

해양생물의 연속 생리반응 관찰을 위한
광학센서 응용 연구기반 구축

Establishment of infra system for observation of
continuous physiological reaction on marine organisms
based on application of chemical optical sensor

2017. 2. 15

한국해양과학기술원

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “해양생물의 연속 생리반응 관찰을 위한 광학센서 응용 연구기반 구축”과
제의 최종보고서로 제출합니다.

2017. 2. 15.

총괄연구책임자 : 윤 성 진

참 여 연 구 원 : 윤 성 진

보고서 초록

과제고유 번호		해당단계 연구기간	2016.04.01 - 2016.12.31	단계 구분	1 단계
연구사업명	중사업명	해양생물의 연속 생리반응 관찰을 위한 광학센서 응용 연구기반 구축			
	세부사업명	해양생물의 연속 생리반응 관찰을 위한 광학센서 응용 연구기반 구축			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명				
연구책임자	윤 성 진	해당단계 참여연구원수	총 : 1 명 내부: 1 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 50,000 천원 기업: 천원 계 : 천원
		총연구기간 참여연구원수	총 : 1 명 내부: 1 명 외부: 명	총 연구비	정부: 50,000 천원 기업: 천원 계 : 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 울릉도·독도해양과학기지		참여기업명		
국제공동연 구					
위탁연구					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	54
<p>○ 광학센서 특성 파악을 위한 장치 성능 검증 및 실험 챔버 제작</p> <ul style="list-style-type: none"> - 생리대사 기작(행동, 호흡) 관찰을 위한 프로그램 성능 실험 - 광학센서(산소, 이산화탄소, pH)가 장착된 측정 시스템 성능 실험 및 대사기작 연구와 연계된 실험 챔버 제작 <p>○ 광학센서 신호 제어 모듈 구성 및 대사기작 통합 운영 모듈 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> - 생물의 행동-호흡 패턴과 광학센서 신호를 동시에 재현할 수 있는 실험 모듈 디자인 및 모듈 구성 - 각각의 광학센서 신호 제어, 저장 및 재현 가능한 대사기작 통합 운영 모듈 제작 및 가동 시스템 구축 					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	광학센서, 생리반응, 해양생물, 대사기작, 연속측정시스템			
	영 어	Chemical optical sensor, physiological reaction, marine organism, metabolic mechanism, continuous measurement system			

요 약 문

I. 제 목

: 해양생물의 연속 생리반응 관찰을 위한 광학센서 응용 연구기반 구축

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 해양생태계의 기초 생리 분야 연구는 생물의 에너지 소비와 연관되어 생존, 성장, 산란, 개체나 개체군의 중요한 핵심 정보를 얻을 수 있음. 그러나 대부분의 연구는 단기간 일시적인 시점에서의 연구가 이루어지고 있으며, 중장기 연속적인 생리 반응 기작 연구는 미흡한 상황임. 따라서 향후 생물의 기초 생리 연구는 연속적으로 장기간 생태-생리 연구를 통한 대사기작 및 현장에서 실시간으로 활용할 수 있는 시스템 구축이 필요함
- 이에 따라 본 연구는 해양생물의 연속 생리반응 관찰을 위한 광학센서 응용 연구기반을 구축하는데 목적을 두고 있음

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 대사기작 연구 실험 챔버 제작
- 광학센서 특성 파악을 위한 장치별 성능 실험
- 광학센서 신호 제어 모듈 구성
- 대사기작 통합 운영 모듈 구축
- 통합 운영시스템 현장 검증

IV. 연구개발결과

- 행동-호흡 동시 측정 가능한 실험 용기를 제작함 (5L)
- 행동 추적용 주변 기기를 부착하였으며 작동 실험을 수행함
- 예비실험을 위한 수온 (°C), pH, pCO₂ 센서 배치
- 행동추적용 영상센서 프로그램 성능 실험 수행
- O₂ 광학센서 성능 검증 실험 실시
- pH 광학센서 성능 검증 실험 수행
- pCO₂ 광학센서 성능 검증 실험 수행
- 호흡-행동을 동시에 측정할 수 있는 프로그램 제어 모듈 구성 (UI 제작)
- 광학센서 및 대사기작 측정 통합 운영 프로그램 개발
- 광학센서와 대사기작 통합 운영 시스템 현장 적용 실험 수행

