적 산란온도에 대한 자료는 기후 변화에 따른 생물 영향을 파악하는데 매우 중요함. 해양 생태계 내에서 발생하는 다양한 어류의 군집 구조, dynamic 및 번식 메카니즘을 이해하기 위한 중요한 매개 변수를 파악하는데 PSAT는 주요한 역할 수행.
- 다수의 개체에 적용한 PSAT 활용 정보, 즉 대상 어종의 지리적 위치, 공간 이동, 수직 이동 패턴에 대한 정보와 산란과 같은 특정 유형의 정보와 결합함으로써 산란 등과 이의 발생하는 지역 즉, 산란지역 등을 식별하고 환경 간의 상호작용을 더 깊이 이해함으로써 해당 어류 군집 구조를 파악하는 데 중요한 역할 수행.
- 이외에도 어류에 관한 추적 연구에서 가장 중요한 것은 어류의 움직임과 행동을 정량화하는 것으로, 어류 활동에 따른 에너지 수지 등 생태계 내 어류 행동 및 유영 활동에 대한 정량화 등에 PSAT 활용할 수 있음.

대상어종(방어)에 바이오로거를 부착하여 추적 모니터링을 실시함.

○ 장기간 바이오로깅 관측 및 운용 방안

- IPCC(IPCC, 2014: Climate Change 2014)의 보고에 따르면 온실가스 배출이 계속됨에 따라 온난화 현상이 더욱 심화 되고 기후 시스템을 이루는 모든 구성요소는 장기적으로 변화하여, 결과적으로 생태계에 심각하고 광범위한 영향을 미칠 것으로 예측함. 해양에서는 온난화와 산성화가 지속할 것이며, 특히 열대 및 북반구 아열대 지역의 해양 표면에서 온난화가 가장 강하게 나타날 것으로 전망하고 있음.
- 또한, 지구 평균 해수면 상승은 21세기에 지속할 것이며, 1971년에서 2010년 사이 관측된 수준보다 더욱 빠른 속도로 진행될 가능성이 매우 크며, 1986년에서 2005년 사이와 비교하여 2081년에서 2100년 사이의 해수면 상승 범위는 여러 모델에서 최소 0.26m에서 최대 0.82m까지 상승할 것으로 예측되며, 21세기 말까지 해양 면적의 약 95% 이상에서 해수면 상승이 나타나고, 전 세계 해안선의 약 70%에서 해수면 상승은 지구 평균의 20% 이내에서 나타날 가능성이 매우 큰 것으로 전망됨(IPCC, 2014: Climate Change 2014).
- 이와 같은 기후 변화는 전 지구적으로 해양종이 재분포되고 기후 변화에 민감하게 반응하는 지역에서는 해양의 생물 다양성이 감소하여, 해양의 어업 생산성 및 기타 생태계 서비스가 지속하기 어려울 전망임(그림 62, 출처:

IPCC, 2014: Climate Change 2014).

- 기후 변화는 해양 어류, 무척추동물, 식물플랑크톤의 수량 및 분포 범위에 영향을 미쳤으며, 극방향 또는 심해의 한랭한 해수 쪽으로 이동하는 경향을 나타냄.
- 이처럼 기후 변화는 장기간에 걸쳐 발생하며 이에 따른 해양생물의 반응 패턴의 경우 바이오로깅을 활용한 관측 기술을 통해 장기간 행동 반응을 모니터링 할 수 있음. 특히 pop-up satellite archival tag(PSAT)와 같은 바이오로거는 위성을 활용한 원격 측정 장비로서 해양 어류의 수평·수직 행동 반응, 서식지 이동, 폐사, 군집 및 먹이 반응 등을 장기간 모니터링이 가능하므로 전 지구적 기후 변화에 따른 장기적 모니터링뿐만 아니라 특정 지역에 국부적으로 발생하는 기후 변화 또는 해양 생태계 변화에 따른 중장기적 모니터링에도 운용할 수 있음.
- 특히, 우리나라 주요 수산 어종 또는 기후 변화로 인해 새로이 가입되거나 어획량이 증가하고 있는 주요 종에 대한 지속적인 모니터링이 필요하며, 이에 이와 같은 바이오로거의 활용을 통한 과학적인 자료 축적 및 대응 전략 수립이 요구됨.
- 그 예로, 근래 우리나라로 유입량이 증가하고 있고 세계적으로 주요 수산 어종인 다랑어류의 주 포획 어장 또는 주 산란장(그림 63)에 대한 정보에 대한 과학적인 근거 제시를 할 수 있으며, 장기간 모니터링을 통해 이동 경로, 서식 수심 등 다양한 생태 정보를 기반으로 한 주 회유 경로 파악을 할 수 있음.
- 이 밖에도 세계적 멸종 위기종에 대한 생태학적 정보 파악을 위해 장기간 모니터링이 가능한 바이오로거를 활용한 회유 경로, 서식 수심 등 다양한 서식 정보를 수집·보고하고 있어 바이오로거를 활용한 국가간 공동연구 등을 통한 운용 방안 등도 고려해야 함(그림 64).
- 그 예로, 멸종 위기 종인 Basking shark(*Cetorhinus maximus*)를 대상으로 PSAT를 활용해 2004년~2011년 기간의 북서대서양 지역에서 모니터링한 결과 17,000km를 이동 경로(Braun et al., 2018)를 파악하는 등 다양한 해양생물에 대한 장기적 생태 정보를 수집하고 있어 향후 우리나라에서도 다양한 해양생물에 대한 장기간 모니터링 및 운용 방안을 구축하여 이에 대한 체계적 DB화가 요구됨.
- 현재 세계적으로 이루어지고 있는 해양생물자원에 대한 바이오로거 활용 생태 정보 수집의 연구 동향을 볼 때, 장기적이고 넓은 범위의 연구를 수행 중인 것을 알 수 있음. 따라서 이와 같은 장기적이면서도 연구 목적에 따라 국부적 또는 글로벌 수준의 연구 범위의 수준에서 해양생물자원에 대한 생태학적 모니터링 연구가 필요함.
- 이와 같은 관점에서 KIOST는 국내 본원을 포함한 지역 5개, 국외 6개 지역에 연구 거점(그림 65)을 확보하고 있어 장단기뿐만 아니라 국내 연안 지역과 대양 지역을 포함한 거시적 생태학적 정보를 수집하기 용이한 수월성을 확보하고 있어 향후 이와 같은 기관의 활용을 통한 장기적 프로젝트로 수행할 필요가 있음.
- 이와 아울러 국립수산과학원과 한국수산자원공단 및 해양·수산 관련 대학 등과의 연계를 통해 해양생물자원별 구체적이고 체계적인 연구 네트워크망 구성, 장기적 연구를 지속해서 수행함으로써 해양생물자원에 대한 국가적 관리 체계를 구축해야 함.

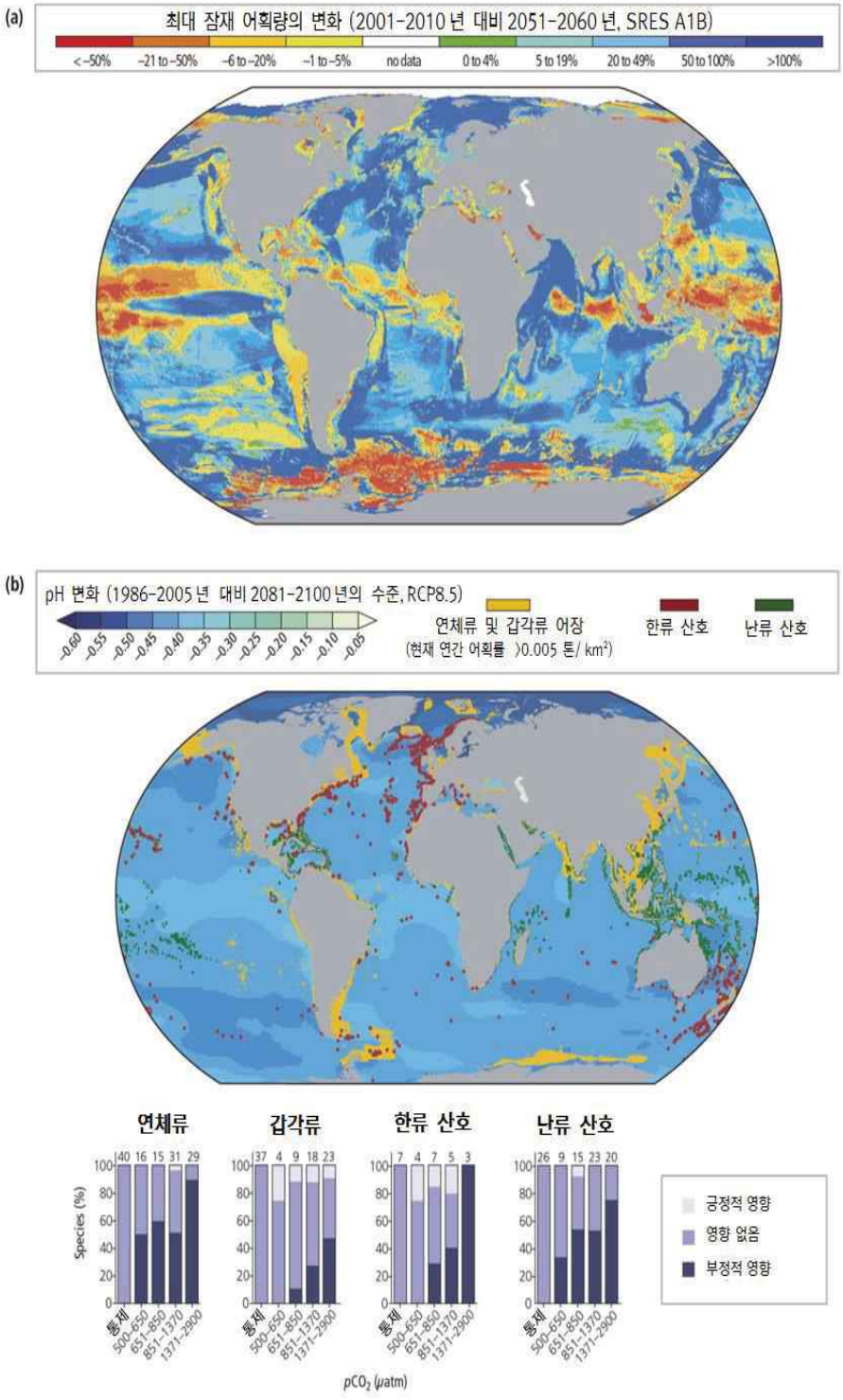


그림 63 수산업에 대한 기후 변화 위험. (a) 주요 포획 어류 및 무척추 동물 약 1,000종에 대한 최대 잠재 어획량의 전 지구적 재분포 전망. (b) 해양 연체류 및 갑각류 어장(현재 연간 어획률≥0.005톤 ㎢)과 난류 및 한류 산호의 서식지로 알려진 지역(출처: IPCC, 2014: Climate Change 2014)

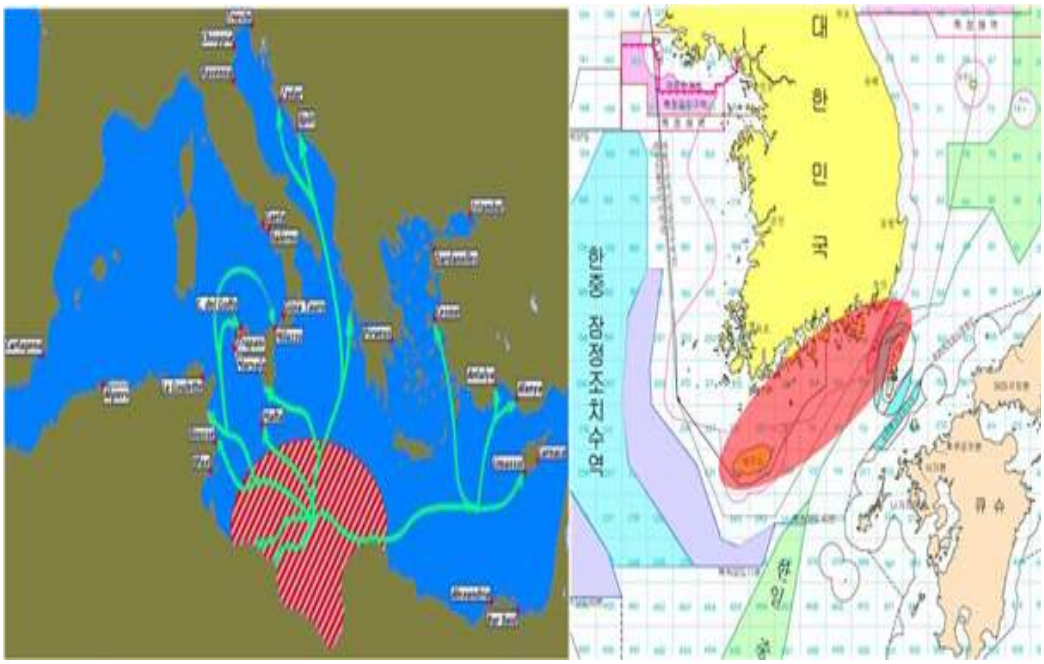


그림 64 지중해 연안의 북방참다랑어 산란지(좌) 및 우리나라 참다랑어 주 포획 어장(우)(출처: 경상북도 2010)

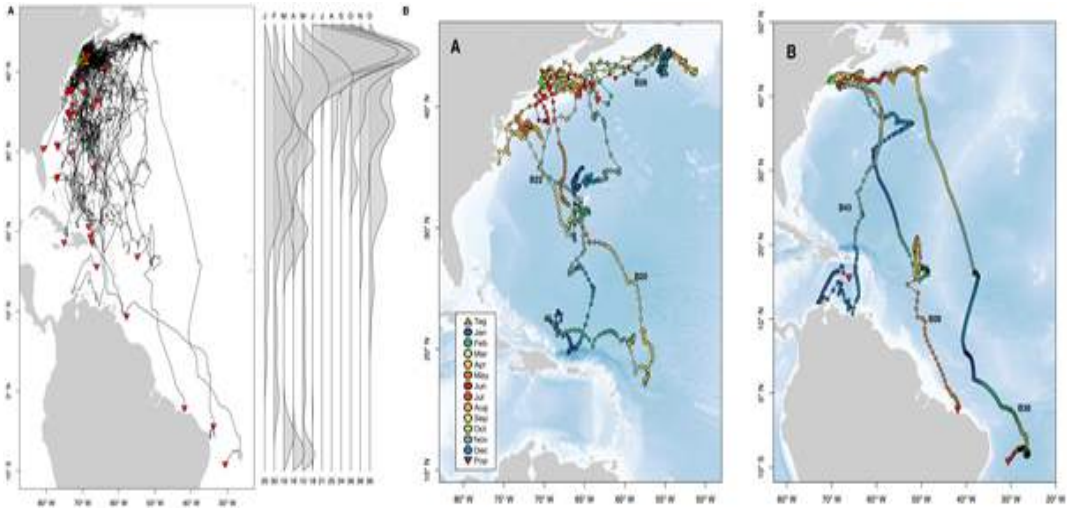


그림 65 2004~2011년 기간 37개의 바이오로거를 활용한 Basking shark의 회유 정보(출처: Braun et al., 2018)

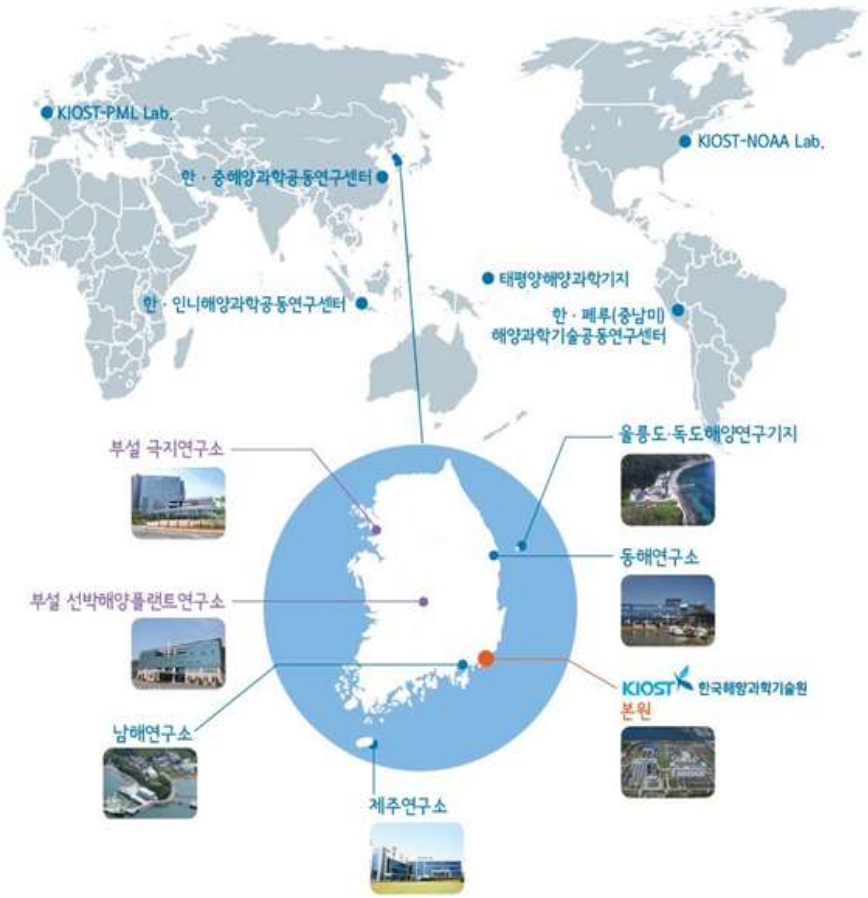


그림 66 한국해양과학기술원 연구거점

기후 변화에 대비하기 위하여 바이오로깅을 이용하여 장기간 관측 및 운용 방안을 구축하여하 함.

○ **바이오로거 정보기반 다중 개체간 상호 관계 및 사회성 분석 가능성 검토**

– 세부과제에서 획득한 재갈매기와 고방오리 자료에서 `개체` 자료와 `개체군` 자료를 비교한 결과는 아래와 같음.

표 8 재갈매기와 고방오리 자료에서 `개체` 자료와 `개체군` 자료를 비교한 결과

연 구 내 용	연 구 결 과
국내 월동지에서 포획한 재갈매기와 러시아 번식지에서 포획한 재갈매기의 이동 경로 비교	• 재갈매기 서식지 이용 • 재갈매기 이동 경로 • 번식지와 월동지 개체들의 이동 경로 비교
국내 월동지에서 포획한 고방오리의 이동 경로	• 고방오리 서식지 이용 • 고방오리 이동 경로
국내 사육 시설에 서식 중인 참물범의 움직임 관측	• 압력 센서를 활용한 움직임 분류

– 재갈매기 성체(adults)와 아성체(sub-adults) 이동 경로 비교(그림 61)

- 대표적인 재갈매기 월동지인 부산, 영덕, 삼척 등지에서 재갈매기 37개체를 포획한 정보와 러시아 재갈매기 번식지에서 9개체를 포획한 정보를 취합.
- 2017년 10월 11일~2021년 3월 6일 겨울철 이동 경로를 추적함.
- 성체 28개체 가운데 성체 1개체는 중국 해안 지역을 다녀왔으며, 성체 8개체는 한국뿐 아니라 일본 해안에 걸쳐 비행하며 월동을 하였음.
- 아성체 18개체 가운데 1개체가 일본 해안에서 월동하였음.
- 겨울철 서식지 이용 방식은 개체의 나이에 따른 차이가 있을 것으로 예상함.
- 성체와 아성체는 겨울철 행동양식에서 차이가 있었음.
- 성체들은 아성체에 비해서 더 다양한 활동영역을 가지고, 더 많은 활동성을 보였으며, 좀 더 비슷한 시기에 번식지로의 이주를 시작하였음.

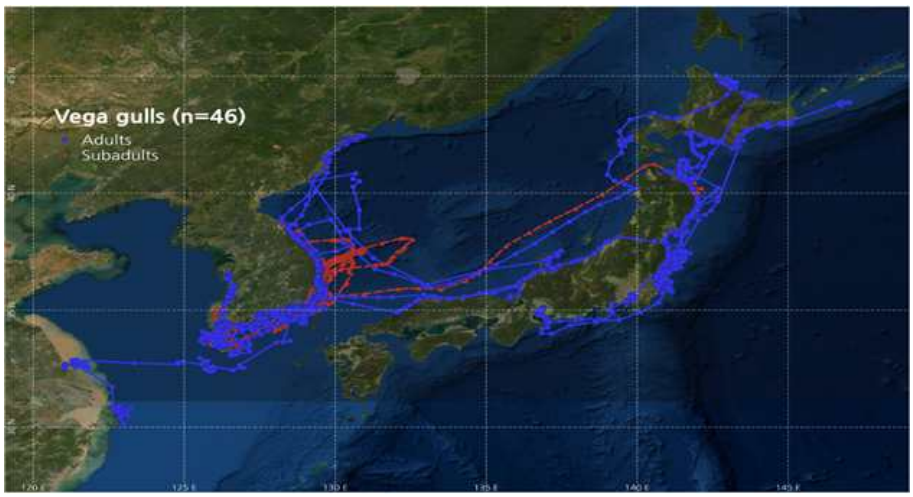


그림 67 한국 연안에서 겨울철을 보내는 재갈매기 46개체의 이동 경로(2017년 10월 11일~2021년 3월 6일)

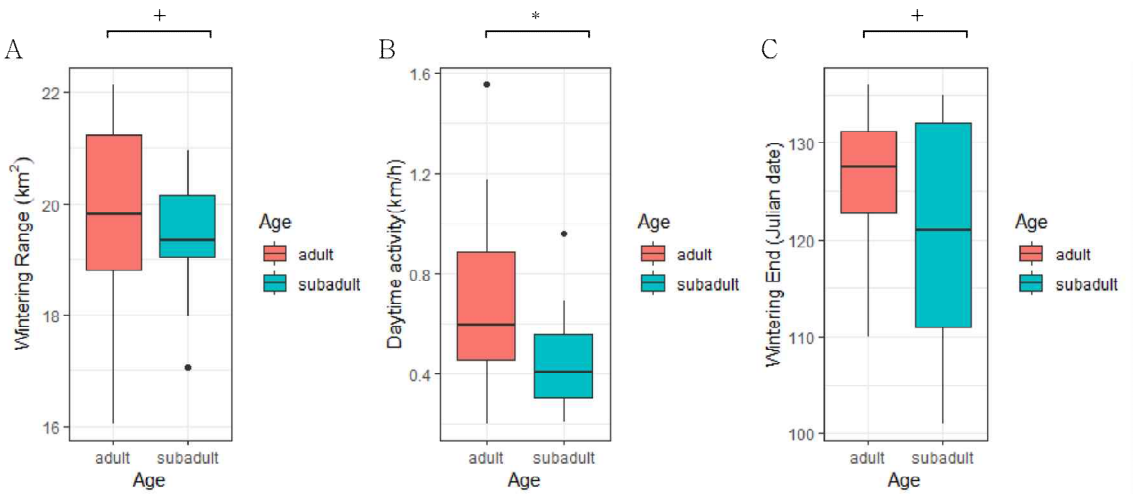


그림 68 연령에 따른 겨울철 행동양식

표 9 재갈매기의 연령에 따른 행동 정보

Tracker ID	Age	Wintering End	Wintering Range (km^2)	Daytime activity (km/day)
ke1512_winter	adult	2015-05-02	-	-
ke1515_winter	adult	2015-05-10	-	-
ke1514_winter	adult	2015-05-12	-	-
ke1513_winter	adult	2015-05-16	-	-
vt15081_winter1	adult	2016-05-10	1935.263	1.002
vt15079_winter1	adult	2016-05-12	161.272	0.620
vt16250_winter1	adult	2017-05-01	290.726	0.533
vt16251_winter	adult	2017-05-02	114.555	0.288
vt16247_winter1	adult	2017-05-05	575.145	0.343
vt16249_winter	adult	2017-05-06	2895.683	0.911
vt15081_winter2	adult	2017-05-08	1597.724	0.611
vt16254_winter	adult	2017-05-15	702.935	0.699
vt16252_winter2	adult	2018-04-20	233.164	0.576
vt16247_winter2	adult	2018-05-03	16.919	0.199
bpn1723_winter	adult	2018-05-10	2964.259	0.390
vt16250_winter2	adult	2018-05-10	338.148	0.506
bpn1721_winter1	adult	2018-05-13	2157.766	1.173
vt16252_winter3	adult	2019-04-21	78.984	0.586
rcees1809_winter1	adult	2019-05-04	517.895	0.582
rcees1812_winter	adult	2019-05-04	950.696	0.879
bpn1721_winter2	adult	2019-05-07	4124.718	1.554
rcees1811_winter	adult	2019-05-15	3182.860	1.085
rcees1809_winter2	adult	2020-04-29	185.959	0.608
bpn1911_winter	adult	2020-05-09	-	-
bpn1721_winter3	adult	-	462.567	1.063
kopri1901_winter2	adult	-	9.220	0.403
kopri1906_winter2	adult	-	9.669	0.405
vt15079_winter2	adult	-	226.134	0.646
vt16250_winter3	adult	-	23.758	0.476
ke1511_winter	subadult	2015-05-04	-	-
vt16252_winter1	subadult	2017-04-11	578.261	0.958
vt16261_winter	subadult	2017-05-01	157.840	0.569
vt16260_winter	subadult	2017-05-13	545.788	0.691
ke1909_winter	subadult	2019-05-01	294.231	0.528
ke1910_winter	subadult	2019-05-12	1260.477	0.461

kopri1902_winter	subadult	2020-04-19	248.452	0.202
kopri1903_winter	subadult	2020-04-20	63.622	0.300
kopri1906_winter	subadult	2020-04-20	166.330	0.405
kopri1901_winter	subadult	2020-04-24	217.583	0.403
kopri1905_winter	subadult	2020-04-24	206.308	0.548
kopri1907_winter	subadult	2020-05-13	1046.785	0.632
kopri1909_winter	subadult	2020-05-14	396.277	0.301
kopri1902_winter2	subadult	-	1103.003	0.202
kopri1904_winter	subadult	-	251.315	0.301
kopri1909_winter2	subadult	-	25.230	0.301
vt15088_winter	?	2016-04-14	5112.404	0.577

– 고방오리 개체군 개체별 이동 경로 및 수컷(males)과 암컷(females) 비교(그림 62, 63)

- 대표적인 오리류 월동지인 부산 을숙도 하구에서 고방오리 10개체 포획 후 2020년 1월 15일부터 6월 7일까지 이동 경로 추적.
- 취식 및 수면이 주로 이뤄지는 지역은 을숙도 주변 반경 10km 이내임.
- 10개체 가운데 수컷 2개체는 북서쪽 약 60km 떨어진 산간 지역에서 머물다 돌아왔으며, 암컷 1개체는 서쪽 40km 떨어진 해안 지역을 다녀옴.
- 겨울철 서식지 이용 방식은 개체 변이 및 암수 간 차이가 있을 것으로 예상함.
- 고방오리는 통계적으로 유의한 결과는 얻지 못했으나 겨울철 수컷이 암컷에 비해서 더 넓은 행동영역과 많은 활동량을 가지는 것으로 보였음.

그림 69 부산 을숙도에서 포획한 고방오리 10개체의 이동 경로(2020년 1월 15일~6월 7일)

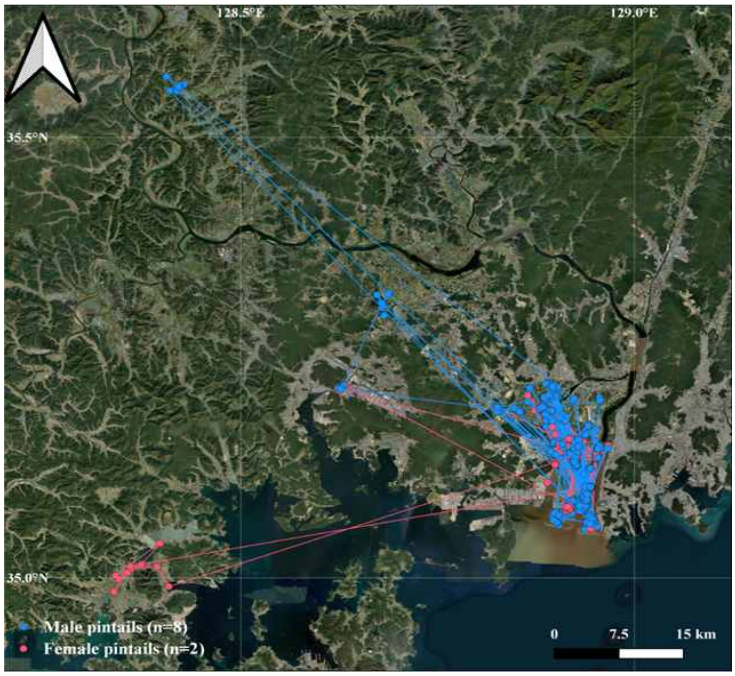


그림 70 부산 을숙도에서 포획한 고방오리 수컷 8개체와 암컷 2개체의 이동 경로 비교(2020년 1월 15일~6월 7일)

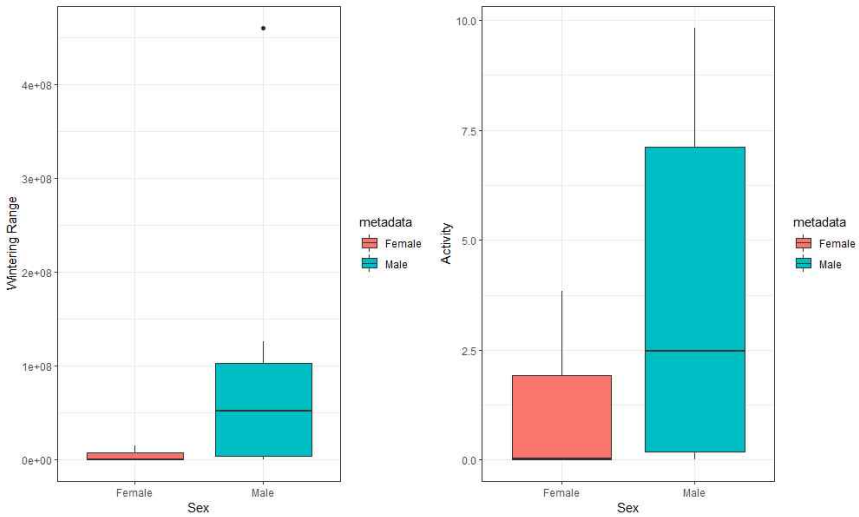


그림 71 성별에 따른 고방오리의 행동양식 차이

– 쇠기러기 개체군 개체별 이동 경로 및 수컷(males)과 암컷(females) 비교

- 대표적인 쇠기러기 월동지인 김포시 한강 하구에서 쇠기러기 10개체 포획 후 2021년 2월 19일부터 5월 30일까지 이동 경로 추적.
- 취식 및 수면이 주로 이뤄지는 지역은 주로 경작지임.
- 겨울철 서식지 이용 방식은 개체 변이 및 암수 간 차이가 있을 것으로 예상함.
- 쇠기러기는 통계적으로 유의한 결과는 얻지 못했으나 겨울철 수컷이 암컷에 비해서 더 좁은 행동영역을 가짐에도 불구하고 더 많은 활동량을 가지는 것으로 보였음.

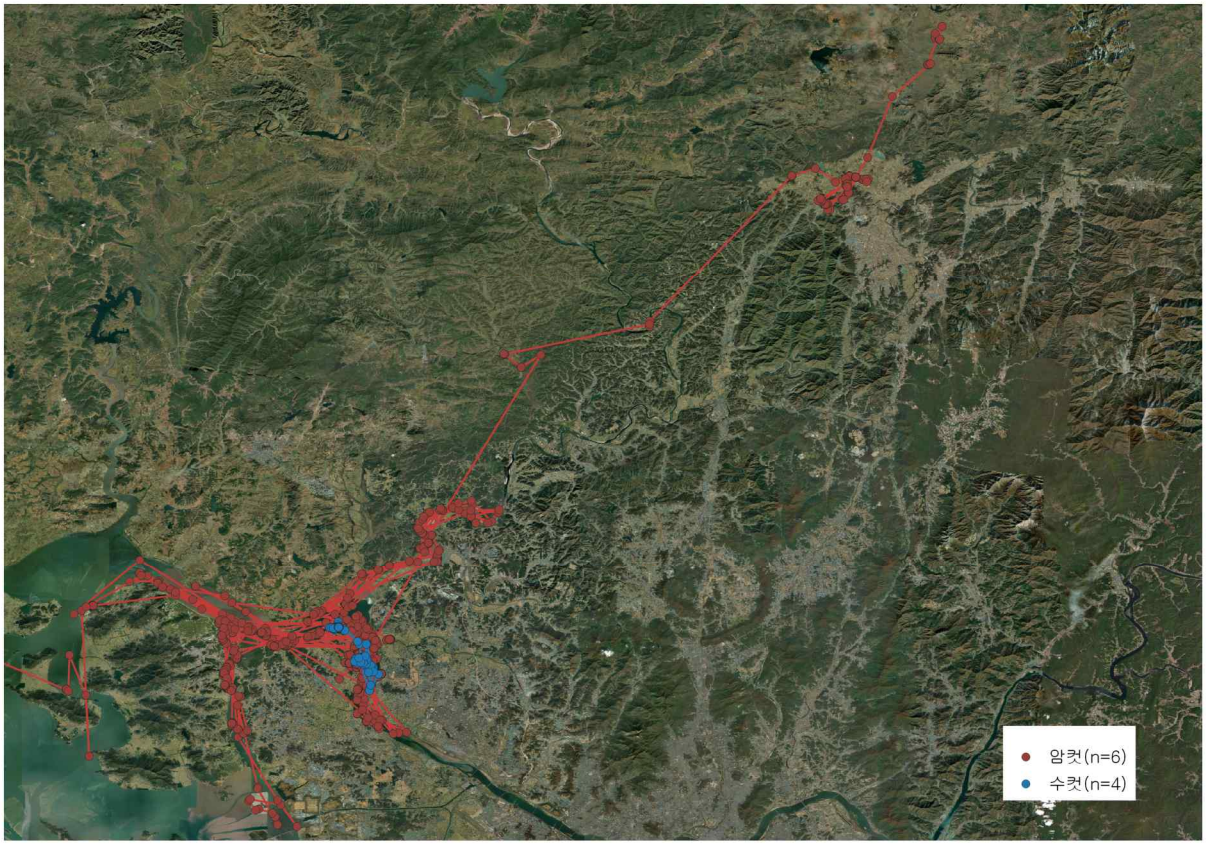


그림 72 쇠기러기의 이동경로 (2021년 2월 19일 ~ 2021년 5월 30일)

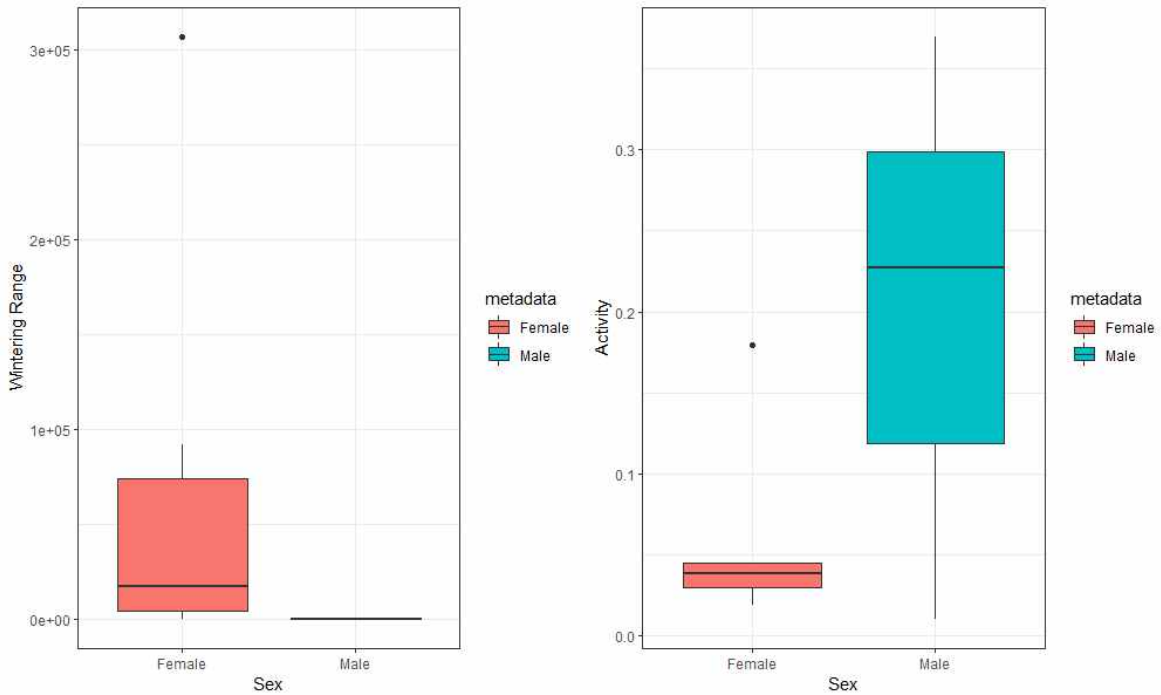


그림 73 성별에 따른 쇠기러기의 행동양식

– GPS 바이오로거를 활용한 해양조류 이동자료의 개체별 비교

• 개체의 나이(성체vs.아성체) 및 성별(수컷vs.암컷)에 따라 이동 범위에 차이가 있을 것으로 예상함.

• GPS 위치 자료를 기준으로 볼 때 '개체 간 변이'가 크며, '나이' 및 '성별' 자료에 따라 그룹이 나뉘는 것을 확인할 수 있음.

• 따라서 개체 하나의 자료만 가지고 전체를 파악하기 힘들다고 말할 수 있으며, 개체 정보에 따라 그룹 간 비교를 통해 자료를 분석하는 것이 필수인 것으로 판단.

개체의 특성(나이, 성별)에 따라 행동양식에 차이가 있음을 확인

○ **바이오로깅 획득 정보의 분야별 활용 방안 도출**

– 바이오로깅은 해양동물과 환경을 관측하기 위한 강력한 도구임

• 동물의 습성, 거주지역의 넓이, 습관, 생리학 정보, 장기간에 걸친 이동과 이주 경로, 생물적/비생물적 요소에 기인한 개체수와 분포에 대한 현황 및 잠재성과 연관된 생태학적으로 중요한 정보를 제공하며, 생태학적 인자들은 해양과 생태계 변화에 대한 정보를 제공

• 동물부착 센서를 통한 비생물적 정보 획득은 데이터를 얻기 어려운 지역에 대한 센싱 도구로써 해양물리학자들에게 활용

• 예를 들어, 바이오로깅 정보를 해양 순환 모델에 동화시킴으로써 주요 해양 모델의 결과를 현저히 향상시키는 것이 가능

– 바이오로깅은 동물의 이동에 의존하므로 인공적인 관측시스템 대비 데이터의 수집 범위가 지역적/시간적으로 제약되지만, 방대한 데이터 수집이 가능하므로 해양환경 이해에 유용함

– 분야별 활용 방안

• 바이오로거 상용화 제품을 활용하여 환경변화에 따른 유용어류자원의 이동, 서식처, 산란장 등을 파악할 수 있고, 이를 통해 유용어류자원의 보존, 관리 및 개발을 위한 기반 자료로 활용

• 국내·외 바이오로깅 연구의 활성화를 이끌 수 있으며, 바이오로깅 기술에서 축적된 데이터를 통하여 동물 서식환경의 기초자료로 제공 가능

• 해양에서의 환경변화를 보다 신속하게 탐지하고 적시에 예측하는데 필요한 자료와 정보를 제공

• 이제까지 구현되지 못했던 생물, 화학 등 환경관련 항목의 적시 실시간 관측을 실현함으로써 연안오염과 생태계 변화의 추세를 정확하게 파악하여 피해 저감

• 해양환경관측센서, 관측 플랫폼, 빅데이터 활용기술, 정보서비스 기술 등 해양관측망 분야에서 지식기반 해양산업을 육성함으로써 해양분야 창조경제의 성공사례 창출

• 해양환경 개선 및 생태계 건강성 증진으로 국민들의 안전한 먹거리 확보

• 해양 빅데이터의 구축 및 인공지능을 활용한 예측과 분석을 통해 해양환경분야의 현안문제 해결을 위한 의사결정 도구 제공

– 분야별 바이오로거 활용 가능 과제 리스트

표 10 바이오로거 활용 과제 리스트

번호	과제명
1	회귀성 어류의 이동루트 확인을 이용한 바다 환경변화 맵 작성(수온 및 밀도)
2	어류의 바이어 로거를 이용한 해양 환경 변화에 따른 섭생 분포도 파악
3	어류의 이동 루트에 따른 해수 미세 플라스틱 체내 축적율 분석
4	국내 자생 고래 (상괭이,귀신고래 등)의 생활환경 분석 및 고래 보존을 위한 자료 취득
5	동아시아 회귀어류의 이동에 따른 주변국(일본,중국)의 연근해 오염도 데이터 측정
6	국내 유해 조수(멧돼지,고라니 등)의 분포지역 파악 및 주거지역 환경 간섭 최소화 데이터 취득
7	국내 해양 자생종 구역환경 데이터 취득
8	야생화된 반려동물 관리를 위한 도시주변 습생 데이터 확득(떠돌이 개, 고양이 등)
9	야생동물의 연구에 있어서 단일개체 움직임 또는 집단 거동 연구에 있어 데이터 활용
10	철새 이동시 국가간 대기 오염도 데이터 획득

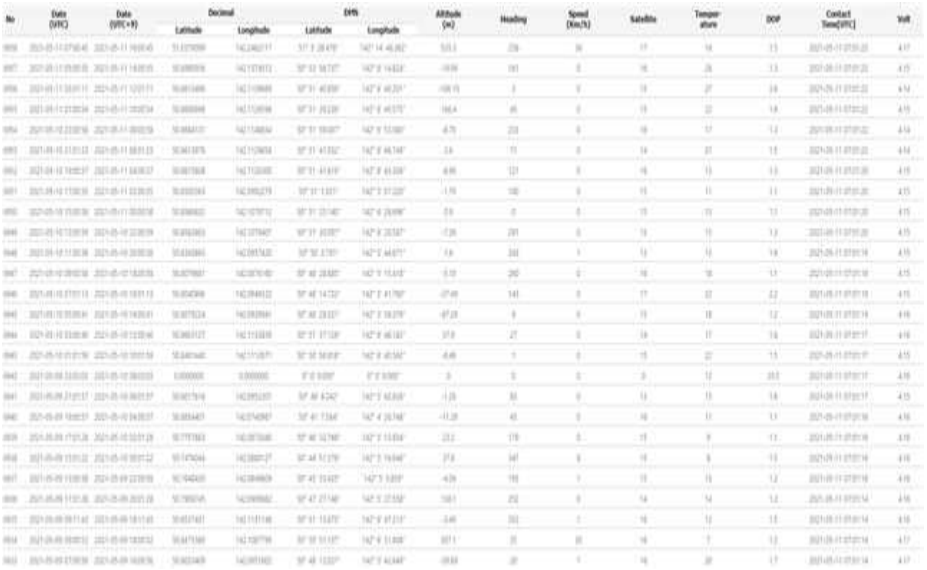
분야별 바이오로거 활용 가능 과제 10개 제시

○ **바이오로깅 기술을 활용한 연안 대형 생물종 시험 적용**

(1) 연안 생물종에 바이오로거 부착

– 재갈매기를 대상으로 진행된 포획 및 자료 획득

- 재갈매기는 몸길이 약 50cm, 무게 약 1kg 정도의 중형 갈매기로서 동아시아에서 겨울을 나는 대표적인 겨울 철새임.
- 잡식성으로 죽은 동물이나 바다새의 알, 물고기 등을 먹으며 서유럽에서 캐나다, 알래스카 지역의 해안에서 번식함.
- 한국에서는 동해안과 남해안 지역에서 무리 지어 겨울을 남.
- 연안 동물종 가운데 수가 많고 크기가 큰 조류종임.
- 2019년 10월~11월 동해안 기장, 영덕 등지 해안에서 재갈매기 9마리 포획함.
- 2021년 5월 현재까지 재갈매기의 이동 경로를 모니티링함.
- 이동 경로 자료는 날짜별 위치, 고도, 속도 자료가 매 2시간 간격으로 수집되어 전송하도록 설정되어 있음(그림 66).
- 재갈매기 포획 및 작업 순서는 아래 표 9와 같음.