V. 연구개발결과의 활용계획

- 생태-생리 특성 및 이화학적 환경요인을 동시에 연속 관찰 가능한 통합 시스템 구축
- 해양환경 및 생태계 관리 대안으로서 광학센서 기반 통합 시스템 적용
- 생물-화학 연속 흐름 감지시스템 도입을 통한 환경스트레스의 조기진단 체제 구축

S U M M A R Y

I. Title

: Estimation of infra system for observation of continuous physiological reaction on marine organisms based on application of chemical optical sensor

II. Necessity and Objective of Research

- The basic physiology of marine ecosystems research can be linked to the energy consumption of living organisms to obtain important information on survival, growth, laying, individuals and populations. However, most of the studies have been conducted in a short period and studies of the physiological response mechanism in the mid to long term have been inadequate. Therefore, future basic physiological studies of living organisms need to continuously construct metabolic mechanisms through long-term eco-physiological studies and systems that can be used in real time on site.
- The purpose of this research is to estimate of infra system for observation of continuous physiological reaction on marine organisms based on application of chemical optical sensor.

III. Contents and Extent of Research

- Experimental chambers production for metabolism research
- Device experiment for characterization of optical sensor
- Module configuration for optical sensor signal control
- Production of experiment module for integrated operation of

metabolism mechanism

- Field validation of integrated operating systems

IV. Research Results

- Designed experimental chamber for simultaneous measurement of behavior and respiration (5L)
- Behavior tracking device is attached and operation experiment is performed
- Water temperature ($^{\circ}\text{C}$), pH and pCO_2 sensor placement for preliminary experiments
- Performance test of image sensor program for behavior tracking
- Experiment to verify the performance of O_2 optical sensor
- Experiment to verify the performance of pH optical sensor
- Experiment to verify the performance of pCO_2 optical sensor
- Developed a program control module that can simultaneously measure respiration and behavior (UI production)
- Developed integrated operating program for measurement of optical sensors and metabolism
- Conducted field tests on integrated operation system of optical sensors and metabolism

V. Application of Research Results

- Establishment of an integrated measurement system that simultaneously observes eco-physiological and physicochemical environmental factors
- Application of optical sensor-based integrated system as an alternative to marine environment and ecosystem management

- Establishment of early diagnosis system of environmental stress through introduction of biological-chemical continuous flow detection system

K E Y W O R D S

KEYWORDS : 광학센서, 생리반응, 해양생물, 대사기작, 연속측정시스템
Chemical optical sensor, physiological reaction, marine organism,
metabolic mechanism, continuous measurement system

C O N T E N T S

Summary	iii
Keywords	v
Contents	vi
List of Table	viii
List of Figure	ix
Chapter I. Summary of research and development project	1
Section 1. Necessity of research and development	1
Section 2. Goals and linkages of higher research and development	4
Chapter II. Research and development trends of domestic and international technical development	6
Section 1. Research and development status at domestic and abroad	6
Section 2. Analysis of prior research and limitations of current technology	7
Section 3. Current technology of KIOST	8
Chapter III. Objectives of research and development and contents	11
Section 1. Final goal of research and development	11
Section 2. Main contents of research and development	11
Chapter IV. Research and development performance contents and results	13
Section 1. Research and development contents and Results	13

Chapter V. Research development attainment of objective and contribution to related field	27
Section 1. Achievement of research and development goal	27
Section 2. External contribution of research and developments ·	29
Chapter VI. Application plan of research and developments	33
Section 1. Benefit of research and developments	33
Section 2. Utilization of research and developments results	34
Chapter VII. References	35

List of Table

Table 1. Types of optical sensors and application examples	3
Table 2. Research and development detailed Research Objectives and Research Contents	11
Table 3. Achievement rate compared to research and development target (%)	26

List of Figure

Figure 1. Principle of measurement of metabolic mechanism by biological taxa	2
Figure 2. Applications of optical sensors in marine biology	3
Figure 3. Structure of experimental container that can simultaneously measure behavior and respiration	13
Figure 4. Photo of each part of the physiological activity measuring chamber	14
Figure 5. Peripheral device placement photos for optical sensor characterization	14
Figure 6. Developed behavior analysis program	15
Figure 7. Developed respiration and behavior measurement program	15
Figure 8. Water temperature, pH, pCO ₂ sensor placement process	16
Figure 9. Respiration and behavior measurement process and behavioral measurement variables	16
Figure 10. Behavioral pattern analysis of experimental animals using behavior tracking program	17
Figure 11. Optical oxygen sensor and experiment program	17
Figure 12. Continuous measurement of dissolved oxygen using optical oxygen sensor	18
Figure 13. PH optical sensor and experiment program	19
Figure 14. Continuous measurement of dissolved oxygen using pH optical sensor	19
Figure 15. pCO ₂ optical sensor and experiment program	20
Figure 16. Continuous measurement of dissolved oxygen using pCO ₂ optical sensor	20