No	Date (UTC)	Date (UTC+9)	Decimal		DMS		Altitude (m)	Heading	Speed (Km/h)	Satellite	Temperature	DOP	Contact Time(UTC)	Volt
			Latitude	Longitude	Latitude	Longitude								
959	2021-05-11 07:50:45	2021-05-11 16:50:45	37.2270599	142.2462177	37° 13' 38.616"	142° 14' 46.382"	103.3	226	36	17	14	2.5	2021-05-11 07:55:22	4.17
957	2021-05-11 05:50:35	2021-05-11 14:50:35	37.2269559	142.2472972	37° 13' 36.734"	142° 14' 50.629"	109.94	191	0	16	26	2.5	2021-05-11 07:55:22	4.15
956	2021-05-11 03:51:11	2021-05-11 12:51:11	37.2268889	142.2483889	37° 13' 36.800"	142° 14' 54.201"	108.15	3	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
955	2021-05-11 01:51:04	2021-05-11 10:51:04	37.2268889	142.2494722	37° 13' 36.800"	142° 14' 57.500"	108.4	191	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
954	2021-05-10 23:50:56	2021-05-11 08:50:56	37.2268611	142.2504444	37° 13' 36.700"	142° 15' 0.800"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
953	2021-05-10 21:51:23	2021-05-11 06:51:23	37.2268611	142.2514444	37° 13' 36.700"	142° 15' 4.000"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
952	2021-05-10 19:50:27	2021-05-11 04:50:27	37.2268611	142.2524444	37° 13' 36.700"	142° 15' 7.200"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
951	2021-05-10 17:50:33	2021-05-11 02:50:33	37.2268611	142.2534444	37° 13' 36.700"	142° 15' 10.400"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
950	2021-05-10 15:50:36	2021-05-11 00:50:36	37.2268611	142.2544444	37° 13' 36.700"	142° 15' 13.600"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
949	2021-05-10 13:50:39	2021-05-10 22:50:39	37.2268611	142.2554444	37° 13' 36.700"	142° 15' 16.800"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
948	2021-05-10 11:50:36	2021-05-10 20:50:36	37.2268611	142.2564444	37° 13' 36.700"	142° 15' 20.000"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
947	2021-05-10 09:50:36	2021-05-10 18:50:36	37.2268611	142.2574444	37° 13' 36.700"	142° 15' 23.200"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
946	2021-05-10 07:50:33	2021-05-10 16:50:33	37.2268611	142.2584444	37° 13' 36.700"	142° 15' 26.400"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
945	2021-05-10 05:50:33	2021-05-10 14:50:33	37.2268611	142.2594444	37° 13' 36.700"	142° 15' 29.600"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
944	2021-05-10 03:50:36	2021-05-10 12:50:36	37.2268611	142.2604444	37° 13' 36.700"	142° 15' 32.800"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
943	2021-05-10 01:51:56	2021-05-10 10:51:56	37.2268611	142.2614444	37° 13' 36.700"	142° 15' 36.000"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
942	2021-05-09 23:50:33	2021-05-10 08:50:33	37.2268611	142.2624444	37° 13' 36.700"	142° 15' 39.200"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
941	2021-05-09 21:51:17	2021-05-10 06:51:17	37.2268611	142.2634444	37° 13' 36.700"	142° 15' 42.400"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
940	2021-05-09 19:50:27	2021-05-10 04:50:27	37.2268611	142.2644444	37° 13' 36.700"	142° 15' 45.600"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
939	2021-05-09 17:51:28	2021-05-10 02:51:28	37.2268611	142.2654444	37° 13' 36.700"	142° 15' 48.800"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
938	2021-05-09 15:51:22	2021-05-10 00:51:22	37.2268611	142.2664444	37° 13' 36.700"	142° 15' 52.000"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
937	2021-05-09 13:50:18	2021-05-09 22:50:18	37.2268611	142.2674444	37° 13' 36.700"	142° 15' 55.200"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
936	2021-05-09 11:51:36	2021-05-09 20:51:36	37.2268611	142.2684444	37° 13' 36.700"	142° 15' 58.400"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
935	2021-05-09 09:51:42	2021-05-09 18:51:42	37.2268611	142.2694444	37° 13' 36.700"	142° 16' 1.600"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
934	2021-05-09 07:50:51	2021-05-09 16:50:51	37.2268611	142.2704444	37° 13' 36.700"	142° 16' 4.800"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14
933	2021-05-09 05:50:36	2021-05-09 14:50:36	37.2268611	142.2714444	37° 13' 36.700"	142° 16' 8.000"	108.75	193	0	19	27	2.6	2021-05-11 07:55:22	4.14

그림 74 2019년 10월 22일 기장에서 포획한 kopr1901 개체의 정보 송수신 자료의 예시

표 11 재갈매기를 대상으로 진행된 포획 작업 단계별 사진 및 주요 작업 내용

조류포획 단계별 사진	내용
 그림 75 2019년 11월 12일 강구항 재갈매기 포획지 전경	(1) 재갈매기 포획지 선정 • 재갈매기가 도래하는 대표 지역 가운데 경상북도 영덕군 강구항 해변을 선정 • 비교적 사람을 무서워하지 않기 때문에 휴식지 근처까지 접근 가능 • 조류가 사람에게 익숙해지도록 작업지 주변에서 먹이를 주면서 포획 예정 위치까지 유인

그림 76 그물 설치 및 먹이를 투여하는 연구원

(2) 그물 설치 및 먹이를 이용한 조류 유인

- 환경생태연구소와 협업을 통한 그물 설치 및 먹이 투여
- 먹이를 이용한 조류를 작업지 내로 유인

그림 77 그물에 포획된 재갈매기의 모습

(3) 재갈매기 포획 그물 발사

- 그물 반경 안에 조류가 들어오게 되면 공기가 압축된 포를 발사하여 그물을 몸 위에 씌우는 방식을 사용
- 대상종이 다치지 않게끔 신속히 그물에서 제거한 후 위치추적기 부착을 위한 작업 준비

그림 78 위치추적기 부착 전 개체별 정보 수집을 하는 연구원

(4) 개체 정보 수집

- 포획된 개체를 대상으로 개별 무게 측정
- 무게를 기준으로 건강한 개체를 선정하여 위치추적기 부착 예정

<table>
<tr>
<td>
그림 79 위치추적기 부착 작업중 작업자가 조류를 보정하고 있는 모습</td>
<td>(5) 바이오로거 부착
• 2인 1개 조로 작업을 진행하며 한 명은 조류가 움직이지 못하게 잡고 있고 다른 한 명이 위치추적기를 부착하는 방식으로 작업 진행
• 추적기가 너무 꽉 끼거나 헐렁하지 않도록 개체의 크기에 맞춰서 묶어주는 줄의 길이를 조절함</td>
</tr>
<tr>
<td>
그림 80 작업 후 방생한 재갈매기가 날아가는 모습</td>
<td>(6) 데이터 수신 확인 및 재갈매기 방사
• 위치추적용 바이오로거 WT-300 (KoECO Co., Weight: 22g, Dimensions 48×36×16mm (L×W×H), Internal Lithium-Ion 200mAh, Solar charging system, 12 hours interval, GPS-Mobile Phone based Telemetry System)
• 위치추적기로부터 위치정보 수신 확인
• 개체별 부착한 위치추적기 번호 확인
• 위치추적기를 부착 후 풀어줌
• 조류가 다치지 않고 잘 날아가는지를 확인</td>
</tr>
</table>

– 고방오리를 대상으로 진행된 포획

• 고방오리는 유라시아, 북아메리카에서 서식하는 철새임.

• 북반구 북부에서 번식하고 남쪽 지역으로 이동해 겨울을 나는 것으로 알려져 있음.

• 먹이로는 주로 곡류나 수초의 잎 또는 줄기를 먹고 한국에서는 주로 겨울에 무리를 지어서 월동함.

• 한반도에 도래하는 대표적인 겨울 철새임.

• 낙동강 하구 을숙도 지역에서 많은 숫자가 무리 지어 관찰됨.

• 2020년 1월 총 7개체를 포획하여 GPS를 배낭형태로 부착하였음(그림73).

• 고방오리를 포획하는 작업의 순서는 아래 표 10과 같음.

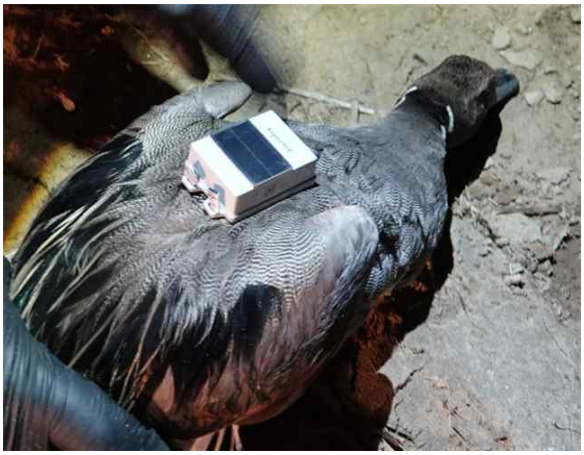


그림 81 2020년 1월 15일 을숙도에서 포획한 고방오리의 배낭 형태 바이오로거 (GPS) 부착 사진

표 12 고방오리를 대상으로 진행된 포획 작업 단계별 사진

조류포획 단계별 사진	내용
 그림 82 2020년 1월 10일 을숙도 고방오리 포획지 전경	(1) 고방오리 포획지 선정 • 고방오리가 도래하는 지역을 선정 • 사람에 대한 경계심이 예민하므로 미리 먹이를 살포하여 먹이에 대한 반응을 증가시킴 • 먹이를 살포한 후에는 작업지에서 멀리 떨어진 곳에서 대기하며 조류의 접근을 유도
 그림 83 그물에 연결된 공기 압축 발포용 장비	(2) 그물 설치 및 먹이를 이용한 조류 포획 • 재갈매기와 달리 무리 단위로 포획 가능 • 개체수가 많아 신속하게 그물에 연결된 공기 압축 발포용 장비를 발사하여 포획

<table>
<tr>
<td>
그림 84 그물망에 넣어 개별포획된 고방오리 암컷</td>
<td>(3) 고방오리 포획 및 개별 포획
• 한 개체씩 그물망에 넣어 무게 측정 및 성별 구분 작업 진행
• 개체수가 많아 무게가 많이 나가는 건강한 개체를 대상으로 위치추적기 부착</td>
</tr>
<tr>
<td>
그림 85 추적기 부착 작업을 위한 고방오리를 보관하는 텐트 속 모습</td>
<td>(4) 안정화 작업 및 작업대상 개체 선정
• 작업대상 조류를 제외한 나머지 개체들은 부상 당하지 않도록 텐트 속에 넣어둠
• 위치추적기 부착 시 개별 포획하여 작업 진행</td>
</tr>
<tr>
<td>
그림 86 개체 정보 수집 후 위치추적기 부착중인 고방오리</td>
<td>(5) 개체 정보 수집 및 위치추적기 부착
• 2인 1조로 개체 정보를 수집한 후 위치추적기를 부착함
• 개체의 크기에 맞춰서 끈의 길이를 조절</td>
</tr>
</table>

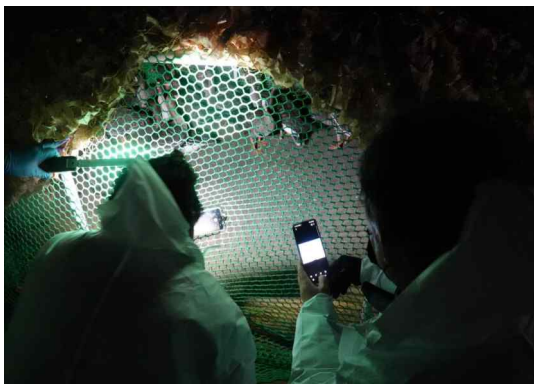
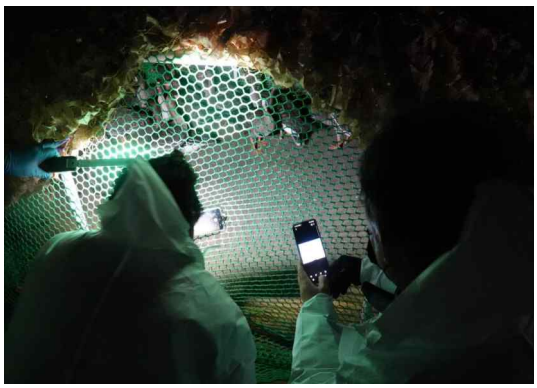
 그림 87 작업 후 땅에 고방오리를 놓아주는 모습	(6) 데이터 수신 확인 및 고방오리 방사 • 위치추적용 바이오로거 WT-300 (KoECO Co., Weight: 22g, Dimensions 48×36×16mm (L×W×H), Internal Lithium-Ion 200mAh, Solar charging system, 12 hours interval, GPS-Mobile Phone based Telemetry System) • 부착 작업이 끝난 조류를 한 마리씩 다치지 않고 잘 날아가는지 확인

– 쇠기러기를 대상으로 진행된 포획

• 쇠기러기는 몸길이 약 66-86cm, 무게 약 2kg가량의 겨울 철새임.
• 주로 큰 떼를 지어 논, 밭, 연못, 초원 등지에서 풀씨, 줄기, 싹 등을 섭식함.
• 북아메리카, 유라시아 대륙의 툰드라 지역에서 번식을 하고, 온대지역에서 월동함.
• 우리나라에서는 10월에 남하하여 겨울을 보낸 후 이듬해 3월에 번식지로 이동하는 것으로 알려져 있음.
• 2021년 2월 경기도 김포시 쇠기러기 서식지에서 10개체를 포획하여 배낭 형태의 GPS를 부착하였음.
• 쇠기러기의 단계별 포획 과정은 아래 표 11과 같음.

표 13 쇠기러기를 대상으로 진행된 포획 작업 단계별 사진

조류포획 단계별 사진	내용
 그림 88 2021년 2월 26일 김포 하성면 쇠기러기 포획지 전경	(1) 쇠기러기 포획지 선정 • 쇠기러기가 도래하는 지역을 선정 • 사람에 대한 경계심이 예민하므로 미리 먹이를 살포하여 먹이에 대한 반응을 증가시킴 • 먹이를 살포한 후에는 작업지에서 멀리 떨어진 곳에서 대기하며 조류의 접근을 유도

<table>
<tr>
<td>
그림 89 쇠기러기 포획 모습</td>
<td>(2) 그물 설치 및 먹이를 이용한 조류 포획
• 단체생활을 하는 쇠기러기의 특성상 무리 단위로 포획 가능
• 개체수가 많아 신속하게 그물에 연결된 공기 압축 발포용 장비를 발사하여 포획
• 포획된 개체는 그물에서 제거</td>
</tr>
<tr>
<td> 
그림 90 텐트에 보관되어 안정화 작업을 거치고 있는 쇠기러기</td>
<td>(3) 안정화 작업 및 작업대상 개체 선정
• 작업대상 조류를 제외한 나머지 개체들은 부상 당하지 않도록 텐트 속에 넣어둠
• 위치추적기 부착 시 개별 포획하여 작업 진행</td>
</tr>
<tr>
<td> 
그림 91 그물에 넣어 무게를 측정 중인 쇠기러기</td>
<td>(4) 선정된 개체를 대상으로 한 개체 정보 수집
• 그물에 넣어 무게 측정 후 분변/깃털 등 개체 정보 및 시료 획득</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr>
<td>
그림 92 개체정보 수집 후 위치추적기 부착 중인 쇠기러기</td>
<td>(5) 위치추적기 부착
• 개체 정보를 수집한 후, 2인 1조로 위치추적기 부착
• 개체의 크기에 맞춰서 끈의 길이를 조절
• 환경생태연구소의 WT-300 위치추적기 부착</td>
</tr>
<tr>
<td>
그림 93 작업 후 땅에 쇠기러기를 놓아주는 모습</td>
<td>(6) 데이터 수신 확인 및 쇠기러기 방사
• 위치추적용 바이오로거 WT-300 (KoECO Co., Weight: 22g, Dimensions 48×36×16mm (L×W×H), Internal Lithium-Ion 200mAh, Solar charging system, 12 hours interval, GPS-Mobile Phone based Telemetry System)
• 부착 작업이 끝난 조류를 한 마리씩 다치지 않고 잘 날아가는지 확인</td>
</tr>
</table>

(1) 데이터 관측 및 분석

– 재갈매기 GPS 자료의 개체별 비교 분석

• 재갈매기는 몸길이 약 50cm, 무게 약 1kg 정도의 중형 갈매기로서 동아시아에서 겨울을 나는 대표적인
• 대표적인 재갈매기 월동지인 부산, 영덕, 삼척 등지에서 재갈매기 37개체를 포획한 정보와 러시아 재갈매기 번식지에서 9개체를 포획한 정보를 취합.
• 2017년 10월 11일 ~ 2021년 3월 6일 겨울철 이동 경로를 추적함.
• 성체 28개체 가운데 성체 1개체는 중국 해안 지역을 다녀왔으며, 성체 8개체는 한국뿐 아니라 일본 해안에 걸쳐 비행하며 월동을 하였음.
• 아성체 18개체 가운데 1개체가 일본 해안에서 월동하였음.
• 겨울철 서식지 이용 방식은 개체의 나이에 따른 차이가 있을 것으로 예상함.
• 개체별 변이가 크게 나타나기 때문에 특정 개체의 정보를 개체의 나이(성체 vs. 아성체)에 따라 이동

범위에 차이가 있을 것으로 예상함.

– 재갈매기 성체(adults)와 아성체(sub-adults) 이동 경로 비교(그림 86)

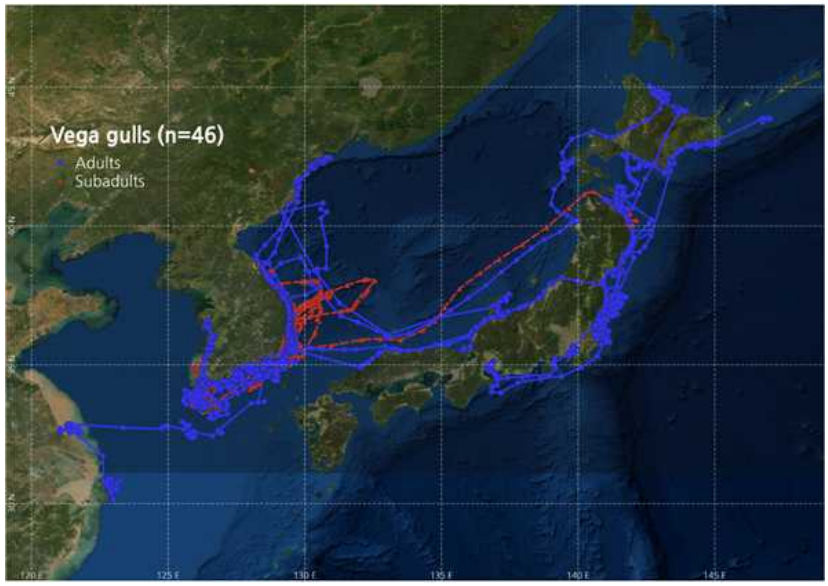


그림 94 한국 연안에서 겨울철을 보내는 재갈매기 46개체의 이동 경로(2017년 10월 11일~2021년 3월 6일)

– 겨울철 국내에서 부착한 조류의 이동 경로와 여름철 예상 번식지에서 얻어진 경로의 측정 효율 및 측정 수준 비교

- 2017년 10월부터 2021년 3월까지 바이오로깅을 통해 얻은 재갈매기의 위치 데이터를 기간과 위도를 기준으로 분석함.
- 재갈매기에 부착한 바이오로거가 인식한 위성의 개수는 평균 9개 이상으로 충분히 많은 위성이 위치 정보를 획득하기 위해 사용됨(그림 88, 표 12).
- 월동기간(10~4월)과 번식 기간 (6~8월) 동안의 위성 수를 비교하였을 때, 번식 기간에는 평균 11.5개 이상의 위성을 사용하였고, 월동기간에는 평균 10.6개 이하의 위성을 사용하여 월동기간의 위치정보의 정확도가 비교적 더 높은 것으로 나타남(ANOVA test, $p < 0.001$).
- 위도에 따른 위성의 개수를 살펴보면, 70° 이남에서는 위도가 높을수록 많은 위성이 위치를 기록하기 위해 사용되며, 특히 20°~30°에서는 바이오로거가 사용한 위성 개수가 평균 6개 정도로 위치정확도가 많이 떨어짐. 70° 이상의 극지에서는 위치를 찾기 위해 사용하는 위성의 개수가 평균 10.770개로 줄어들었음(그림 89, 표 13).
- 하루에 기록된 위치정보의 개수는 평균 10건 이상으로 10월~1월 1분위수가 12 이하로 줄어들었으며, 나머지 기간에는 75% 이상 12건 씩 위치정보를 획득하였음(표 14).

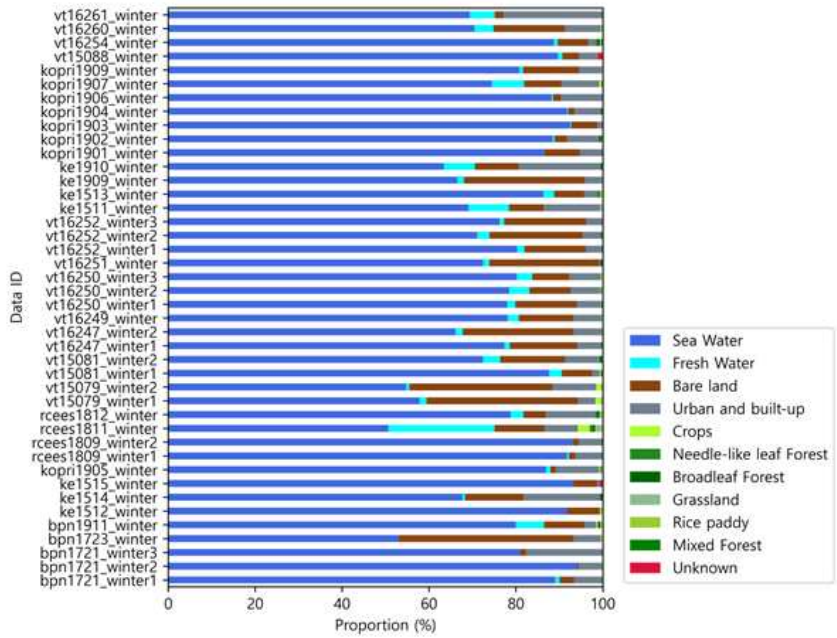


그림 95 재갈매기 개체별의 겨울철 서식지 이용

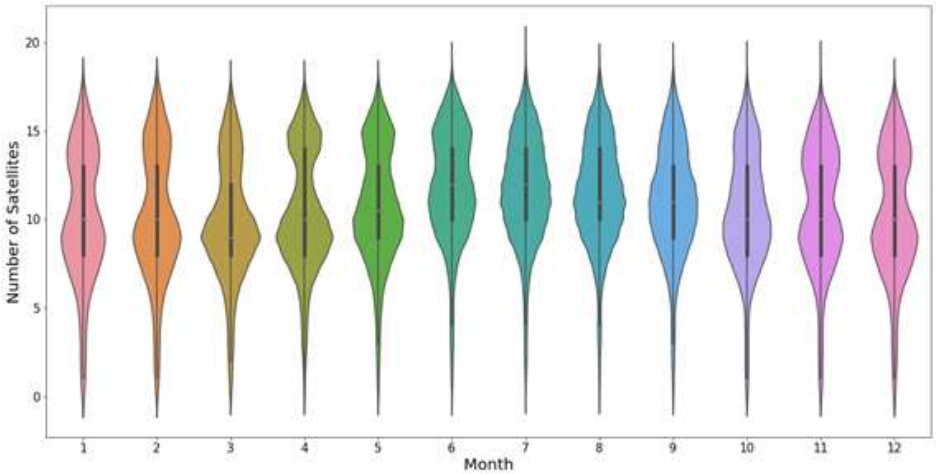


그림 96 월별 기록된 위치 데이터의 위성 개수

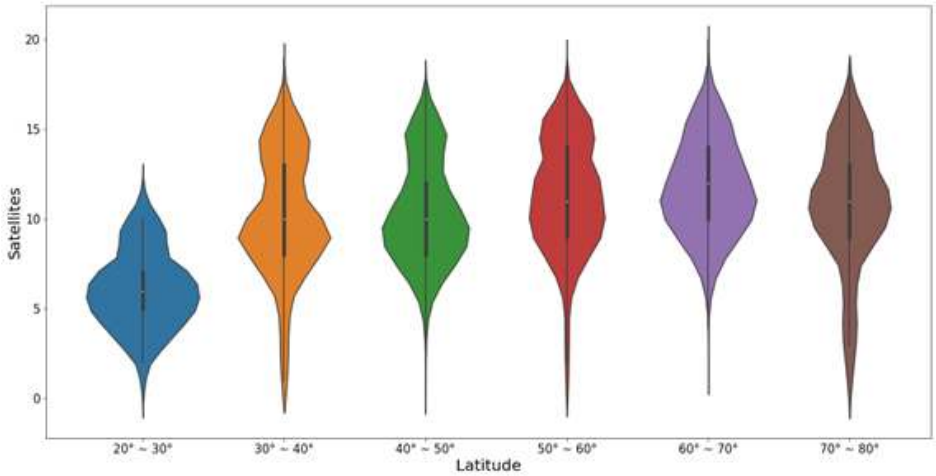


그림 97 위도별 기록된 위치 데이터의 위성 개수

표 14 월별 기록된 위치 데이터의 위성 개수

월 (위치 데이터 수)	평균	표준편차	1분위수	중앙값	3분위수
1 (9574)	10.140	3.687	8	10	13
2 (10046)	10.166	3.697	8	10	13
3 (12774)	9.855	3.347	8	9	12
4 (13391)	10.359	3.390	8	10	14
5 (10882)	10.768	3.285	9	10.5	13
6 (7722)	11.850	3.156	10	12	14
7 (9942)	11.638	2.995	10	12	14
8 (9704)	11.503	2.987	10	11	14
9 (8677)	11.044	3.126	9	11	13
10 (8002)	10.471	3.299	8	10	13
11 (9925)	10.583	3.467	8	10	13
12 (10163)	10.239	3.565	8	10	13

표 15 위도별 기록된 위치 데이터의 위성 개수

위도 (위치 데이터 개수)	평균	표준편차	1분위수	중앙값	3분위수
20° ~ 30° (1022)	6.063601	2.127398	5	6	7
30° ~ 40° (64613)	10.31051	3.589662	8	10	13
40° ~ 50° (14233)	10.36289	2.885226	8	10	12
50° ~ 60° (11154)	11.32849	3.170552	9	11	14
60° ~ 70° (19384)	11.88155	2.710793	10	12	14
70° ~ 80° (10396)	10.77049	3.470766	9	11	13

표 16 월별 위치 데이터 획득 수 (일일 기준)

월	평균	표준편차	1분위수	중앙값	3분위수
1	10.099	3.876	9	12	12
2	10.426	3.138	10	12	12
3	11.627	2.071	12	12	12
4	12.420	3.340	12	12	12
5	13.057	7.304	12	12	12
6	12.593	5.258	12	12	12
7	12.494	2.929	12	12	12
8	11.724	2.993	12	12	12
9	11.313	4.948	12	12	12
10	10.558	4.842	10	12	12
11	11.023	2.877	12	12	12
12	10.445	3.344	11	12	12

– 고방오리 GPS 이동자료 개체별 비교

- 대표적인 오리류 월동지인 부산 을숙도 하구에서 고방오리 10개체를 포획함.
- 2020년 1월 15일부터 6월 7일까지 개체별 이동 경로를 추적함(그림 90).
- 취식 및 수면이 주로 이뤄지는 지역은 을숙도 주변 반경 10km 이내임.
- 10개체 가운데 수컷 2개체는 북서쪽 약 60km 떨어진 산간 지역에서 머물다 돌아왔고, 암컷 1개체는 서쪽 40km 떨어진 해안 지역을 다녀옴(그림91).
- 장거리 이주 종인 고방오리는 고위도 북극 인근인 북위 60도 이상 이주하는 개체가 확인됨(그림 86).
- 고방오리의 겨울철 서식지 이용은 연안 습지 (갯벌), 내륙습지, 농경지, 기수지역, 초지, 담수지역 순으로 많이 하는 것으로 나타남(그림 93).
- 겨울철 서식지 이용 방식은 개체 변이 및 암수 간 차이가 예상됨.

그림 98 부산 을숙도에서 포획한 고방오리 10개체의 이동 경로(2020년 1월 15일~6월 7일)

그림 99 부산 을숙도에서 포획한 고방오리 수컷 8개체와 암컷 2개체의 이동 경로 비교(2020년 1월 15일~6월 7일)

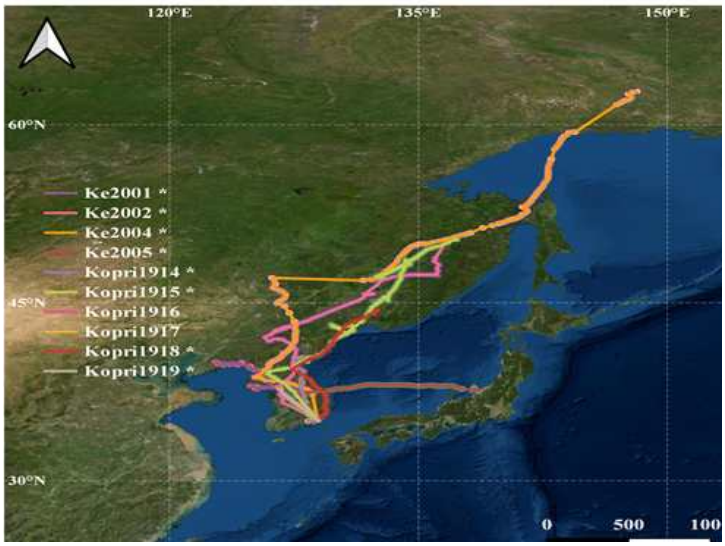


그림 100 고방오리 10개체의 계절별 이주 경로(*가 표시된 개체는 봄철 이주를 시작한 것으로 확인)

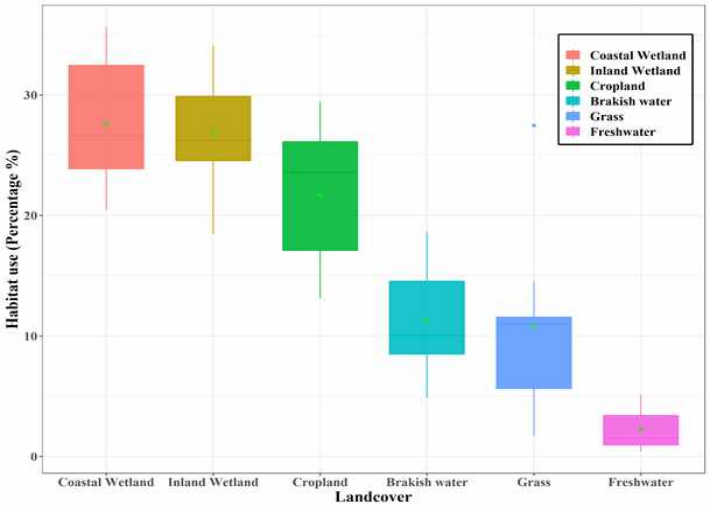


그림 101 월동기간 고방오리(10마리)의 서식지 이용도. 연안습지(coastal wetland)와 내륙습지(inland wetland)를 가장 많이 이용하는 것으로 나타났으며, 농경지(cropland), 기수지역(brakish water), 초지(grass), 담수(freshwater) 순으로 이용하는 것으로 확인

– 쇠기러기 GPS 이동자료 개체별 비교

• 쇠기러기의 월동지인 김포시 하성면 일대에서 쇠기러기 9개체를 포획함(수컷 3개체, 암컷 6개체).

• 2021년 2월 19일부터 이동 경로 추적 중임.

• 겨울철 파주 지역 인근 임진강, 한강 하류 유역에서 철새 먹이 주기 활동이 다년간 지속해서 이루어지고 있는데 많은 개체가 해당 지역을 이용하는 것으로 확인됨(그림 94).

• 향후 쇠기러기의 번식지 이동 경로를 추적함으로써 한국 월동 개체군의 이주 경로, 경유지 및 이주 시기를 확인 가능성이 예상됨.

그림 102 김포에서 포획한 쇠기러기 10개체의 이동 경로(2021년 2월 19일 ~ 2021년 3월 10일)

– 토지피복도를 이용한 바이오로깅 생물종 서식지 이용 분석

• 바이오로깅을 통해 얻은 재갈매기, 고방오리, 쇠기러기의 위치 데이터를 환경부에서 오픈소스로 제공중인 토지피복지도(egis.me.go.kr)와 함께 분석하여 서식지 이용을 비교함.

• 위치 데이터와 토지피복지도를 오픈소스 지리 정보 시스템(GIS)인 QGIS의 point sampling tool을 이용하여, 각 위치 데이터의 서식지 종류를 파악하고, 이를 종합하여 각 종의 서식지 이용을 비교함.

• 재갈매기는 'Sea Water'에서 대략 75% 이상의 시간을 보내고, 고방오리는 'Wet land' 그리고, 쇠기러기는 'Rice Paddy'에서 가장 많은 시간을 보내는 것으로 나타남.

표 17 재갈매기, 고방오리, 쇠기러기의 서식지 이용 비율

서식지	재갈매기	고방오리	쇠기러기
Bare land	10.66±1.42	3.43±2.33	5.17±1.98
Broadleaf Forest	0.11±0.02	5.38±5.21	0.44±0.25
Crops	0.18±0.06	4.62±1.58	0.09±0.08
Fresh Water	2.03±0.46	3.18±1.13	16.33±5.66
Grassland	0.24±0.06	5.77±1.09	9.35±4.61
Mixed Forest	0.03±0.01	0.19±0.19	0.02±0.01
Needle-like leaf Forest	0.14±0.02	0.05±0.03	0.01±0.01
Rice paddy	0.09±0.03	13.87±3.37	43.41±12.2
Sea Water	75.17±1.83	6.55±1.5	0.98±0.71
Unknown	2.17±1.2	26.49±8.52	1.68±1.25
Urban and built-up	6.66±0.71	0.67±0.18	3.09±2.05
Wetland	2.53±0.75	29.79±3.85	19.43±8.04

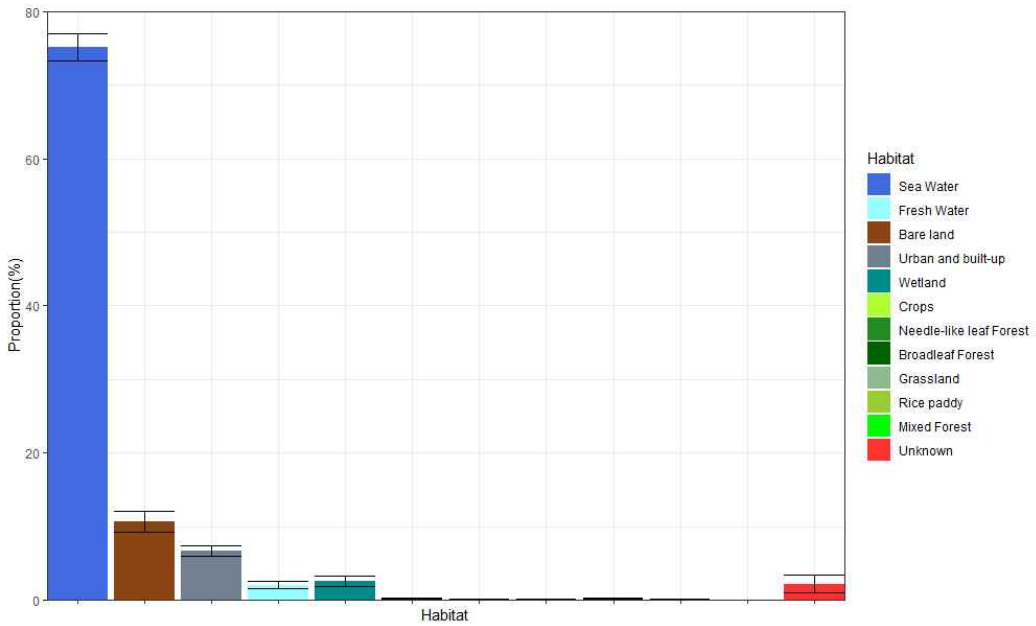


그림 103 재갈매기의 서식지 이용 비율

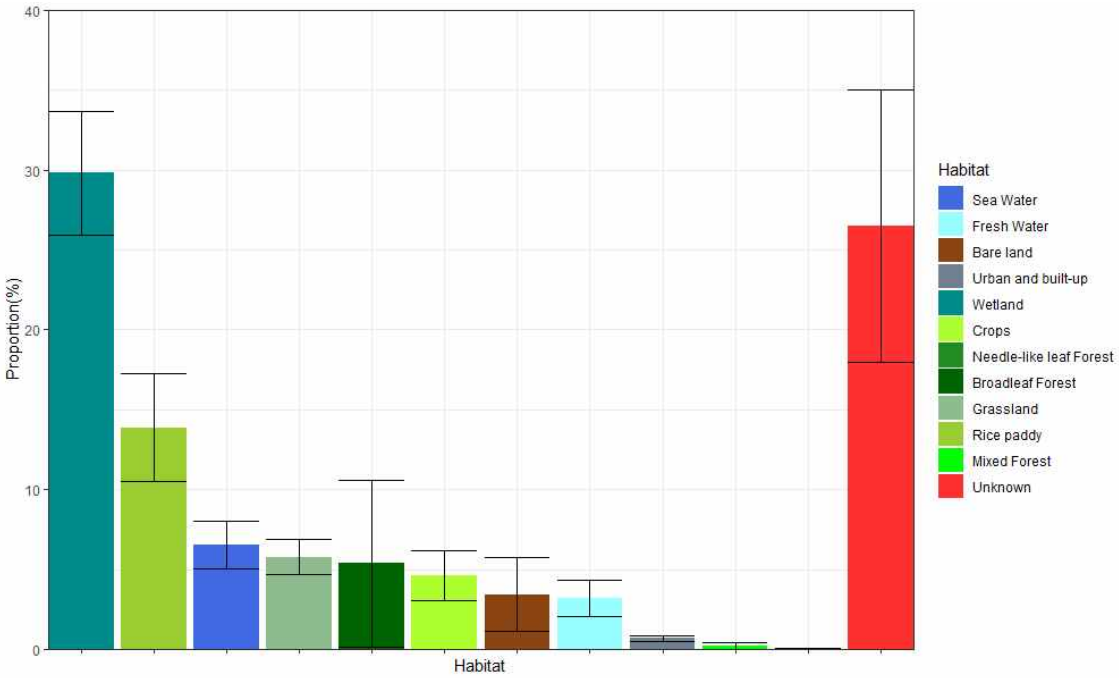


그림 104 고방오리의 서식지 이용 비율

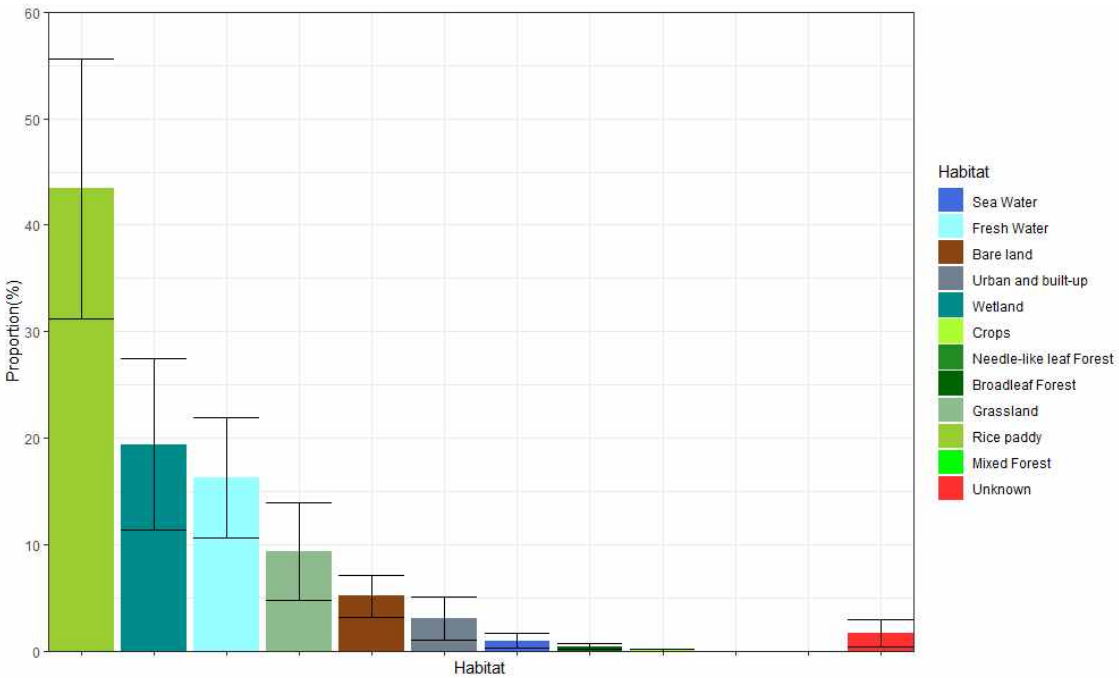


그림 105 쇠기러기의 서식지 이용 비율

– 물범 바이오로깅을 통한 행동 분석

• 3.7V 리튬폴리머 배터리, 온도 감지 센서, 압력 감지 센서가 부착된 바이오로거를 물범에게 부착 후, 블루투스 통신을 통해 연구자의 스마트폰으로 데이터 원격 수신함.

- 바이오로거의 물리적인 데이터 저장장치를 직접 회수할 필요가 없어지므로, 데이터를 확보하기 용이함.
- 원활한 부착을 위한 동물의 행동을 제한하기 위해 전문 사육사들의 감독하에 물범을 제압하고 왼쪽 발에 벨크로 테이프를 이용하여 부착함(그림 95).
- 참물범의 움직임에 따라 부착된 압력 센서로부터 행동 특이적인 전기 신호를 수신함(그림 90).
- 행동을 촬영한 영상과 특이적인 신호를 매칭시켜 분석한 결과 행동을 구르기(Rolling), 기어가기(Moving), 퍼덕거림(Flapping), 멈춤(Stopping)의 4개 카테고리로 분류함. 전기 신호만으로 행동을 예측할 수 있도록 행동 분류 알고리즘을 구축함(그림 99, 표 15).
- 현재 구축된 알고리즘은 기초 단계로서, 추후 데이터베이스의 크기를 더 방대하게 함으로써 보다 다양한 행동을 정확히 분류할 수 있는 알고리즘을 구축할 수 있을 것으로 기대함.
- 비디오카메라와 같은 장비를 부착하지 않고도 압력 센서 및 기타 소형센서들만으로 동물의 현재 행동을 분석할 수 있게 되어, 연구의 효율성이 크게 증대될 것으로 예상함.

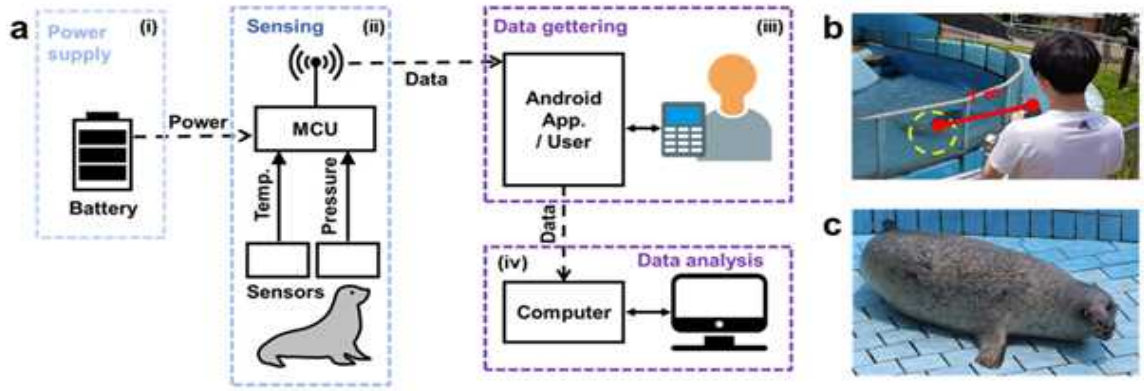


그림 106 청주동물원 소재 점박이물범 암컷 1개체에게 부착된 바이오로거의 원격 데이터 수신 시스템

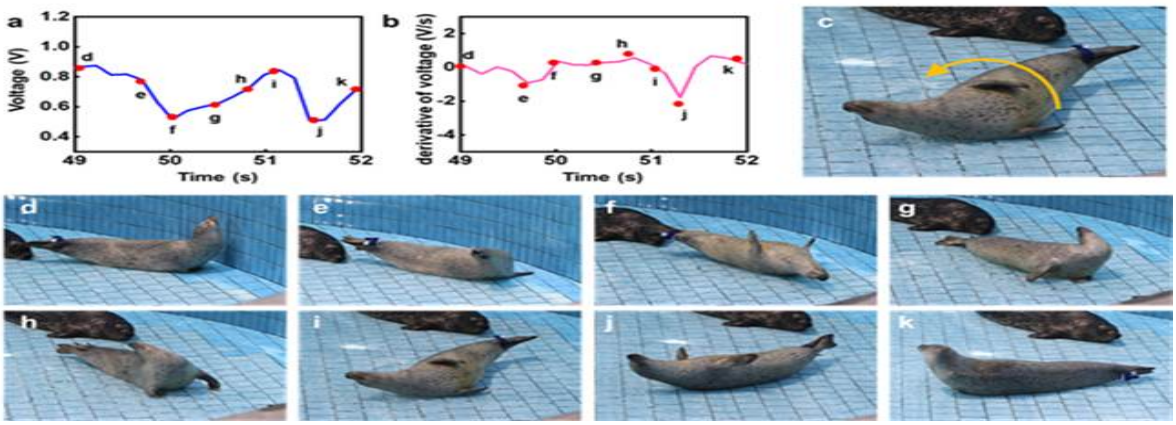


그림 107 물범의 구르기(rolling) 행동(c) 중 다양한 변화를 나타내는 압력 센서의 전기 신호(a)와 그 기울기(b), 구르기 단계(d~k)에 따라 신호의 양상이 다른 것을 확인함. 신호의 진폭은 평균적으로 0.5V를 넘으며, 주파수는 1Hz 이하

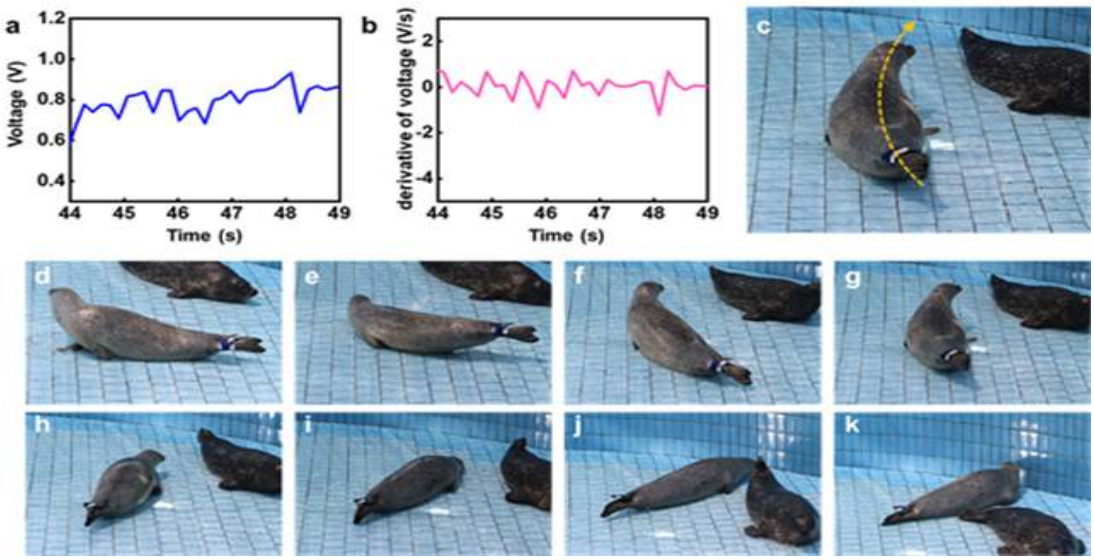


그림 108 참물범의 정지 및 기어가기(stopping, moving) 행동(c, d~k) 중 구르기, 퍼덕거림과는 또 다른 변화를 나타내는 압력 센서의 전기 신호(a)와 그 기울기(b). 진폭이 구르기와 퍼덕거림에 비해 작게 나타나고, 주파수 또한 1Hz 이하

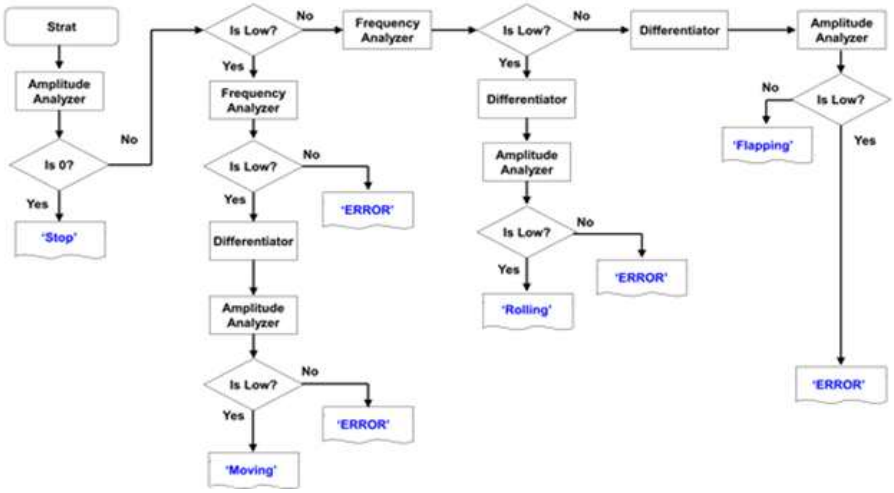


그림 109 진폭 분석, 주파수 분석을 기준으로 하여 물범의 4개 행동을 분류할 수 있도록 구축된 알고리즘 모식도

표 18 알고리즘에 적용된 물범의 4개 행동을 나누는 기준치

행동	주파수(Hz)	진폭(V)	진폭의 기울기(dV/dt)
정지	-	<0.1	-
구르기	<1	>0.5	<3
퍼덕거림	>1	>0.5	>3
기어가기	<1	<0.5	<3

연안 대형 생물종(재갈매기, 고방오리)에 바이오로깅 부착 및 추적을 실시함.