Figure 17. Configuration of experimental system using optical sensor and breathing sensor	21
Figure 18. Experimental photo with integrated optical sensor module	21
Figure 19. Integrated operation program UI initial screen	22
Figure 20. Case of optical sensors and behavior tracking experiments using integrated operation program	22
Figure 21. Analysis of behavioral response patterns of experimental animals using integrated operation program under stable condition	23
Figure 22. Changes in oxygen saturation before and after oxygen sensor replacement	23
Figure 23. Oxygen consumption response of experimental organisms put into experimental chamber	24
Figure 24. Oxygen consumption response of 4 seabirds exposed to water temperature	24
Figure 25. Continuous pH concentration change pattern measured without sensor calibration	25
Figure 26. Continuous flow phase pH change of the on-site seawater	25
Figure 27. Continuous pCO ₂ concentration change pattern measured without sensor calibration	26
Figure 28. Change of pCO ₂ concentration in continuous stream of field seawater	26
Figure 29. Integrated operation program development course developed during the research period	31

목 차

요 약 문	i
목 차	xi
표 목 차	xiii
그림목차	xiv
제 1 장 연구개발과제 개요	1
제 1 절 연구개발의 필요성	1
제 2 절 연구개발의 상위 목표와 연계성	4
제 2 장 국내외 연구개발 동향	6
제 1 절 국내외 연구개발 현황	6
제 2 절 선행연구 분석 및 현 기술의 한계	7
제 3 절 현 기술의 해양 과기원 역량	8
제 3 장 연구개발 목표 및 내용	11
제 1 절 연구개발 최종 목표	11
제 2 절 연구개발 주요 내용	11
제 4 장 연구개발 수행 내용 및 결과	13
제 1 절 연구개발 내용 및 결과	13
제 5 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	27
제 1 절 연구개발목표 달성도	27
제 2 절 연구개발의 대외기여도	29
제 6 장 연구개발결과의 활용계획	33
제 1 절 기대효과	33

제 2 절 연구개발결과의 활용방안	34
제 7 장 참고문헌	35

표 목 차

표 1. 광학센서의 종류 및 적용 사례	3
표 2. 연구개발 세부연구목표 및 연구내용	11
표 3. 연구개발 목표 대비 달성율 (%)	26

그림목차

그림 1. 생물 분류군별 대사기작 측정 원리	2
그림 2. 해양생물 분야에서 광학센서 적용 사례	3
그림 3. 행동 및 호흡을 동시에 측정 가능한 실험 용기의 구조	13
그림 4. 생리활성 측정용기의 각 부분별 사진	14
그림 5. 광학센서 특성 파악을 위한 주변 장치 배치 사진	14
그림 6. 기 개발된 행동분석 프로그램	15
그림 7. 기 개발된 호흡 및 행동 측정 프로그램	15
그림 8. 수온, pH, pCO ₂ 센서 배치 과정	16
그림 9. 호흡 및 행동 측정 과정 및 행동측정 변수	16
그림 10. 행동추적 프로그램을 이용한 실험생물의 행동패턴 분석 자료	17
그림 11. 광학 산소센서 및 실험 프로그램 사진	17
그림 12. 광학 산소센서를 이용한 용존산소 연속 측정 자료	18
그림 13. pH 광학센서 및 실험 프로그램 사진	19
그림 14. pH 광학센서를 이용한 용존산소 연속 측정 자료	19
그림 15. pCO ₂ 광학센서 및 실험 프로그램 사진	20
그림 16. pCO ₂ 광학센서를 이용한 용존산소 연속 측정 자료용	20
그림 17. 광학센서 및 호흡 센서 활용 실험 체계 구성	21
그림 18. 광학센서 통합 모듈 적용 실험 사진	21
그림 19. 통합 운영 프로그램 UI 초기 화면	22
그림 20. 통합 운영 프로그램을 이용한 광학센서 및 행동 추적 실험 예	22
그림 21. 안정된 상태에서 통합 운영 프로그램을 이용한 실험생물의 행동반응 패턴 분석 자료	23
그림 22. 산소센서 교체 전과 후 산소포화도 변동 양상	23
그림 23. 실험용기에 투입된 실험생물의 산소소비 반응	24
그림 24. 수온에 노출된 감성돔 4개체의 산소소비 반응	24
그림 25. 센서 보정 없이 측정한 연속 pH 농도 변화 패턴	25
그림 26. 현장 해수의 연속 흐름상 pH 농도 변화	25