2-2. 추진 일정 실적

1차년도 (1단계 1차년도)														
개발내용	추진 일정												책임자 (소속기관)	비고 (변경사유 등)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
바이오로거 장기간 구동 및 성능 향상 기술 연구													백승재 (한국해양과학기술원)	
다중프로토콜 통신 인터페이스 시작품 제작													백승재 (한국해양과학기술원)	
장기간에 걸친 바이오로깅 관측 운용 방안 및 설계안 도출													백승재 (한국해양과학기술원)	
해양 바이오로깅 전략 방법 정립													백승재 (한국해양과학기술원)	
해양동물 포획 및 바이오로거 부착 기술 개발													이원영 (극지연구소)	
연안에 서식하는 생물종 포획 및 바이오로거 부착 테스트													이원영 (극지연구소)	

2차년도 (1단계 2차년도)														
개발내용	추진 일정												책임자 (소속기관)	비고 (변경사유 등)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
해수배터리기반 바이오로거 소형화 기술 개발													백승재 (한국해양과학기술원)	
시작품 기반 스위칭 알고리즘 개발													백승재 (한국해양과학기술원)	
해양 C-RAN 최적 운용 기술 개발													백승재 (한국해양과학기술원)	
다중 개체 간 상호관계 및 사회성 분석 가능성													백승재 (한국해양과학기술원)	
바이오로깅 정보 활용방안 도출													백승재 (한국해양과학기술원)	
어류 바이오로깅 시험 적용													백승재 (한국해양과학기술원)	
중장기 전략 수립													백승재 (한국해양과학기술원)	
바이오로깅를 통한 환경관측 및 동물행동 분석													이원영 (극지연구소)	
바이오로깅를 통한 환경관측 및 동물행동 분석													이원영 (극지연구소)	

2-3. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여정도

○현재 어족 자원, 환경, 생태, 기후 변화 등의 연구를 위해 사용되는 어류 바이오로거는 국내 기술로 개발된 제품이 전무 하여 전량 해외 수입에 의존하고 있음.
○본 과제의 목표인 어류 바이오로거 개발은 혁신적인 시도이며, 국내 최초로 어류 바이오로거를 개발하고 실증함.
○연구를 위해 사용되는 바이오로거는 로거와 서비스 비용이 개당 약 1200 만원에 달하여 대량 구매에 많은 비용이 들어 연구에 활발히 사용되지 못하고 있음. 따라서, 순수 국내 기술로 개발된 어류 바이오로거를 통해 바이오로거 사용의 활성화를 이끌어 어족 자원, 환경, 생태, 기후 변화 등의 영역에서 성과 도출 예상
– 바이오로거를 통해 기후 변화 및 환경오염으로 인한 해양 생태계 변화의 장기적으로 관찰이 가능하며, 이를 통해 구체적인 대응 계획 수립이 가능함.
– 개발된 바이오로거는 해외 경쟁사 대비 50% 이하의 가격에 구입이 가능하기 때문에 바이오로거 사용의 활성화를 이끌어 다수의 데이터 확보가 가능하므로 생태계 변화를 정밀하게 관측할 수 있음.
○해양 연안종 포획 및 바이오로거 부착 기술개발을 통하여 안정적인 태깅 기술을 확보함.
– 마약류 학술 연구자로 마약류 취급자 허가 (이원영, 허가번호 : L00202705) 및 교육 이수
– 해양 동물 포획 및 부착 기술을 습득함으로써 국외 해양 포유류 연구자 그룹과 동등한 수준의 기술을 확보함.
○바이오로깅 기술을 활용한 연안 대형 생물종 시험 적용을 통하여 해양조류 및 포유류 행동 자료 관측을 성공함.
– 바이오로깅 연구에 관한 리뷰 논문을 통해 관련 문헌 자료를 정리하고 향후 기술개발 방향을 제안함 (Chung et al. 2021, Ocean Science Journal).
– 해양 동물을 대상으로 바이오로깅 테스트 결과를 통해 행동을 분류하고 현장에서 활용할 수 있음을 검증. 국내외에서 아직 해양 동물에 활용한 전례가 없는 압력 센서를 신규 로거에 활용할 가능성을 보여준 것으로 평가됨(Kim et al. 2021, Micromachines).

3. 연구 개발 성과의 활용 방안

○본 과제에서는 국내 최초로 어류 바이오로거 prototype을 개발하고 실증함.
○개발된 prototype의 상용화를 위하여 바이오로거의 고도화 및 서비스 부분을 개발하는 후속 상용화 과제를 진행하는 것이 필수.
○후속 상용화를위해 수테크社에 본 과제에서 개발된 기술 이전이 확약된 상태이며, 이에 기반하여 해양수산과학진흥원의 "해양 바이오로거 고도화 및 상용화" 과제가 선정으로 후속 연구를 수행 중임.
○해양 동물 바이오로깅을 위한 포획, 부착, 자료 분석법 활용
– 국내 연안조 외에도 국외 지역에 있는 해양조류 및 포유류 등을 포획하여 신호를 송수신하는 데 사용 가능할 것으로 기대됨.
– 원격 블루추스 기능을 활용하여 원거리 통신이 가능한 지역에서 활용될 수 있을 것으로 여겨짐.
– 향후 다양한 분류군의 동물 특성에 맞춘 바이오로깅 기법이 개발된다면 활용도가 높을 것으로 판단됨.
○국제적 경쟁력 확보 및 구체적인 활용 계획
– 기존 제품 가격 대비 약 50% 수준의 가격 책정으로 경쟁력 확보 계획.

– 배터리 사용에 제약이 있는 기존 제품과 달리 배터리를 교체할 수 있는 장점 부각 예정.
– 국내 유관 연구자 대상 프로모션 수행 예정.
– 21년 연말 관계기관 무료 테스트 제공 예정.

4 당초 연구계획 대비 주요 변경사항

구분	변경 전	변경 후	변경 사유 및 조치사항	협약변경 승인일
연구목표 및 주요내용				
연구책임자				
주관기관	연구시설 및 장비비:33,000 연구활동비:43,903 연구재료비:100,140	연구시설 및 장비비:20,100 연구활동비:35,156 연구재료비:113,980	위성 위치추적용 발진기 구매 및 바이오로거 보드 및 시험지그 제작을 위한 변경	
연구비				
연구기간		강현 참여기간:2021.03.22~2021.03.31 참여율:1%	실해역실험 참여를 위한 참여인력 변경	

주 의

1. 이 보고서는 과학기술정보통신부에서 시행한 해양극지기초원천기술개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 과학기술정보통신부에서 시행한 해양극지기초원천기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

[첨부목록]

구분	목록	제출여부(Y/N)
첨부1	연구개발 목표의 달성도 증빙	Y
첨부2	자체평가의견서	Y
첨부3	연구개발결과 활용계획서	Y
첨부4	[해당 시] 연구개발성과 공개제한 요청사유서	N
첨부5	[해당 시] 청년 의무채용 관련 실적	N
첨부6	[해당 시] 참여기업 의견서	N

첨부1 연구개발 목표의 달성도 증빙

평가주안점	가중치 (%)	관련 세부목표	연차	연차별 목표 (조건/환경)	실적요약	관련증빙
바이오로거의 장기간 구동 및 성능 향상을 위한 최적화 기술 연구	12.5	1	1차년도	DVFS 기법 적용 시 감소되는 전력량 평가 (정량)	MCU가 80MHz로 동작할 때 대비 40MHz일 때 10.45%, 20MHz일 때 16.3%의 전력 소비량이 감소함	1.국외 SCIE 논문
	12.5	1	1차년도	NVRAM 적용 시 향상되는 전력량 및 성능평가 (정량)	Fram(NVRAM)을 Flash memory 대신 사용할 경우, 79.41%의 전류 소모량을 줄일 수 있음	
다중프로토콜 통신 인터페이스 시작품 제작	10	1	1차년도	3종 해양통신 프로토콜 지원 가능 여부 평가 (정성)	LoRa, Wi-Fi, Zigbee 지원 범용 통신 인터페이스 시작품 개발 및 시험 운용	2.시작품
기간에 걸친 바이오로깅 관측 운용 방안 및 설계안 도출	5	3	1차년도	보고서 및 전문가 평가 (정성)	전문가 자문회의를 통해 장기간에 걸친 바이오로깅 관측 운용 방안 및 설계안을 도출하고 중장기 전략을 도출하기 위한 계획을 수립함.	3.보고서
해양바이오로깅 전략, 방법 정립	10	2	1차년도	자료수집 및 계획안 평가 (정성)	Target species(방어) 적용 바이오로거 conditioning 및 현장 실험 방안 구축	4.보고서
해수배터리 이용시 줄어드는 수밀 공간 평가	21.25	1	2차년도 (최종)	해수배터리 이용 시 줄어드는 수밀 공간 평가 (정량)	리튬이온배터리와 소형 코인셀 해수배터리를 사용하는 하이브리드 배터리 바이오로거를 개발하여 수밀 공간 안에 들어가는 리튬이온배터리의 크기를 43.99% 감소	5.국내 특허
시작품 기반 스위칭 알고리즘 개발	6.25	1	2차년도 (최종)	해양통신 성능 향상 확인 여부 평가 (정성)	해양 C-RAN 스위칭 알고리즘 개발을 통해 바이오로거 무선 통신 성능을 보장하는 선에 육상 분산 안테나 수를 최소화	6.국외 SCIE 논문
해양 C-RAN 최적 운용기술 개발						
바이오로거 정보기반 다중 개체 간 상호관계 및 사회성 분석 가능성 검토	6.25	3	2차년도 (최종)	보고서 및 전문가 평가 (정성)	고방오리를 대상으로 바이오로거 부착 및 추적하여 '개체 간 변이'가 크며, '나이' 및 '성별' 자료에 따라 그룹이 나뉘는 것을 확인하였고 개체 정보에 따라 그룹 간 비교를 통해 자료를 분석하는 것이 필수인 것을 확인함.	7.보고서
바이오로깅 획득 정보의 분야별 (생태계 보전, 환경오염, 기후변화 등) 활용 방안 도출					분야별 바이오로거 활용 가능 과제 리스트 10개 제시	

방어에 바이오로깅 적용 및 양식장, 실해역 테스트 수행	12.5	2	2차년도 (최종)	데이터로거 데이터 획득 및 생리 분석 결과 제시 (정성)	• 바이오로거 활용을 위한 conditioning 기술개발을 통해 silicon tube 방식이 체외 상처 최소화 및 tag 부착효율 최대 유지 • 바이오로거 부착 방어의 실해역 tracking 모니터링을 통해 최대 81일(설정 대비 90%), 통영 연안에서 강릉 외해까지 약 1177.8 km 이동하며 최대 수심 40m와 최저 10.8℃까지 서식분포 파악	8.국내 학술지 논문 9.학회 발표 논문지
예비타당성 평가 대비 기획보고서 작성	3.75	3	2차년도 (최종)	기획보고서 작성 유무 평가 (정성)	기획보고서 작성	10.기획보고서
바이오로깅 부착 가능 생물종 자료 수집 및 타당성 평가	10	1	2차년도 (최종) (1단계 1차년도)	바이오로깅 부착 가능 생물자료 수집 (정성)	자료 수집 바탕 리뷰 논문 작성	11.국내 SCIE 논문
부착 방법에 따른 특성 평가 및 적합한 부착법 제안	40	1	2차년도 (최종) (1단계 2차년도)	부착 장비 및 재료 테스트 (정성)	GPS 장비 테스트 결과표	12. 부착 테스트 결과표
연안 생물종 부착 적용	25	2,3	2차년도 (최종) (1단계 2차년도)	안정화된 부착 기술 및 데이터 획득 (정성)	부착 적용 및 자료 원격 획득	13.국외 SCIE 논문
행동 특성 및 서식환경 분석	25	2,3	2차년도 (최종) (1단계 2차년도)	관측자료 해석 및 지도 작성 (정성)	연안종 3종(재갈매기, 고방오리, 쇠기러기) 관측, 지도 작성	14.재갈매기 관측 지도 15.고방오리 관측 지도 16.쇠기러기 관측 지도
합계	100					

번호	관련증빙 명
1	Storage Class Memory Based Hybrid Memory System for Practical Remote Sensing 논문

Journal of Coastal Research	SI	102	254-260	Coconut Creek, Florida	2020

Storage Class Memory Based Hybrid Memory System for Practical Remote Sensing

Sungmin Koo[†§*], Jungmin Seo[†], Yujae Song[†], and Seungjae Baek[‡]

[†]Maritime ICT R&D Center
KIOST
Busan, Republic of Korea

[‡]Department of Convergence Study on the Ocean Science and Technology
KMOU-OST School
Busan, Republic of Korea

www.cerf-jcr.org

www.JCRonline.org

ABSTRACT

Koo, S.M.; Seo, J.M.; Song. Y.J., and Baek, S.J., 2020. Storage class memory based hybrid memory system for practical remote sensing. *In:* Jung, H.-S.; Lee, S., and Ryu, J.-H. (eds.), *In:* Jung, H.-S.; Lee, S.; Ryu, J.-H., and Cui, T. (eds.), *Advances in Geospatial Research of Coastal Environments*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 102, pp. 254-260. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

In the remote sensing domain, large-sized, files such as high-resolution satellite images or sonar video clips from unmanned underwater vehicles are very common. For processing big files, a large main memory is necessary. The main memory capacity highly influences the performance of computer systems. The demand for DRAM capacity has never been satisfied, and more importantly, large DRAM systems suffer from significant power consumption. To ease the problem, a promising solution is to build a hybrid main memory (HMM) system composed of a small number of fast DRAMs and many inexpensive devices. By mimicking large and fast main memory capacity, HMM allows computer systems to run applications that require more DRAM than is installed on the system. In this paper, a novel HMM management scheme for a storage class memory (SCM)-based HMM was introduced. As all the data stored on SCM are already non-volatile, the overall performance of the computer system is enhanced further by not flushing them periodically. The proposed idea was implemented on Linux and its performance was measured using an SCM emulation system. It was shown that HMM efficiently improves performance by up to 77.9 %, compared with a conventional operating system. Additionally, it was demonstrated that the proposed idea's fault recovery mechanisms could restore dirty data that are not yet synchronized with storage, within 91 % of the test time.

ADDITIONAL INDEX WORDS: *Remote sensing, storage class memory, non-volatility, cache, dirty data.*

INTRODUCTION

Remote sensing obtains information about a target object. The information can be collected using various types of remote sensing systems such as satellites, aircraft, biologgers, or unmanned vehicles, including unmanned aerial vehicles (UAVs) or autonomous underwater vehicles (AUVs). These systems are equipped with cameras, radar, sonar, or many other diverse sensors depending on their purpose. To collect better quality data, high-resolution sensors are installed on the system. The higher-resolution sensors produce larger files. For example, a sentinel-3 Ocean and Land Color Instrument (OLCI) image of 21 bands has a size of approximately 600 to 700 MB, a Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) 8 band image is approximately 50 to 100 MB in size, and high quality satellite image size is over hundreds of giga bytes. For processing larger files, a larger main memory is needed. In particular, when data is processed in parallel, the memory shortfall increases, thereby, causing serious, unavoidable performance degradation.

The gap between the performance of the main memory and secondary storage establishes the capacity of main memory as one of the most influential factors in computer system performance. With current technology advancing rapidly, it is now possible to build a system with a large main memory. Installing larger DRAM is the easiest method for achieving better performance.

However, the cost is always consequential, and more importantly, DRAM capacity has been always scarce, and the demand has never been satisfied. Furthermore, a large DRAM is one of the most significant power-dissipation components in modern computer systems, for both enterprise-scale systems and mobile devices.

Hybrid main memory (HMM), composed of a small quantity of fast and expensive DRAMs and a large number of relatively slow and cheap devices could be a practical alternative to alleviate this problem. The main purpose of HMM is to mimic large and fast DRAMs. HMM allows computer systems to run applications that require more DRAM than is installed. Furthermore, HMM potentially enhances the overall performance of a system because the (virtually) increased memory capacity decreases the swapping that degrades system performance.

A new optimization point arises from the advent of storage class memory (SCM), such as spin-transfer-torque magneto-resistive RAM (STT-MRAM) and phase change memory (PCM). SCM has both memory and storage properties. SCM can store data persistently while allowing random access. Moreover, the power consumption of SCM is very low, which is an attractive feature for a low-power consumption system.

SCM has been utilized as a read cache owing to its write endurance problem. Considering this, SCM's write endurance has been improving continuously and several SCM lifetime management algorithm. Specifically, the performance degradation of HMM is up to 8.1 %, and 2.7 % on the average for *tar*, 8.1 % and 7.7 % for kernel compile and 2.2 %, 1.6 % for *rm* workload.

Considering that PCM has a 2X$\sim$4X higher density than DRAM, the HMM system can provide better performance than a DRAM-only system for a given die size. For example, an HMM system with 1 GB of DRAM and 7 GB of PCM provides better performance than a system with 2 GB of DRAM, as shown in Figure 6. This is one of the most realistic PCM-based approaches to decrease system power consumption with enhanced performance.

DISCUSSION

To ensure that the proposed DoS-DFS provides a similar or better integrity level than that of DoS and the system without it, integrity tests were performed. In this test, QEMU virtualization software was used to emulate power failure without flushing any dirty data from SCM to storage.

For the test, a 1 GB file was compressed and decompressed. Specifically, the system was turned off immediately after the compression job was completed.

Then, a portion of the memory that is used as an SCM was snapshot just after the compression process was completed, and the contents of the SCM were restored after reboot. After turning the system on again, the *DoS* and *DoS-DFS* performed *the recovery sequence and run the mmck* tool to check the data structure's integrity. Finally, the decompress application was executed, and the decompressed data was compared with the original data using *the diff* utility.

Table 2 shows the experimental results. The test was performed 100 times, and the average success ratio was reported. Conventional Linux only survived a power failure in 12 % of the tests. This is because typical OSs have no such protection mechanisms for power disasters and lose all dirty data that are not yet synchronized.

However, *DoS* and *DoS-DFS* successfully restored all the dirty data respectively within 96 % and 91 % of the test time. Because of the inconsistency between the file system's metadata and the collected dirty data, they occasionally experienced failure after reboot, and *DoS* showed a slightly better success ratio because a small part of the dirty data was written back to the storage device before the power failure occurred.

Table 2. *Integrity check result.*

	Success ratio	
	mmck	Decompress app'
Conventional OS	N/A	12 %
With Dos	100 %	96 %
With Dos-DFS	100 %	91 %

CONCLUSIONS

In this study, an HMM system that is very useful for building cost-effective high-performance systems was developed. The proposed HMM system is very attractive for processing large-sized remote sensing data because HMM potentially enhances the overall performance of a system by reducing swapping. This paper, based as it is on experimental results that emulated relevant systems, makes the following solid contributions:

It proposes an HMM management scheme called *DoS-DFS*, in which it stores all the dirty data on SCM and does not flush them to storage.

Performance evaluation results show that the system with HMM provides up to 77.9 % better performance than a conventional OS without it.

This paper confirms that the proposed scheme efficiently survives a power failure and successfully restores dirty data that are not synchronized yet in 91 % of the tests as compared to 12 % for conventional DRAM-based systems.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by a grant from the National R&D project of ''Development of elementary technology based on ICT for marine bio-logging" funded by the National Research Foundation of Korea (NRF-2019M1A5A1102274).

LITERATURE CITED

Akyurek, S. and Salem, K., 1995. Management of partially safe buffers. *IEEE Transactions on Computers*, 44(3), 394–407.

Baker, M.; Asami, S.; Deprit, E.; Ousterhout, J., and Seltzer, M., 1992. Non-volatile memory for fast, reliable file systems. *Proceedings of the 5th international conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems* (Boston Massachusetts), pp.10–22.

Baker, M. and Sullivan, M., 1992. The recovery box: Using fast recovery to provide high availability in the UNIX Environment. *Proceedings of the USENIX Summer Conference* (San Antonio, Texas), pp. 31–43.

Chen, P.M; Ng, W.T.; Chandra, S.; Aycock, C.; Rajamani, G., and Lowell, D., 1996. The Rio file cache: surviving operating system crashes. *Proceedings of the 7th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems* (Cambridge, Massachusetts), pp. 74–83.