그림 27. 센서 보정 없이 측정한 연속 pCO ₂ 농도 변화 패턴	26
그림 28. 현장 해수의 연속 흐름상 pCO ₂ 농도 변화	26
그림 29. 연구기간 중 개발된 통합 운영프로그램 제작 과정	31

제 1 장 연구개발과제 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

- 다양한 환경변화에 따른 생태계 반응 규명 연구로서 생물의 생태-생리 특성을 동시에 연속적으로 관찰할 수 있는 시스템 도입이 필요함
 - 기후변화, 백화현상, 해양산성화, 해양오염 등 환경스트레스에 대한 생물의 생리반응 연구는 세포 단위에서부터 어류에 이르기까지 다양한 분류군을 대상으로 수행되어 왔음
 - 생태 분야에서는 해양생태독성평가기법을 사용하였으나 본 기법은 생물의 초기 발생률, 사망률, 기형률, 개체군 성장률과 같이 일정한 시간이 경과한 후 생물의 생태반응 자료를 수집하는데 국한되어 있음 (박 등 2008, 2005; 양 등 2008; 환경부, 2004; USEPA, 2002)
 - 생리 분야에서는 대부분 세포학, 분자생물학, 조직학적 연구 등 실험자의 주관적 판단에 따라 실험방법과 실험조건이 결정되는 반면 이를 표준화된 개념으로 정립한 예는 극히 드문 상태임

- 측정요소의 다양성 및 IT 기술과 융합된 창의적 연구 개발이 필요함
 - 해양생물을 이용한 연속적인 스트레스 반응 평가 기술은 이미 국내에서도 널리 인식되고 있음에도 불구하고 측정항목 및 실험생물의 생태-생리 반응 패턴을 연속적으로 측정할 수 있는 장치나 관련 센서의 조합이 미흡하여 연속 흐름을 이용한 생물의 생태-생리 반응 평가에 어려움이 있었음
 - 또한 환경스트레스 반응 연구는 수온, 염분, DO, pH, CO₂ 등 1~2개의 환경인자 조합을 통해 생물의 반응 패턴을 관찰하였으나 세 종류 이상의 환경인자를 연속적으로 측정할 수 있는 조합을 갖춘 연구는 미흡한 상황임
 - 따라서 최근까지 개발된 다양한 센서를 장착하여 환경과 생태적 특성을 동시에 감지할 수 있는 융합 기술 개발 및 이를 활용한 창의적인 연구가 필요함

2. 경제·산업적 측면

○ 해양생물을 대상으로 한 대사기작 측정 시스템의 개발 및 활용 미흡

- 대사기작 측정 장치는 “수질경보장치”라는 개념으로 담수 환경의 수질감시용으로 개발되어 왔으며, 이와 관련된 시장은 국내외로 점차 확대되고 있는 추세임
- 대사기작 측정 장치의 원리는 미생물 연료전지, 광합성 원리, 호흡량 변화 및 행동변화 등 다양한 생물의 생리기작 특성 변화를 주요 측정요소로 이용하고 있음 (그림 1)