Condit, J.; Nightingale, E.B.; Frost, C.; Ipek, E.; Lee, B.; Burger, D., and Coetzee, D., 2009. Better I/O through byte-addressable, persistent memory. *Proceedings of the ACM SIGOPS 22nd Symposium on Operating Systems Principles* (Big Sky, Montana), pp. 133–146.

Haining, T.R. and Long D.D.E., 1999. Management Policies for Non-Volatile Write Caches. *Proceedings of the IEEE International Performance, Computing and Communications Conference* (Phoenix/Scottsdale, Arizona), pp. 321–328.

Lee, B.C.; Ipek, E.; Mutlu, O., and Burger, D., 2009. Architecting phase change memory as a scalable DRAM alternative. *Proceedings of the 36th Annual International Symposium on Computer Architecture* (Austin, Texas), pp. 2–13.

Park, Y.; Park, S.K., and Park, K.H., 2010. Linux kernel support to exploit phase change memory. *Proceedings of the Ottawa Linux Symposium* (Ottawa, Canada), pp. 217–224.

Qureshi, M.K.; Srinivasan, V., and Rivers, J.A., 2009. Scalable high-performance main memory system using phase-change memory technology. *Proceedings of the 36th Annual*

DOI: 10.2112/SI102-031.1 received 31 August 2020; accepted in revision 16 November 2020.

*Corresponding author: smkoo@kiost.ac.kr

© Coastal Education and Research Foundation, Inc. 2020

번호	관련증빙 명
2	다중프로토콜 통신 인터페이스 시작품

그림 64 다중프로토콜 통신 인터페이스 PCB 조립

그림 65 다중 프로토콜 통신 인터페이스 테스트베드 전체 구성

번호	관련증빙 명
5	해양생물 데이터 수집장치 특허

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2020.06.26
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(87205)
출 원 번 호 10-2020-0078762 (접수번호 1-1-2020-0664241-65)
출원인 명칭 한국해양과학기술원(1-2012-034461-6)
대 리 인 성 명 특허법인 남앤남(9-2012-100182-6)
발 명 자 성 명 백승재 구성민 김수미 송유재
발 명 의 명 칭 해양생물 데이터 수집장치

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록 이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2021.03.24
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(94798)
출 원 번 호 10-2021-0038126 (접수번호 1-1-2021-0346876-01)
(DAS접근코드:FFE7)
출원인 명칭 한국해양과학기술원(1-2012-034461-6)
대 리 인 성 명 특허법인 남앤남(9-2012-100182-6)
발 명 자 성 명 백승재 구성민 김용재
발 명 의 명 칭 해양생물 데이터 수집장치

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도

번호	관련증빙 명
6	Underwater Acoustic Sensor Networks With Cost Efficiency for Internet of Underwater Things 논문

Underwater Acoustic Sensor Networks With Cost Efficiency for Internet of Underwater Things

Yujae Song, *Member, IEEE*

***Abstract*—Despite the potential benefits of Internet of Underwater Things, a number of issues hinder its realization, including the need for communication reliability and cost-effectiveness. This article aims to optimize network design to implement cost-effective underwater acoustic sensor networks (UASNs) with 3D topology while supporting diverse communication quality of service (QoS) requirements. First, we present an analytical framework based on a queueing system that evaluates communication performances of UASNs, wherein each underwater sensor distributed within a 3D space under the sea surface performs fountain code (FC)-based automatic repeat request (ARQ) transmissions under the slotted-Aloha medium access control protocol. Under the proposed framework, we evaluate communication performances given in terms of successful FC-based ARQ transmission probability and the average queueing delay of an underwater sensor. When evaluating the performances, we formulate the service time of each underwater sensor as a function of network parameters, i.e., the density of data sink and amount of redundancy for FC-based ARQ transmission, before solving a function for accurate service time, such that each sensor can be represented by an M/G/1 queue. Further, our analysis can formulate an optimization problem that aims at minimizing total cost incurred to install and operate 3D UASNs, without compromising two communication QoS requirements. To solve this problem, we propose a recursive algorithm to approach an optimal solution in reasonable time. Numerical evaluations demonstrate the validity of the proposed algorithm.**

***Index Terms*—Cost-efficiency, end-to-end delay, Internet of Underwater Things (IoUT), quality of service, reliable transmission, underwater acoustic sensor network.**

I. Introduction

RECENTLY, underwater acoustic sensor networks (UASNs) have received considerable attention from research communities. This is because UASNs enable exploration and monitoring below the water surface to occur in a timely and effective manner [1]. UASNs can be used in a wide range of maritime and underwater industries, such as ocean sampling, environmental monitoring, oceanographic data collection, disaster prevention, distributed tactical surveillance, mine reconnaissance, and assisted navigation [2], [3].

However, compared with terrestrial radio communications, underwater acoustic communications using sound waves have inevitable drawbacks due to the nature of the medium, such as very scarce available bandwidth, long propagation delay, and high signal attenuation, among others. Among them, we focus on the occurrence of frequent transmission errors over long acoustic links. To solve this problem, researchers have conducted several studies that aim to improve the reliability of acoustic links, which are largely classified into three categories: based on automatic repeat request (ARQ), based on forward error correction (FEC), and based on the additional deployment of a data sink.

In the first approach, using ARQ [4]–[7], a receiver sends an acknowledgement (ACK) packet to a transmitter to check whether the transmitted packet has been successfully received. If an error occurred in either the data or ACK packets, retransmissions are required. Although the ARQ method can completely guarantee transmission reliability, it significantly increases both end-to-end delay and network energy consumption due to repetitive retransmissions. Such performance degradation in UASNs may be fatal because of both the very scarce energy sources of underwater sensors and the existence of various delay-sensitive underwater sensor applications such as disaster monitoring and underwater application control.

The second approach uses FEC [8], [10]. With FEC, fewer or no retransmissions are required. Instead, a transmitter sends redundancy in addition to original data. Among various FEC methods, fountain code (FC) is the representative method adopted in UASNs. Using FC, a transmitter encodes original data packets into bulky packets and then transmits. The receiver can recover the original packets with high probability if it has the necessary degree of freedom for successful decoding. Although FEC may not completely ensure communication reliability, it can be widely adopted in UASNs as it reduces not only end-to-end delay but also network energy consumption. In addition, to improve communication reliability, FEC can be used together with ARQ, referred to as hybrid ARQ [11]–[14], but it also requires a feedback mechanism that may reduce both end-to-end delay and network energy consumption.

The third approach uses additional data sinks. In UASNs, data sinks in UASNs play a role similar to that of cluster heads

Manuscript received May 14, 2019; revised October 1, 2019, November 28, 2019, and January 2, 2020; accepted January 18, 2020. Date of publication February 5, 2020; date of current version October 30, 2020. This work was supported in part by research grants from the Korea Institute of Ocean Science and Technology under Grant PE99832, and in part by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea, Ministry of Education Science and Technology under Grants NRF-2017R1D1A1B03032619 and NRF-2019M1A5A1102274.

The author is with the Maritime ICT R&D Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Korea (e-mail: yjsong@kiost.ac.kr).

Color versions of one or more of the figures in this article are available online at https://ieeexplore.ieee.org.
Digital Object Identifier 10.1109/TIE.2020.2970691

0278-0046 © 2020 IEEE. Personal use is permitted, but republication/redistribution requires IEEE permission.
See https://www.ieee.org/publications/rights/index.html for more information.

given as $f_V(v) = \frac{3125v^4\beta_n^5 e^{-5v\beta_n}}{24}$, which is obtained from [34]. Using the above equation, the PMF of the number of underwater sensors associated with a data sink can be expressed as

$$P_U(u) = \int_0^\infty P(U=u|v) f_V(v) dv$$
$$= \int_0^\infty \frac{(\beta_s v)^\eta}{u!} e^{-\beta_s v} \frac{3125v^4\beta_n^5 e^{-5v\beta_n}}{24} dv$$
$$= \frac{3125\beta_s^\eta \beta_n^5 (\beta_s + 5\beta_n)^{-(\eta+5)}}{24u!} \Gamma(u+5). \quad (32)$$

Therefore, we can determine the average number of sensors associated with a data sink as follows:

$$\bar{U} = E[U] = \sum_{u=0}^{\infty} u P_U(u) = \beta_s \beta_n^{-1}. \quad (33)$$

References

[1] A. Darehshoorzadeh and A. Boukerche, "Underwater sensor networks: A new challenge for opportunistic routing protocols," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 11, pp. 98–107, Nov. 2015.
[2] D. Pompili and T. Melodia, "Three-dimensional routing in underwater acoustic sensor networks," in *Proc. ACM Int. Workshop Perform. Eval. Wireless Ad Hoc Sensor Ubiquitous Netw.*, Oct. 2005, pp. 214–221.
[3] S. Koo, Y. Song, S. H. Lim, M. H. Oh, S. N. Seo, and S. Baek, "Development of a remote supervisory control and data acquisition system for offshore waste final disposal facility," *J. Coastal Res.*, vol. 90, pp. 205–213, Sep. 2019.
[4] M. Gao, W.-S. Soh, and M. Tao, "A transmission scheme for continuous ARQ protocols over underwater acoustic channels," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.*, Jun. 2009, pp. 1–5.
[5] J. M. Daladier and M. A. Labrador, "A data link layer in support of swarming of autonomous underwater vehicles," in *Proc. OCEANS*, May 2009, pp. 1–10.
[6] S. Azad, P. Casari, F. Guerra, and M. Zorzi, "On ARQ strategies over random access protocols in underwater acoustic networks," in *Proc. OCEANS*, Jun. 2011, pp. 1–7.
[7] A. Jamshidi, "Efficient cooperative ARQ protocols based on relay selection in underwater acoustic communication sensor networks," *Wireless Netw.*, vol. 25, pp. 4815–4827, Nov. 2019.
[8] Z. Guo, B. Wang, P. Xie, W. Zeng, and J.-H. Cui, "Efficient error recovery with network coding in underwater sensor networks," *Ad Hoc Netw.*, vol. 7, no. 4, pp. 791–802, Jun. 2009.
[9] Y. Cui, J. Qing, Q. Guan, F. Ji, and G. Wei, "Stochastically optimized fountain-based transmissions over underwater acoustic channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 64, no. 5, pp. 2108–2112, May 2015.
[10] X. Du, K. Li, X. Liu, and Y. Su, "RLT code based handshake-free reliable MAC protocol for underwater sensor networks," *J. Sensors*, vol. 2016, pp. 1–11, 2016.
[11] P. Casari, M. Rossi, and M. Zorzi, "Towards optimal broadcasting policies for HARQ based on fountain codes in underwater networks," in *Proc. Annu. Conf. Wireless Demand Netw. Syst. Services*, Jan. 2008, pp. 11–19.
[12] B. Liu, F. Garcin, F. Ren, and C. Lin, "A study of forward error correction schemes for reliable transport in underwater sensor networks," in *Proc. Annu. IEEE Commun. Soc. Conf. Sensor Mesh Ad Hoc Commun. Netw.*, Jun. 2008, pp. 197–205.
[13] Z. Zhou, H. Mo, Y. Zhu, Z. Peng, J. Huang, and J. Cui, "Fountain code based adaptive multi-hop reliable data transfer for underwater acoustic networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.*, Jun. 2012, pp. 6396–6400.
[14] M. Rahmati, R. Petroccia, and D. Pompili, "In-network collaboration for CDMA-based reliable underwater acoustic communications," *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 44, no. 4, pp. 881–894, Oct. 2019.
[15] Y. Kim, Y. Song, and S. H. Lim, "Hierarchical maritime radio networks for internet of maritime things," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 54218–54227, 2019.
[16] Y. Song and P.-Y. Kong, "Optimizing design and performance of underwater acoustic sensor networks with 3D topology," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, to be published.
[17] G. Han, C. Zhang, L. Shu, and J. J. P. C. Rodrigues, "Impacts of deployment strategies on localization performance in underwater acoustic sensor networks," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 3, pp. 1725–1733, Mar. 2015.
[18] P. Qarabaqi and M. Stojanovic, "Statistical characterization and computationally efficient modeling of a class of underwater acoustic communication channels," *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 38, no. 4, pp. 701–717, Oct. 2013.
[19] L. Berkhovskikh and Y. Lysanov, *Fundamentals of Ocean Acoustic*. New York: Springer, 1982.
[20] H. U. Yildiz, "Maximization of underwater sensor networks lifetime via fountain codes," *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 15, no. 8, pp. 4602–4613, Aug. 2019.
[21] Y. Zhu, Z. Peng, J. H. Cui, and H. Chen, "Toward practical MAC design for underwater acoustic networks," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 14, no. 4, pp. 872–886, Apr. 2015.
[22] C. Pan, L. Jia, R. Cai, and Y. Ding, "Modeling and simulation of channel for underwater communication network," *Int. J. Innovative Comput. Inf. Control*, vol. 8, no. 3(B), pp. 2149–2156, 2012.
[23] M. Stojanovic, "On the relationship between capacity and distance in an underwater acoustic communication channel," in *Proc. ACM Int. Workshop Underwater Netw.*, 2006, pp. 41–47.
[24] M. Faheem, G. Tuna, and V. C. Gungor, "QERP: Quality-of-service (QoS) aware evolutionary routing protocol for underwater wireless sensor networks," *IEEE Syst. J.*, vol. 12, no. 3, pp. 2066–2073, Sep. 2018.
[25] D. E. Lucani, M. Medard, and M. Stojanovic, "Underwater acoustic networks: Channel models and network coding based lower bound to transmission power for multicast," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 26, no. 9, pp. 1708–1719, Dec. 2008.
[26] M. Stojanovic, "Frequency reuse underwater: capacity of an acoustic cellular network," in *Proc. Workshop Underwater networks*, Sep. 2007, pp. 19–24.
[27] I. Adan and J. Resing, *Queueing Theory*. Eindhoven, The Netherlands: Department of Mathematics and Computing Science, Eindhoven University of Technology, 2001.
[28] "Wolfram mathematica," http://www.wolfram.com/mathematica
[29] T. Rault, A. Bouabdallah, and Y. Challal, "Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey," *Comput. Netw.*, vol. 67, no. 4, pp. 104–122, Jul. 2014.
[30] R. Horst, P. M. Pardalos, and H. E. Romeijn, *Handbook of Global Optimization*. Springer, 2002.
[31] Y. H. Kim, H. Na, and Y. G. Park, "Maritime observation using scientific monitoring and reliable telecommunication (SMART) cable," KIOST, Tech. Rep., Jul. 2016.
[32] M. S. S. G. Annalakshmi, "Underwater acoustic modem – challenges, technology and applications – A review survey," *Ocean Fish Open Access J.*, vol. 2, no. 4, pp. 1–10, May 2017.
[33] M. Haenggi, "On distances in uniformly random networks," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 51, no. 10, pp. 3584–3586, Oct. 2005.
[34] J.-S. Ferenc and Z. Neda, "On the size distribution of poisson voronoi cells," *Physica A: Statistical Mech. Appl.*, vol. 385, no. 2, Jul. 2007.

Yujae Song (Member, IEEE) received the Ph.D degree in electrical engineering from the Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Korea, in 2016.
He was a Visiting Scholar in communication systems from the KTH Royal Institute of Technology, Sweden, in 2015. Since 2016, he has been a Senior Researcher with the maritime ICT R&D Center at KAIST. His research interests include design, analysis, and optimization of various wireless communication systems including 5G, maritime/underwater, and smart grid communications.

번호	논문 증빙
8	Pop-up Satellite Archival Tag (PSAT) 체외 부착방법에 따른 방어(Seriola quinqueradiata)의 혈액성상 및 PSAT 부착효율. 한국수산과학회지. 54(1) 38-45.

KFAS 한국수산과학회지
한수지 54(1), 38-45, 2021
Original Article
Korean J Fish Aquat Sci 54(1),38-45,2021

Pop-up Satellite Archival Tag (PSAT) 체외 부착방법에 따른 방어(*Seriola quinqueradiata*)의 혈액성상 및 PSAT 부착효율

오승용* · 정유경
한국해양과학기술원 해양생물자원연구단

Effects of External Pop-up Satellite Archival Tag (PSAT) Tagging Method on Blood Indices and PSAT Attachment Efficiency of Yellowtail *Seriola quinqueradiata*

Sung-Yong Oh* and Yu-Kyung Jeong
Marine Bio-Resources Research Unit, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Korea

This study aimed to determine the effect of the pop-up satellite archival tag (PSAT) tagging method on the blood indices and PSAT attachment efficiency of yellowtail *Seriola quinqueradiata* (mean body weight 10.2 kg). Based on tagging method, the fishes were divided in four different groups: untagged (control), single anchor (SA), dual anchor (DA), and silicon tube (ST). The blood indices and PSAT attachment efficiency were investigated on days 1, 14, and 28 after tagging PSAT on the muscle below the dorsal fin for each tagging method in triplicates. After 28 days of tagging with PSAT, a significant increase was observed in plasma glucose level in the ST group and in total protein level in the DA and ST groups. The levels of glucose, total protein, and total cholesterol in the SA group after 28 days of tagging were significantly lower than in the control group. The efficiencies of PSAT attachment were 0% in the SA and DA groups on 14 days post-tagging, and 66.7% in the ST group on 28 days post-tagging. The study results indicate that the proper PSAT tagging method is the ST type. The information obtained in this study presents valuable data that provide the required PSAT operational tool for industrial development and ecological monitoring of yellowtail.

Keywords: Yellowtail, Biologger, Physiological responses, Tagging method

서 론

해양생물자원 서식처 및 산란장 파악, 자원량 추정 및 다양한 해양 건설 공사 등의 해양활동으로 발생하는 해양생물자원의 반응 패턴 분석을 위해서는 대상 생물의 이동경로, 서식수심 및 서식수온 등 GIS (geographic information system) 기반의 기초 자료 확보가 필수적이다(Moon et al., 2011; Musyl et al., 2011). 이를 위해 대상생물의 표지방류 연구가 이루어져 왔으며, 띠형표지표나 화살형표지표와 같은 재래식표지표(Oh et al., 2002; Hwang et al., 2012), 음향 송수신기를 이용하는 acoustic telemetry system (Heo et al., 2019), 그리고 pop-up satellite archival tag (PSAT)와 같은 electric tag (Domeier et al., 2003; Moon et al., 2011; Im and Jo, 2015) 등이 활용되어 왔다. 이 중 PSAT의 경우 대상생물에 부착하여 일정기간 동안의 서식온도, 깊이 및 지리 위치를 저장한 뒤 지정된 날짜에 대상생물에서 자동 발락되어 저장된 자료를 argos 위성으로 전송하는 첨단 표지법(Musyl et al., 2011; Park and Oh, 2018)으로, 경골어류, 상어나 가오리 같은 판새어류, 그리고 바다거북의 수평·수직 운동(Wilson et al., 2006), 거주시간(Domeier and Nasby-Lucas, 2008), 방류 후 폐사율(Swimmer et al., 2006) 등을 조사하기 위한 해양 어업 연구(Thorsteinsson, 2002; Bolle et al., 2005)에 그 활용도가 증가하고 있다. 이와 같은 PSAT는 주로 대형 해양 포유류, 참다랑어, 상어 및 바다거북과 같은 대형 해양생물을 대상으로 큰 규모의 이동 추적 및 생리학적 연구

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 664. 3310 Fax: +82. 51. 955. 3981
E-mail address: syoh@kiost.ac.kr

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.

https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0038
Korean J Fish Aquat Sci 54(1), 38-45, February 2021
Received 9 February 2021; Revised 16 February 2021; Accepted 17 February 2021
저자 직위: 오승용(연구원), 정유경(기능원)

Copyright © 2021 The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

(A)
(B)
(C)

Fig. 4. Status of yellowtail *Seriola quinqueradiata* external skin after 28 days tagging with dummy mrPAT under different tagging methods. A, single anchor (SA); B, dual anchor (DA); C, silicon tube (ST). mrPAT, mark report PAT.

착 후 부착효율에 대한 연구는 거의 이루어진 바가 없지만, 부착 개체의 자료 회수율 등의 자료의 분석을 통해 PSAT 이용 가능성을 알아볼 수 있다. Musyl et al. (2011)은 총 19종을 대상으로 731개의 PSAT 자료를 분석한 결과 PSAT의 자료 회수율은 평균 79%(즉, PSAT 577개)이었지만, 이 79% 중 프로그램된 pop-up 기간이 유지된 것은 18%뿐이었고, 82%는 조기 분리되는 것으로 보고하였다. 또한 전체 기간으로 볼 경우 PSAT에 프로그램된 pop-up 기간의 41% 정도만 대상생물에 부착된 상태로 유지되는 것으로 볼 때 부착방법은 PSAT 활용에 있어 매우 중요한 부분을 차지한다는 것으로 알 수 있다. 물론 PSAT 부착 후 방류된 대상생물이 어획, 폐사 및 이외의 다양한 이유로 인해 프로그램된 pop-up 기간 이전에 자료의 회수가 이루어질 가능성은 항상 존재하지만, PSAT의 활용을 통한 최대한의 자료 확보를 위해서는 대상생물별 최적 부착방안에 대한 conditioning 기술 개발이 지속적으로 필요할 것으로 생각된다.

부착구 SA, DA 및 ST의 부착 28일째의 방어 체외 상태를 Fig. 4에 나타내었다. 부착구 SA와 DA의 경우 모두 등근육 일부가 떨어져 나가 파였고, 방어의 유영으로 인해 부착된 dummy mrPAT의 등지느러미 뒷부분의 접촉에 따른 붉은 환부가 생성되는 현상을 보였다. 부착구 ST 경우 silicon tube 삽입 부위의 환부가 확대되고 SA 및 DA 부착구에서 나타난 접촉 환부가 관찰되었다. 본 연구 결과 PSAT 부착 후 시간 경과에 따라 부착부위의 환부 확대 또는 일부 근육이 손실되는 현상이 나타나는 것으로 볼 때 이와 같은 이유로 인해 PSAT의 부착효율 감소 및 스트레스 원인으로 작용하는 것으로 생각된다. PSAT에 비해 소형 tag인 PIT는 근육 및 복강 삽입 후 pikeperch의 경우 14일 후(Zakęś et al., 2019)에, gilthead sea bream *Sparus auratus*의 경우 20일 후(Navarro et al., 2006)에 상처가 완전히 회복되는 것으로 나타났다. 반면 PSAT는 PIT tag에 비해 크기가 크고 무게가 상당하기 때문에 체외 부착으로 인한 시간 경과에 따른 상처 확대 현상을 고려한 PSAT 활용 방안 및 향후 개선 방법 연구가 지속적으로 필요하다.

이상의 결과에서 방어의 체외 부착을 위한 PSAT 최적 부착 방법은 silicon tube를 활용한 방식으로 일부 혈액학적 지표에서 유의적인 증가가 있었지만, 체외 상처를 최소화하고 tag의 부착효율을 최대로 유지할 수 있어 향후 방어 자원의 양식 산업적 개발뿐만 아니라 회유 경로 및 생태·생리학적 정보 수집 시 PSAT 운용을 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 재단법인 한국연구재단의 재원으로 지원된 "ICT 융합 기반 해양 바이오로깅 요소기술연구(NRF-2019M1A5A1102274, PN68570)"와 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원(20203030020080, 해상풍력 단지 해양공간 환경 영향 분석 및 데이터베이스 구축, PN68720)으로 이루어진 연구입니다. 본 연구의 진행 및 분석을 도와주신 박진우박사, 이영옥, 장석일, 정일형 연구원 및 박용주 책임기술원께 감사드립니다.

References

Block BA, Dewar H, Farwell C and Prince ED. 1998. A new satellite technology for tracking the movements of Atlantic bluefin tuna. Proc Natl Acad Sci USA 95, 9384-9389. https://doi.org/10.1073/pnas.95.16.9384.
Bolle LJ, Hunter E, Rijnsdorp AD, Pastoors MA, Metcalfe JD and Reynolds JD. 2005. Do tagging experiments tell the truth? Using electronic tags to evaluate conventional tagging data. ICES J Mar Sci 62, 236-246. https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.11.010.
Chang DS, Yoo JT, Kim BY, Lee SJ, Kwon DH, Koo JH, Ahn JM and Oh IY. 2010. Acharacteristics on the forming of fishing ground and population ecological study of Yellow tail *Seriola quinqueradiata*, in the coastal waters off Gimnyeong of Jeju Island, Korea. Korean J Fish Technol 46, 406-415. https://doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.4.406.
Cho SH, Myoung JG, Kim JM, Lee JH and Park YJ. 2002. Study on the young yellowtail *Seriola quinqueradiata* (Carangidae, Perciformes) from drifting seaweeds in the coast of Tongyeong, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 35, 583-588. https://doi.org/10.5657/kfas.2002.35.6.583.

번호	논문 증빙
9	방어의 바이오로거 부착효율 및 혈액 성상에 미치는 부착방법의 영향

[PA-37]

방어의 바이오로거 부착효율 및 혈액 성상에 미치는 부착방법의 영향

오승용* · 정유경
한국해양과학기술원 해양생물자원연구단

어류 이동 분석용 바이오로거의 순치기술(conditioning) 개발을 위해 방어 *Seriola quinqueradiata* (평균 무게 10.2±1.4 kg)를 대상으로 부착방법에 따른 시간 경과별 부착효율 및 혈액성상 영향을 조사하였다. 부착방법은 비부착 대조구(control, C), 단일 닻(single anchor, SA), 복수 닻(dual anchor, DA) 그리고 실리콘 튜브(silicon tube, ST) 타입으로 각 3마리씩 실험어의 등근육에 dummy mrPSAT (pop-up satellite archival tag, PSAT) 부착 후 1, 14, 28일째에 각각 부착효율 및 혈액성상 변화를 조사하였다. 부착 1일째의 경우 모든 부착방법의 바이오로거가 안정적으로 부착해 있었지만, 부착 14일째의 경우 SA와 DA 타입은 100% 탈락하였고 ST 타입은 모두 부착 상태를 유지하였다. 부착 28일째의 경우 ST 타입은 66.7%의 부착상태를 유지하였다. 부착상태의 경우 모든 부착방법이 시간 경과에 따라 부착부위가 벌어지는 등 환부가 넓어지는 현상이 나타났으며, 닻 타입의 경우 등근육이 파이는 현상을 보였다. 또한 모든 부착방법에서 방어의 유영으로 dummy mrPSAT의 접촉에 따른 등근육 뒷부분에 상처가 발생하였다. 바이오로거 부착방법에 따른 혈액성상의 경우 부착 1일과 14일 후에는 모든 실험구에서 hemoglobin, hematocrit, Na+, Cl-, K+, total cholesterol, glucose, total protein은 유의한 차이가 없었지만(P>0.05), 28일째의 경우 대조구와 부착개체의 glucose, total protein 그리고 total cholesterol은 유의한 차이를 보였다(P<0.05). 이상의 결과에서 ST 타입이 가장 오래 바이오로거 부착을 유지할 수 있었지만, 시간 경과에 따라 부착부위뿐만 아니라 바이오로거로 인한 환부가 발생하고 생리적 영향이 있는 것으로 나타났다. 본 연구는 재단법인 한국연구재단의 재원으로 지원된 "ICT 융합 기반 해양 바이오로깅 요소기술연구(NRF-2019M1A5A1102274, PN68570)"와 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원(20203030020080, 해상풍력 단지 해양공간 환경 영향 분석 및 데이터베이스 구축, PN68720)으로 이루어진 연구입니다.

* 교신저자 : syoh@kiost.ac.kr

번호	관련증빙 명
11	국내 SCIE 논문

Ocean Science Journal
https://doi.org/10.1007/s12601-021-00015-1

Online ISSN 2005-7172
Print ISSN 1738-5261

REVIEW

A Review: Marine Bio-logging of Animal Behaviour and Ocean Environments

Hyunjae Chung[1,2] · Jongchan Lee[1,3,4] · Won Young Lee[1]

Received: 26 October 2020 / Revised: 28 December 2020 / Accepted: 3 January 2021
© Korea Institute of Ocean Science & Technology (KIOST) and the Korean Society of Oceanography (KSO) and Springer Nature B.V. 2021

Abstract
Recent technologies have allowed researchers to observe animal behaviour and monitor their surrounding environments by deploying electronic sensors onto the animals. So-called 'bio-logging' (also known as animal telemetry, biotelemetry, or animal-borne sensors) has been widely used to study marine animals that are difficult for humans to observe. In this study, we (1) review the types of sensors used, the animal taxa studied, and the study areas in marine bio-logging publications from 1974 to 2019; (2) introduce the main topics in behavioural and environmental marine bio-logging studies; and (3) discuss suggestions for future marine bio-logging studies. We expect that technological advances in new sensors will enhance the ability of both behavioural ecologists and oceanographers to explore animal movements, physiology and marine environments. In addition, we discuss future perspectives of bio-loggers to improve data acquisition and accuracy with longer battery life for applying bio-logging techniques to broader species.

Keywords Animal telemetry · Bio-logging · Marine animal · Marine ecosystem · Tagging

1 Introduction

Modern technologies have allowed us to use small electronic devices attached to animals to log data. The attachment of biological sensors onto animal bodies has enabled researchers to collect behavioural data from free-ranging animals in wild conditions. The technique has been widely used to study animals that are difficult to observe, such as marine species, measuring both movement information and physiological characteristics, such as heart rate and brain waves (Roper-Coudert and Rory 2005; Wilmers et al. 2015; Heylen and Nachtsheim 2018). It can also be applied to gather environmental information about the animal's surroundings, such as the temperatures and conductivity of marine water mass (Boehme et al. 2009; March et al. 2020). With these advantages, bio-logging techniques have been a popular and useful tool to study environmental science, ecology, oceanography, and zoology (Hussey et al. 2015; Harcourt et al. 2019).

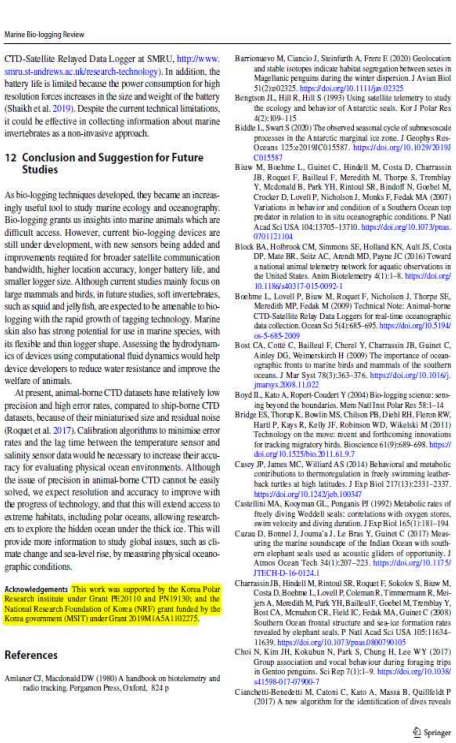
There are multiple terms used to describe these remote observation systems for logging data about an animal's behaviour, physiology, or environment (see Table 1). 'Biotelemetry' was originally used to describe the remote observation of marine life in situ (Amlaner and MacDonald 1980) and then, a new word, 'bio-logging' was suggested (Naito 2004) and defined as "the use of miniaturised animal-attached tags for logging and relaying animal movement for behaviour ecology, and physiology" (Rutz and Hays 2009). In addition, the terms 'animal telemetry' (Block et al. 2016) and 'animal-borne instrument/device/sensor' (McMahon et al. 2005; Jones et al. 2013) are often used. Hereafter, we will primarily use the term 'bio-logging' for these remote observation systems throughout the text.

Modern types of bio-logging were initiated after Kooyman (1965), when time-depth recording devices were used on Weddell seals (*Leptonychotes weddelli*) (Wilmers et al. 2015). Bio-logging was further applied to study emperor penguins (Kooyman et al. 1971) and fur seals (Kooyman et al. 1976). Subsequently, logging duration capacity was

✉ Won Young Lee
wonyounglee@kopri.re.kr

[1] Division of Polar Life Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon 21990, Republic of Korea
[2] Department of Biological Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea
[3] Program in Biomedical Science and Engineering, Inha University, Incheon 22212, Republic of Korea
[4] Department of Ocean Sciences, College of Natural Sciences, Inha University, Incheon 22212, Republic of Korea

Published online: 23 April 2021



CTD-Satellite Relayed Data Logger at SMRU, http://www.smru.st-andrews.ac.uk/research-technology). In addition, the battery life is limited because the power consumption for high resolution forces increases in the size and weight of the battery (Shaikh et al. 2019). Despite the current technical limitations, it could be effective in collecting information about marine invertebrates as a non-invasive approach.

12 Conclusion and Suggestion for Future Studies

As bio-logging techniques developed, they became an increasingly useful tool to study marine ecology and oceanography. Bio-logging grants us insights into marine animals which are difficult access. However, current bio-logging devices are still under development, with new sensors being added and improvements required for broader satellite communication bandwidth, higher location accuracy, longer battery life, and smaller logger size. Although current studies mainly focus on large mammals and birds, in future studies, soft invertebrates, such as squid and jellyfish, are expected to be amenable to bio-logging with the rapid growth of tagging technology. Marine skin also has strong potential for use in marine species, with its flexible and thin logger shape. Assessing the hydrodynamics of devices using computational fluid dynamics would help device developers to reduce water resistance and improve the welfare of animals.

At present, animal-borne CTD datasets have relatively low precision and high error rates, compared to ship-borne CTD datasets, because of their miniaturised size and residual noise (Roquet et al. 2017). Calibration algorithms to minimise error rates and the lag time between the temperature sensor and salinity sensor data would be necessary to increase their accuracy for evaluating physical ocean environments. Although the issue of precision in animal-borne CTD cannot be easily solved, we expect resolution and accuracy to improve with the progress of technology, and that this will extend access to extreme habitats, including polar oceans, allowing researchers to explore the hidden ocean under the thick ice. This will provide more information to study global issues, such as climate change and sea-level rise, by measuring physical oceanographic conditions.

Acknowledgements This work was supported by the Korea Polar Research Institute under Grant PE20110 and PN19130, and the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) under Grant 2019M1A5A1102275.

References

Amlaner CJ, Macdonald DW (1980) A handbook on biotelemetry and radio tracking. Pergamon Press, Oxford, 824 p

Barrioneuvo M, Ciancio J, Steinfurth A, Frere E (2020) Geolocation and stable isotopes indicate habitat segregation between sexes in Magellanic penguins during the winter dispersion. J Avian Biol 51(2):e02325. https://doi.org/10.1111/jav.02325

Bengtson JL, Hill R, Hill S (1993) Using satellite telemetry to study the ecology and behavior of Antarctic seals. Kor J Polar Res 4(2):109–115

Biddle L, Swart S (2020) The observed seasonal cycle of submesoscale processes in the Antarctic marginal ice zone. J Geophys Res-Oceans 125:e2019JC015587. https://doi.org/10.1029/2019JC015587

Biuw M, Boehme L, Guinet C, Hindell M, Costa D, Charrassin JB, Roquet F, Bailleul F, Meredith M, Thorpe S, Tremblay Y, Mcdonald B, Park YH, Rintoul SR, Bindoff N, Goebel M, Crocker D, Lovell P, Nicholson J, Monks F, Fedak MA (2007) Variations in behavior and condition of a Southern Ocean top predator in relation to in situ oceanographic conditions. P Natl Acad Sci USA 104:13705–13710. https://doi.org/10.1073/pnas.0701121104

Block BA, Holbrook CM, Simmons SE, Holland KN, Ault JS, Costa DP, Maus BR, Seitz AC, Arendt MD, Payne JC (2016) Toward a national animal telemetry network for aquatic observations in the United States. Anim Biotelemetry 4(1):1–8. https://doi.org/10.1186/s40317-015-0092-1

Boehme L, Lovell P, Biuw M, Roquet F, Nicholson J, Thorpe SE, Meredith MP, Fedak M (2009) Technical Note: Animal-borne CTD-Satellite Relay Data Loggers for real-time oceanographic data collection. Ocean Sci 5(4):685–695. https://doi.org/10.5194/os-5-685-2009

Bost CA, Cotté C, Bailleul F, Cherel Y, Charrassin JB, Guinet C, Ainley DG, Weimerskirch H (2009) The importance of oceanographic fronts to marine birds and mammals of the southern oceans. J Mar Syst 78(3):363–376. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.11.022

Boyd IL, Kato A, Ropert-Coudert Y (2004) Bio-logging science: sensing beyond the boundaries. Mem Natl Inst Polar Res 58:1–14

Bridge ES, Thorup K, Bowlin MS, Chilson PB, Diehl RH, Fléron RW, Hartl P, Kays R, Kelly JF, Robinson WD, Wikelski M (2011) Technology on the move: recent and forthcoming innovations for tracking migratory birds. Bioscience 61(9):689–698. https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.9.7

Casey JP, James MC, Williard AS (2014) Behavioral and metabolic contributions to thermoregulation in freely swimming leatherback turtles at high latitudes. J Exp Biol 217(13):2331–2337. https://doi.org/10.1242/jeb.100347

Castellini MA, Kooyman GL, Ponganis PJ (1992) Metabolic rates of freely diving Weddell seals: correlations with oxygen stores, swim velocity and diving duration. J Exp Biol 165(1):181–194

Cazau D, Bonnel J, Jouma'a J, Le Bras Y, Guinet C (2017) Measuring the marine soundscape of the Indian Ocean with southern elephant seals used as acoustic gliders of opportunity. J Atmos Ocean Tech 34(1):207–223. https://doi.org/10.1175/JTECH-D-16-0124.1

Charrassin JB, Hindell M, Rintoul SR, Roquet F, Sokolov S, Biuw M, Costa D, Boehme L, Lovell P, Coleman R, Timmermann R, Meijers A, Meredith M, Park YH, Bailleul F, Goebel M, Tremblay Y, Bost CA, Mcmahon CR, Field IC, Fedak MA, Guinet C (2008) Southern Ocean frontal structure and sea-ice formation rates revealed by elephant seals. P Natl Acad Sci USA 105:11634–11639. https://doi.org/10.1073/pnas.0800790105

Choi N, Kim JH, Kokubun N, Park S, Chung H, Lee WY (2017) Group association and vocal behaviour during foraging trips in Gentoo penguins. Sci Rep 7(1):1–9. https://doi.org/10.1038/s41598-017-07903-7

Cianchetti-Benedetti M, Catoni C, Kato A, Massa B, Quillfeldt P (2017) A new algorithm for the identification of dives reveals

번호	관련증빙 명
12	부착 테스트 결과표

〈종별 부착 방법에 따른 테스트 개체수, 신호 수신 성공 개체수, 총 신호 수신 기간〉

종	부착 방법	테스트 개체 수	신호 수신 성공 개체 수	총 바이오로깅 신호 수신 기간
재갈매기	배낭형	9	9	2019년 10월 22일 ~ 2021년 6월 8일
고방오리	배낭형	7	7	2020년 1월 15일 ~ 2020년 7월 29일
쇠기러기	배낭형	10	10	2021년 2월 19일 ~2021년 5월 30일
참물범	밴드형	1	1	2020년 6월 8일

〈월별 수신 위치 데이터 수, 위성 수 평균값 및 표준편차〉

월	수신된 위치 데이터 수	위성 수 (평균)	위성 수 (표준편차)
1	9574	10.140	3.687
2	10046	10.166	3.697
3	12774	9.855	3.347
4	13391	10.359	3.390
5	10882	10.768	3.285
6	7722	11.850	3.156
7	9942	11.638	2.995
8	9704	11.503	2.987
9	8677	11.044	3.126
10	8002	10.471	3.299
11	9925	10.583	3.467
12	10163	10.239	3.565

번호	관련증빙 명
13	국외 SCIE 논문

micromachines

MDPI

Article

Remote Recognition of Moving Behaviors for Captive Harbor Seals Using a Smart-Patch System via Bluetooth Communication

Seungyeob Kim [1], Jinheon Jeong [1], Seung Gi Seo [1], Sehyeok Im [2], Won Young Lee [2,*] and Sung Hun Jin [1,*]

[1] Department of Electronic Engineering, Incheon National University, Incheon 22012, Korea; scape111@inu.ac.kr (S.K.); jih0806@inu.ac.kr (J.J.); 2020230530@inu.ac.kr (S.G.S.)
[2] Division of Polar Life Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon 21990, Korea; alex0127@kopri.re.kr
* Correspondence: wonyounglee@kopri.re.kr (W.Y.L.); shjin@inu.ac.kr (S.H.J.)

Abstract: Animal telemetry has been recognized as a core platform for exploring animal species due to future opportunities in terms of its contribution toward marine fisheries and living resources. Herein, biologging systems with pressure sensors are successfully implemented via open-source hardware platforms, followed by immediate application to captive harbor seals (HS). Remotely captured output voltage signals in real-time mode via Bluetooth communication were reproducibly and reliably recorded on the basis of hours using a smartphone built with data capturing software with graphic user interface (GUI). Output voltages, corresponding to typical behaviors on the captive HS, such as stopping (A), rolling (B), flapping (C), and sliding (D), are clearly obtained, and their analytical interpretation on captured electrical signals are fully validated via a comparison study with consecutively captured images for each motion of the HS. Thus, the biologging system with low cost and light weight, which is fully compatible with a conventional smartphone, is expected to potentially contribute toward future anthology of seal animals.

Keywords: biologging system; harbor seals; remote data capturing; Bluetooth communication

check for updates

Citation: Kim, S.; Jeong, J.; Seo, S.G.; Im, S.; Lee, W.Y.; Jin, S.H. Remote Recognition of Moving Behaviors for Captive Harbor Seals Using a Smart-Patch System via Bluetooth Communication. *Micromachines* **2021**, *12*, 267. https://doi.org/10.3390/mi12030267

Academic Editors: Hidetoshi Takahashi and Jeonghyun Kim

Received: 15 December 2020
Accepted: 25 February 2021
Published: 4 March 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

In the recent past, animal telemetry has been dramatically developed [1–3], and its importance in terms of key achievements is highly recognized due to its contribution toward marine fisheries and living resources. Moreover, technological advances which render remote sensing possible for animal species such as sharks, tunas, salmon, sturgeon, marine mammals, reptiles, and seabirds have been significantly expedited [4–15], leading to preferable accumulation of high-quality biological information and oceanographical observation during commute through ocean habitats. From this perspective, a biologging system is a core factor in the enhancement of an in-depth understanding of biological/physiological information, corresponding to body temperature, heart rate, blood or tissue oxygen saturation, tailbeat, sound, etc., and oceanographic variables such as pressure, light, temperature, salinity, and position, and biology [16].

Thus, with respect to biologging, multiple types of sensors have been applied to various animal taxa from insects to birds and mammals, and the number of papers on biologging subjects reached over 600 publications in 2014 [17]. Recent techniques enable miniaturizing the multiple sensors to a mass of 1–2 g such that even small-sized flying birds can be tracked to collect information of light intensity, atmospheric pressure and temperature, and acceleration [18]. Furthermore, for behavioral studies, acceleration provides locomotory information by interpreting three-dimensional movement at a resolution over 10 Hz [19]. This provides specific body posture or energy expenditure, which was limited in previous observational field studies. Thus, it especially gives opportunities to researchers to record swimming behaviors even when underwater by categorizing them into detailed movements [20].

of 7.74 ± 2.4 h, which enables to guarantee proper operation of the biologging system. Moreover, the output voltage signals and their derivatives as a function of time provide information on the behaviors of the captive HS, such as stopping, rolling, flapping, and sliding motions. Detailed quantitative information related to consumed energy and habitual motion can be subsequently interpreted with a high level of accuracy through real-time data recorded during the motion. The presented low-cost, easily detachable biologging systems can potentially be utilized for future research opportunities such as the culturing and early detection of disease in captive sea animals. Furthermore, PDMS encapsulants can be effectively utilized for the reliable detection of signals when exposed to seawater.

As one of practical applications, remotely accessible data capturing for the wild (or captive) sea animals, monitoring on physiological signal detection during physical surgery, which might be necessary for the monitoring respiratory rate (RR), Bluetooth based monitoring will be one of powerful application to address diving response during the surgery operation. Currently, most of physiological signals are monitored via wired electronic monitoring system as the Patient Monitoring System, GE Health Care Inc. Thus, with the help of the current platforms with Bluetooth application, complicated wired connection will be relieved via reliable Bluetooth communication protocols. In addition, if the experimental environment was in the wild rather than inside the zoo, a LoRa or Cat. M1 device will be adopted for a better data transmission environment. In parallel, the pressure sensors and their hybrid sensors including lab-made epidermal sensors can conceptually enhance the capability of bio-logging systems with code-division multiple access (CDMA) based communication for addressing within several hundreds of km range. This kind of system with Cat. M1 will be tested in wild animals attached with the bio-logging systems with recently developed skills in the group. Thus, the newly developed platform can enhance the limitation on detectable range, as compared with that of Bluetooth communication platform. More importantly, PBAS (Python Based Algorithm Software) was developed in this study and basic motion behaviors were evaluated, leading to automatic detection from remotely extracted data from bio-logging system. Moreover, additional data samples are essential to improve the reliability of the developed algorithm. Therefore, the adoption of a platform that enables to accumulate a lot of data to wild animals is planned, followed by addressing this issue in an independent study. In the future study, this pressure-based approach should be compared with the commonly used inertial measurement approaches with accelerometers, gyroscopes, and magnetometers. Thus, this platform is expected to be beneficial in the field of ethology for an understanding of animal behaviors and their prediction during mating and spawning seasons.

Supplementary Materials: The following are available online at https://www.mdpi.com/2072-666X/12/3/267/s1: Video S1.: HS moving.mp4.