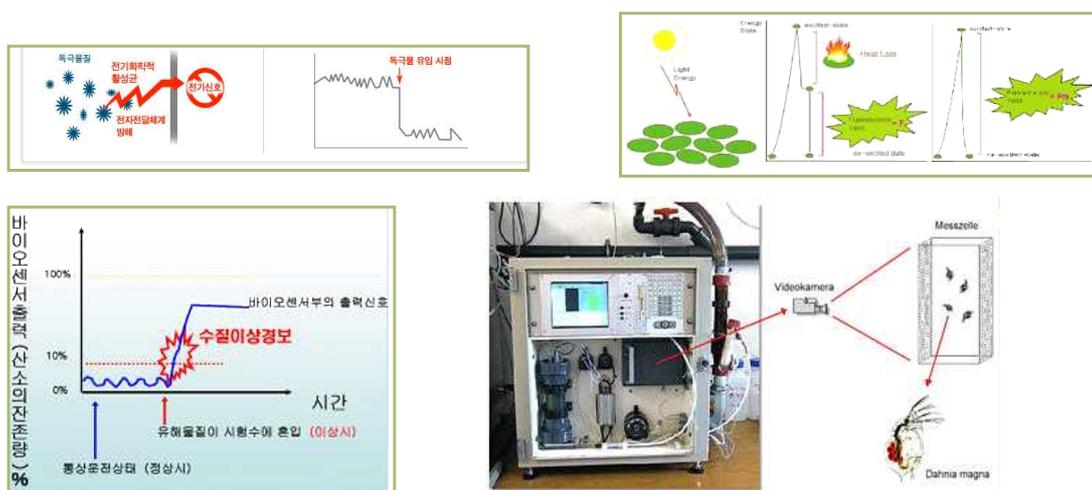


그림 1. 생물 분류군별 대사기작 측정 원리

- 이와 반면 해양에서의 대사기작 측정 장치는 주로 미생물 분야에서 소규모 시장이 형성되어 있으며, 일부 실험 기자재로서 산소소비율 측정 장치가 이용되고 있는 실정임
- 따라서 향후 해양에서 미생물보다 상위단계의 분류군에 대한 대사기작 측정 시스템이 개발 및 보급된다면 기후변화, 해양오염, 해양산성화 연구분야에 활용도가 높을 것으로 판단됨

○ 광학센서의 응용 기술을 활용한 융복합 연구 분야에 해양생물 분야의 적용 범위 확대 필요

- 광학센서는 제어의 용이함 때문에 센서의 전기신호 변환을 통해 다양한 산업분야

에서 활용되고 있음. 광학센서는 파장의 대역에 따라 분류되며, 생물의 대사기작 연구에 주로 가시광 센서를 사용하고 있음 (표 1)

표 1. 광학센서의 종류 및 적용 사례

	광학센서의 종류
가시광 센서	광전저 방출형 센서, 광도전형 센서, 광기전력센서, 이미지센서, 광파이버 센서
적외선 센서	양자성 센서, 초전형 센서, 서모파일 센서
자외선 센서	광전자 방출형 센서
방사선 센서	비례계수관, 신티레이더

- 광학센서를 활용한 실시간 측정시스템은 의료, 미생물 분해, 퇴적물 분석 등의 분야에서 사용되고 있음. 광소재를 이용한 산소, 이산화탄소, pH 센서를 이용하여 혈액, 미생물 분해 시 발생하는 부산물, 퇴적물 내 이화학적 특성 연구를 수행중임 (그림 2)
- 이와 반면 플랑크톤 크기 이상의 해양생물을 대상으로 한 다양한 생리 연구분야의 광학센서 적용 사례는 미흡한 상태이며, 향후 광학센서와 연계된 다양한 실험장치가 개발된다면 해양생물 분야에서의 경제적 파급효과가 증가할 것으로 판단됨