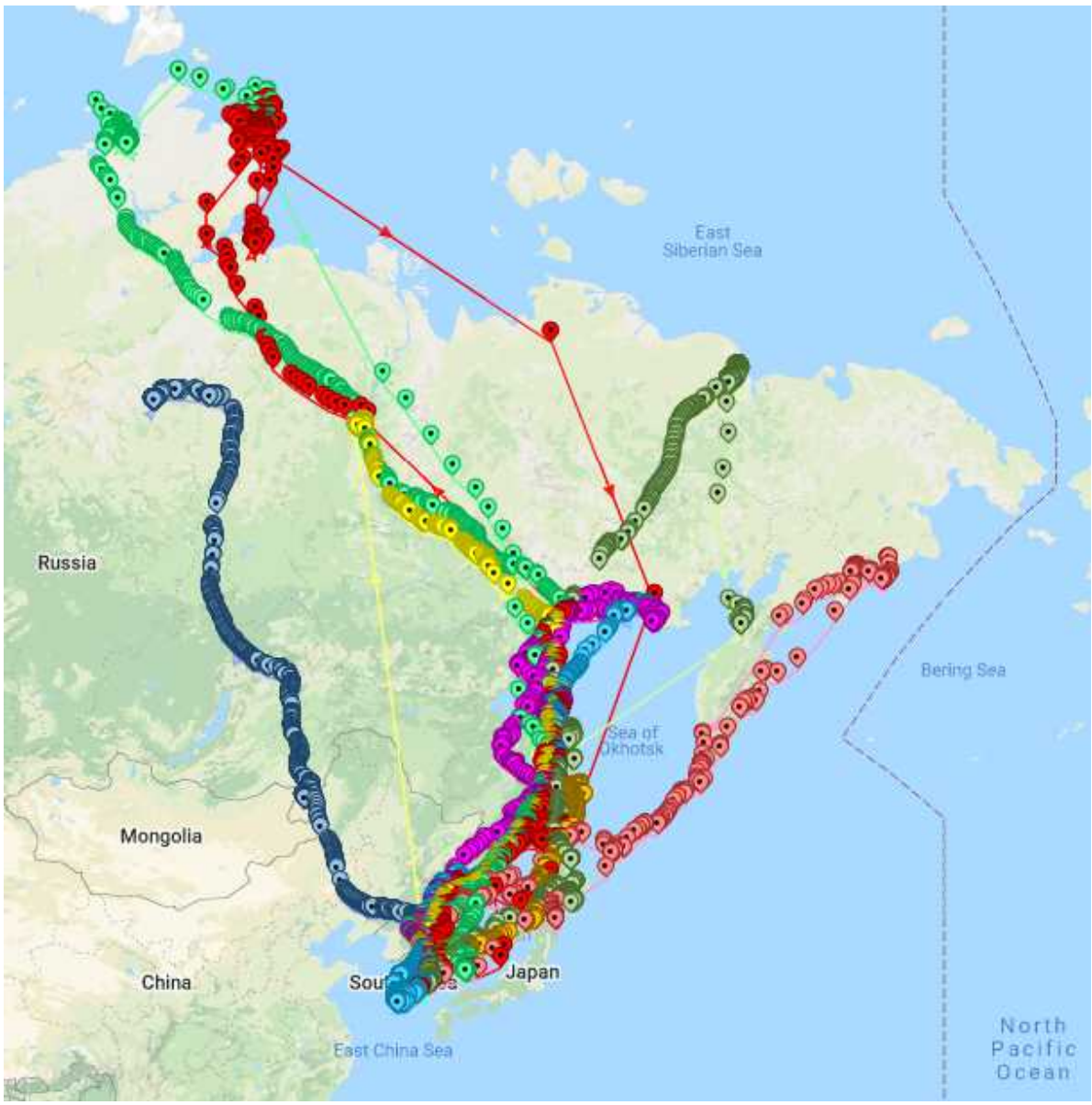
Author Contributions: Conceptualization, S.K. and S.H.J.; methodology, S.K. and S.H.J.; validation, S.H.J. and W.Y.L.; formal analysis, S.H.J. and W.Y.L.; investigation, W.Y.L. and S.I.; resources, W.Y.L.; data curation, S.K. and J.J.; writing—original draft preparation, S.H.J., S.K. and W.Y.L.; review and editing, S.H.J. and W.Y.L.; visualization, S.G.S.; supervision, S.H.J. and W.Y.L.; project administration, S.H.J. and W.Y.L.; funding acquisition, W.Y.L. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by the Korea Polar Research Institute under Grants PE20110 and PN19130 and the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Korea government (MSIT) under Grant 2019M1A5A1102275.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee of "Medical Care Team" at Cheongju Zoo (license number: 20030702, date of approval: 03 June 2019).

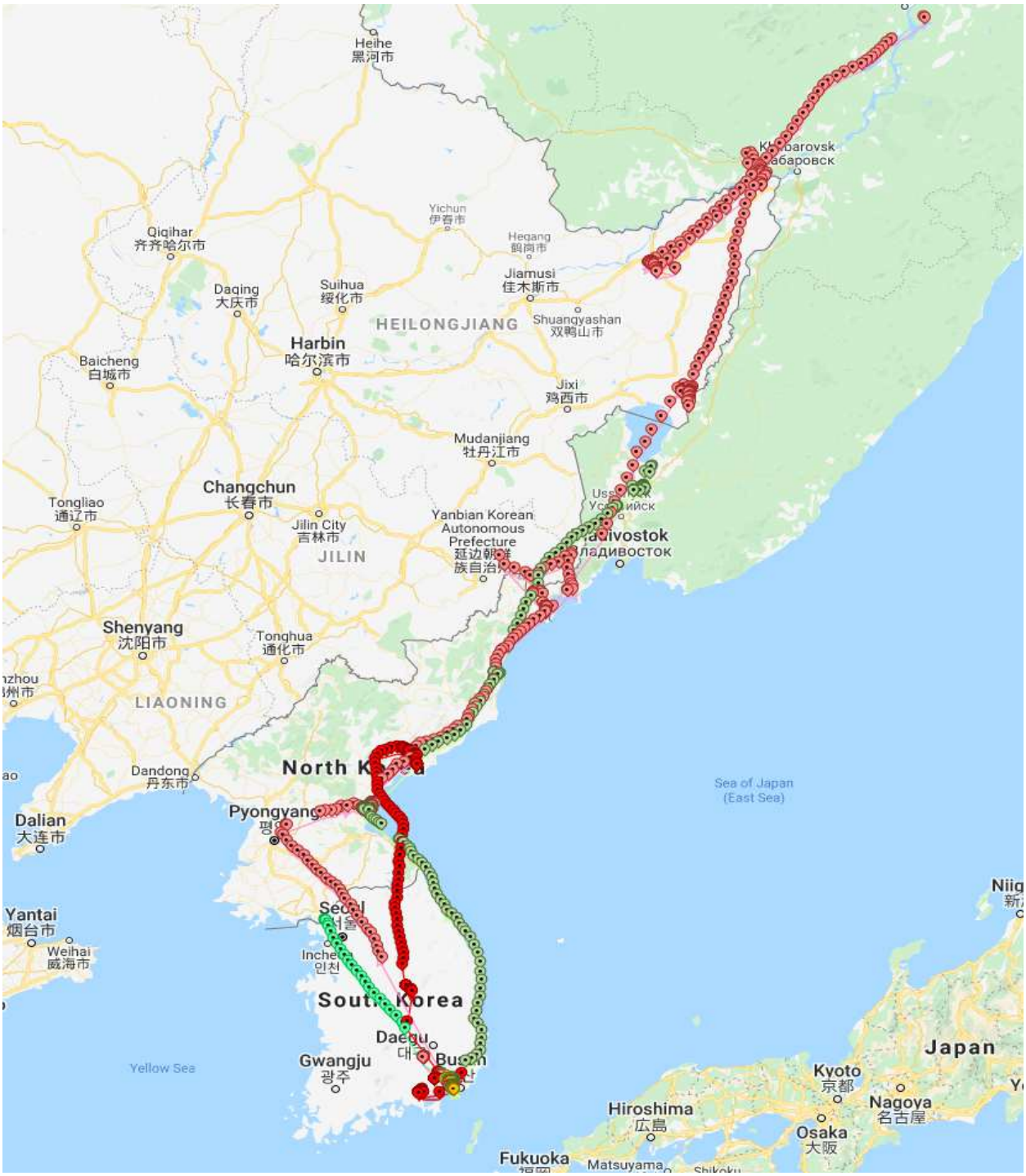
Acknowledgments: This study was conducted under permission of Cheongju Zoo (license number: 20030702). Authors appreciate Jung-ho Kim at Cheongju zoo for provision of the opportunity to apply bio-logging system toward Harbor Seals (HS) and their arrangement during the in vivo test of

번호	관련증빙 명
14	재갈매기 관측 지도



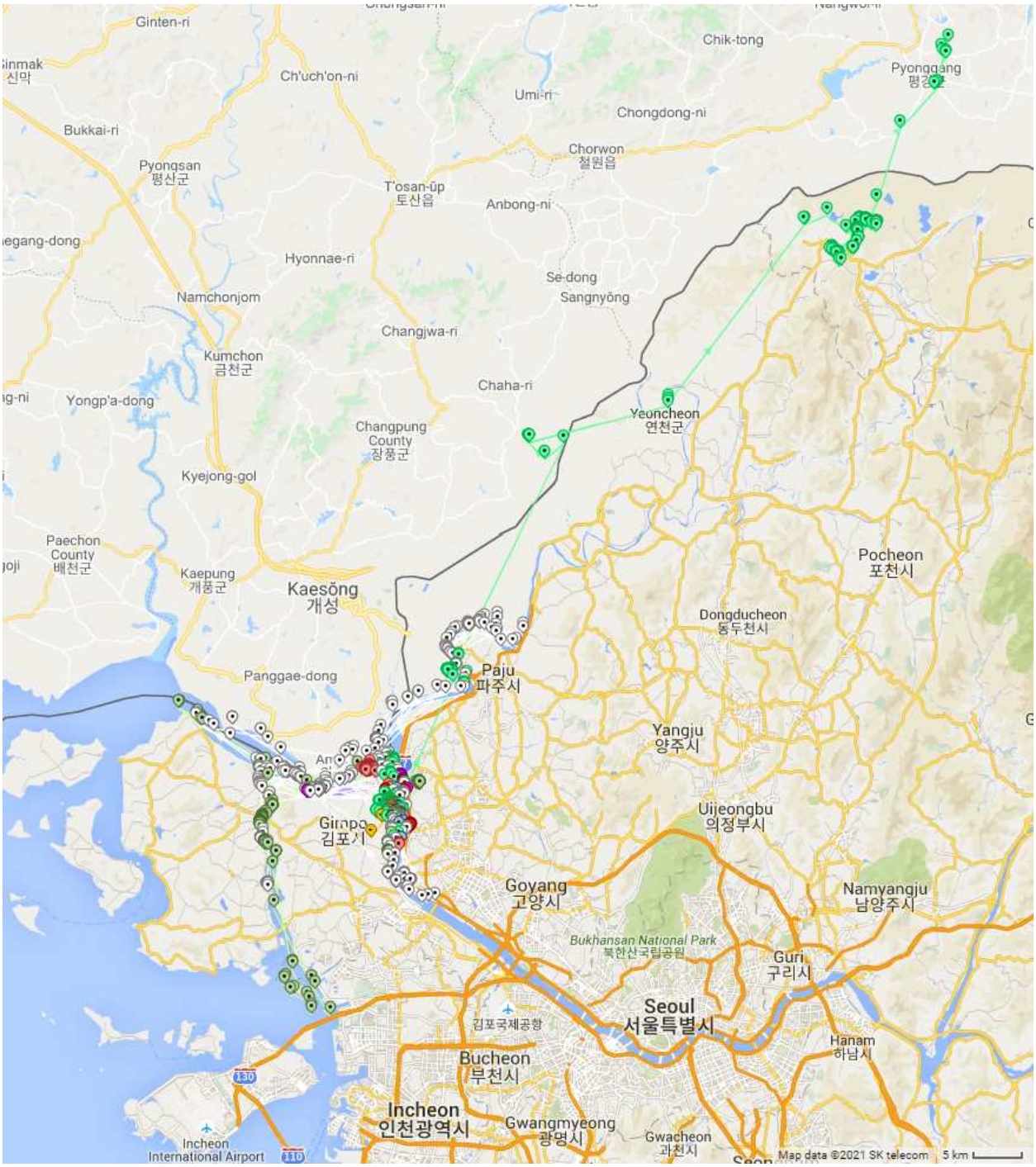
<2019년 10월 23일~2021년 5월 11일 재갈매기 9개체의 이동경로>

번호	관련증빙 명
15	고방오리 관측 지도



<2020년 1월 15일~2020년 7월 29일 고방오리 7개체의 이동경로>

번호	관련증빙 명
16	쇠기러기 관측 지도



<2021년 2월 19일~2021년 5월 11일 쇠기러기 10개체의 이동경로>

첨부2 **자체평가의견서**

자체평가의견서			
사업명	해양극지기초원천기술개발사업		
과제명	해양 바이오로깅 요소기술 개발 및 기반 구축 연구		
주관연구기관명	한국해양과학기술원	주관연구책임자 성명	백승재
총 연구기간	2019.10.10 ~ 2021.03.31 (18개월)	자체평가 해당 연구기간	2019.10.10 ~ 2021.03.31 (18개월)

Ⅰ. 연구개발 실적

※ 다음 각 평가 항목에 따라 자체 평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발성과의 우수성/창의성

■ 등급: (아주 우수)

■ 의견:

-본 과제의 목표인 어류 바이오로거 개발은 혁신적인 시도이며, 과제를 통해 국내 최초로 어류 바이오로거 개발 및 실증하였음.

-연구 목표인 연안 생물종에 대한 바이오로깅 적용을 위한 현장 연구를 완수하였으며, 사전 연구를 종합한 리뷰 논문 작성 및 신규 센서 활용 해양 포유류 연구 가능성을 확인하였음

2. 연구개발성과의 파급 효과

■ 등급: (아주 우수)

■ 의견:

-해외에 전량 의존하던 어류 바이오로거를 국내 최초로 개발하여 바이오로거를 활용하는 연구가 활성화될 것으로 예상됨.

-압력 센서 등을 활용한 신규 바이오로깅 기법을 가능성을 확인함으로써, 향후 바이오로깅 분야 연구 활성화에 기여할 것으로 기대됨

3. 연구개발성과에 대한 활용 가능성

■ 등급: (아주 우수)

■ 의견:

-현재 수테크社에 기술이전이 진행 중이며, 후속 과제를 통해 상용화가 가능할 것으로 판단됨.

-연안 생물종인 해양 조류와 포유류에 대한 포획 및 부착 방법을 확립하였고 이를 통한 활용 가능성을 점검하였음

4. 연구개발 수행의 성실도

■ 등급: (아주 우수)

■ 의견:

-제안서상의 연구목표 이외에 추가로 어류 바이오로거 개발 및 실증을 수행함.
-연구개발 목표를 이뤘으며, 이와 더불어 사육 중인 해양 포유류 개체에 대한 바이오로깅 적용을 실시 하였음

5. 공개 발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급: (아주 우수)

■ 의견: SCI(E) 논문 4건, KCI 논문 1건, 학술대회 3건, 특허출원 2건으로 당초 목표로 하였던 실적을 초과 달성함.

Ⅱ. 연구 목표 달성도

세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
해양 바이오로깅 요소기술 개발	36.875	100	바이오로깅 시작품 개발 및 SCI(E)급 논문 2건 작성
어류 바이오로깅 시범 적용	11.25	100	Target species(방어)에 바이오로깅을 시범 적용하여 모니터링을 수행하였음.
중장기 전략 수립	1.875	100	전문가 회의를 통한 예비타당성 평가대비 기획보고서를 작성함.
바이오로깅 부착 가능 생물종 자료 수집 및 타당성 평가	5	100	바이오로깅 관련 문헌 자료 정리 및 SCI(E)급 리뷰 논문 작성
부착 방법에 따른 특성 평가 및 적합한 부착법 제안	20	100	해양 조류 및 포유류를 대상으로 부착 테스트 진행 및 부착법 제안(배낭형, 밴드형)
연안 생물종 부착 적용	12.5	100	안정화된 부착 기술을 통한 데이터 획득을 바탕으로 SCI(E)급 논문 작성
행동 특성 및 서식환경 분석	12.5	100	재갈매기, 고방오리, 쇠기러기 서식 환경 및 관측 지도 작성
합계	100점		

Ⅲ. 종합 의견

1. 연구개발성과에 대한 종합의견

- 목표한 연구 내용을 달성하였으며 국내 바이오로깅 분야 원천기술 확보에 기여

2. 평가 시 고려할 사항 또는 요구사항

- 세부 목표의 달성도 및 연구 논문 작성 여부

3. 연구개발성과의 활용방안 및 향후 조치에 대한 의견

- 본 과제의 결과물에 대한 기업의 기술이전 확약 상태이며, 이를 토대로 상용화 과제를 수주하여 사업화 추진 중임

- 장기간 바이오로깅 운용을 통한 데이터 확보 및 바이오로거 고도화 사업 추진 필요

– 바이오로깅을 활용한 후속 연구가 진행된다면 여러 분류군에 대한 확대 적용이 가능할 것으로 기대됨

Ⅳ. 보안성 검토

1. 연구책임자의 의견

2. 연구기관 자체의 검토 결과

첨부3 **연구개발결과 활용계획서**

연구개발결과 활용계획서			
사업명	해양극지기초원천기술개발사업		
과제명	해양 바이오로깅 요소기술 개발 및 기반 구축 연구		
주관연구기관명	한국해양과학기술원	주관연구책임자 성명	백승재
총 연구기간	2019.10.10 – 2021.03.31 (18개월)	자체평가 해당 연구기간	2019.10.10 – 2021.03.31 (18개월)

1. 연구성과 및 활용 현황

과학기술/학술적 연구성과 (단위: 건)

전문학술지 논문게재				초청 강연 실적	학술대회 논문발표		지식재산권				수상 실적	출판실적	
국내논문		국외논문			국내	국제	출원		등록			저역서	보고서
SCI	비SCI	SCI	비SCI				국내	국외	국내	국외			
1	1	3			3		2						

전문학술지 논문게재 성과정보

과제번호	게재연월	논문제목	총저자명	출처	학술지명	권(호)	학술지구분	sci 여부	impact Factor	국제공동 연구논문	기여도
2019M1A5A1102274	202012	Storage Class Memory Based Hybrid Memory System for Practical Remote Sensing	Koo, Sungmin; Seo, Jungmin; Song, Yujae; Baek, Seungjae;	SCI	JOURNAL OF COASTAL RESEARCH	()	국외	SCI등재	0.793	아니오	100%
2019M1A5A1102274	202102	Underwater Acoustic Sensor Networks With Cost Efficiency for Internet of Underwater Things	Song, Yujae;	직접입력	IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS	68(2)	국외	SCI등재	7.515	아니오	33%
2019M1A5A1102275	2021년 4월	Remote Recognition of Moving Behaviors for Captive Harbor Seals Using a Smart-Patch System via Bluetooth Communication	6	10.3390/mi12030267	Micromachines	12(3)	SCIE	Y	2.523	N	50%
2019M1A5A1102275	2021년 6월	A Review: Marine Bio-logging of Animal Behaviour and Ocean Environments	3	10.1007/s12601-021-00015-1	Ocean Science Journal	online	SCIE	Y	0.726	N	50%

지식재산권 성과정보										
과제번호	출원등록연월	재산권구분	출원등록 구분	발명제목	출원등록인	출원등록국	발명자명	출원등록번호	활용형태	기여도
2019M1A5A1102274	20200626	특허	출원	해양생물 데이터 수집장치	한국해양과학기술원	대한민국	백승재;구성민;김수미;송유재	10-2020-0078762	제품화	100
2019M1A5A1102274	20210324	특허	출원	해양생물 데이터 수집장치	한국해양과학기술원	대한민국	백승재;구성민;김용재	10-2021-0038126	제품화	100

산업지원 및 연구성과 활용 (단위: 건)					
기술확산			연구성과활용(사업화 및 후속연구과제 등)		
기술실시계약체결	기술지도	기술평가	후속연구추진	사업화추진중	사업화완료
			2	1	

국내외 기술료 징수 현황 (기업화 완료 또는 기술실시계약 체결 시 기재)	
징 수 조 건	
징 수 현 황	백만 원(전년도말 현재)

기업화 성과 (기업화 완료 또는 추진 중인 경우 반드시 기재)			
업 체 명		기업화 완료[ ] 기업화 예정[ ]	년 월 일
제 품 명		제 품 용 도	
기업화이용유형 중 택일	신제품개발[ ], 기존제품 개선[ ], 신공정개발[ ], 기존공정개선[ ], 기타[ ]		

경제적 파급 효과 (연구기간 실적)					
수입대체 효과 (백만 원/년)	수출증대 효과 (백만 원/년)	매출증대 효과 (백만 원/년)	생산성향상 효과 (백만 원/년)	고용창출 효과 (인력양성 인원수)	그 밖의 효과

향후 경제적 기대 효과					
수입대체 효과 (백만 원/년)	수출증대 효과 (백만 원/년)	매출증대 효과 (백만 원/년)	생산성향상 효과 (백만 원/년)	고용창출 효과 (인력양성 인원수)	그 밖의 효과

2. 연구개발결과 활용 계획 (해당항목에 "○" 표시)

기술이전	기업화	후속연구 추진	타 사업 활용	그 밖의 목적 활용	연구결과 활용 중단
○		○	○		

가. 당해연도 활용계획 (6하 원칙에 따라 구체적으로 작성)

-연구책임자(백승재)를 포함한 연구원 7인이 2021년 4월부터 '해양 바이오로거 고도화 및 상용화' 과제를 수행하고 있으며, 해양 바이오로거의 상용화를 위해 본 과제에서 개발된 해양 바이오로거 시작품을 고도화할 예정임.

-연구책임자(이원영)를 포함한 연구원 3인이 2021년 11월부터 계획된 남극 현장조사에서 해양동물 포획 기술을 활용한 바이오로깅을 수행할 예정이며, 약 20마리의 웨델물범을 대상으로 GPS, 수심기록계 등을 부착함으로써 물범의 서식지 행동권을 밝히고 계절에 따른 이동경로를 연구할 계획

나. 활용방법

-해양 동물에 바이오로거를 부착하여 어족 자원, 환경, 생태, 기후 변화등의 연구에서 활용.

-해양동물 포획 기술을 응용하여 현장에서 적용하며, GPS자료 분석기술 등을 활용하여 동물 움직임을 세분화하여 구분하는데 활용

다. 차년도 이후 활용계획 (6하 원칙에 따라 구체적으로 작성)

-연구책임자(백승재)는 수테크社에 해양 바이오로거 기술이전을 실시하여 사업화 및 상용화를 진행할 예정임.

-연구책임자(이원영)는 2022년 이후 한국 및 극지 지역에서 해양 동물을 대상으로 포획 및 바이오로깅을 수행할 계획을 갖고 있으며, 매년 약 20~30마리 개체를 대상으로 기존 바이오로거 및 신규 센서를 부착하여 동물 행동을 연구하고 생태 환경을 측정하는데 활용할 계획을 잡고 있음

3. 기대효과

-현재 바이오로거는 고비용으로 인해 연구에 활발히 사용되지 못하고 있음. 따라서, 순수 국내 기술로 개발된 어류 바이오로거를 통해 바이오로거 사용의 활성화를 이끌어 어족 자원, 환경, 생태, 기후 변화 등의 영역에서 성과를 올릴 것으로 예상됨.

-향후 연구개발결과 활용을 통해 관련 연구 분야 인력양성(석사 1명, 박사 1명)을 기대하고 있으며, 바이오로깅 관련 분야의 인프라를 구축하는데 효과적일 것으로 기대

4. 문제점 및 건의사항

※ 연구성과의 제고를 위한 제도·규정 및 연구관리 등의 개선점