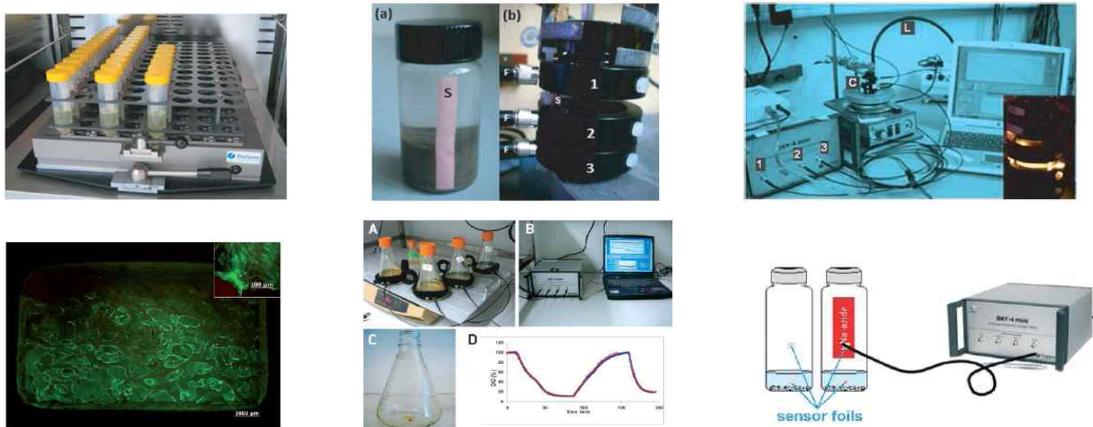


그림 2. 해양생물 분야에서 광학센서 적용 사례

3. 사회·문화적 측면

- 광학센서를 활용한 대사기작 연구를 통한 현안 문제 해결 시급

- 지표생물을 활용한 중장기 대사가작 모니터링과 수중환경요인의 변화 연구를 수행함으로써 해양오염 평가, 환경변화의 원인 규명, 기후변화 진단 및 예측에 필요한 기초 자료 제공
- 광학센서를 활용한 조간대 생물의 초기 생활사 연구를 통해 해양생태계의 천이 유발 원인을 규명에 필요한 기술을 제공할 필요성이 있음
- 모듈화 된 시스템 개발을 개발하고 보급함으로써 급작스런 해양환경변화를 감지하고 이에 대응할 수 있는 정책 수립에 기여

제 2 절 연구개발의 상위 목표와 연계성

1. 해양과기원 임무 및 경영목표 등과의 연계성

- 해양과학기술의 새로운 가치 창출을 위한 원천·기반연구 강화 전략과 연계
 - 광센서를 활용한 통합 대사가작 분석 시스템은 기존에 개발된 기술을 응용하여 생물의 행동, 호흡, 환경요인을 동시에 연속적으로 측정 가능하도록 통합형 모듈과 운용 프로그램으로 구성된 장치로서 원천·기반연구가 가능함
- 대사가작 관찰 시스템은 광센서를 장착하여 장기간 연속적으로 측정 가능한 기술로서 미생물부터 어류에 이르기까지 기후변화에 민감한 지표생물 탐색 및 반응 연구에 유용하게 사용될 수 있어 [해양연구를 통한 기후변화 예측 및 대응] 및 [지속가능한 해양생태계 관리 및 미래 유용자원 탐색·활용] 전략 수립에 목표에 부합함

2. 국가사회적 해양 현안문제 해결을 위한 기술 활용

- 경영목표 중 연구사업 부문 [해양·환경보전기술 개발 및 해양오염 관리체제 강화]의 오염해역 관리 및 환경복원기술 개발과 [지속가능한 해양생태계 관리 및 미래 유용자원 탐색·활용] 목표 중 환경변화에 따른 해양생태계 반응 이해 및 대응기술 연구 목표에 부합함
- 해양개발, 유해성 물질 유입, 해양오염 등과 같은 현안 문제를 파악하고 대응 방안을 마련하기 위한 정책 수립 자료 확보

3. 국가적 아젠다(정부 140대 국정과제, 제3차 과학기술기본계획 등)와의 연계성

○ 정부 140대 국정과제

- 13(해양 신성장 동력 창출 및 체계적인 해양관리) : 해양 R&D를 지속 추진하고 기초·응용 연구 확대 및 해양관측과 조사활동 강화
- 14(수산의 미래 산업화) : 해양생물 생태생리 연구를 기반으로 한 유망 품목의 R&D 집중 및 신개념 생산 시스템 확립
- 99(기상이변 등 기후변화 적응) : 이상기후 위험요인에 대응한 환경영향평가체계 구축, 기후변화로 인한 건강피해 최소화 및 생물다양성 관리
- 104(해양환경 보전과 개발의 조화) : 지속가능하고 쾌적한 해양환경 조성

○ 제3차 과학기술기본계획

- 중장기 창의 역량 강화 : 창의적 기초연구 강화, 창의·융합형 인재 양성·활용, 국가 발전의 거점으로 출연연 육성 등을 통한 연구개발 혁신역량 강화
- 출연연 원천기술 창출기지 역할 강화 : 통합형 분석시스템 개발을 통한 원천기술 창출

제 2 장 국내외 연구개발 동향

제 1 절 국내외 연구개발 현황

1. 국내 연구개발 동향

가. 소수의 연구자에 의해 장기간 연속적인 대사기작 반응 연구를 수행 중임

○ 국내 기술을 이용한 연속적인 측정기법을 개발함으로써 생물의 연속적인 호흡생리 반응 연구를 수행하였음

- 생물의 연속적인 호흡생리 반응 연구는 어류와 패류의 내인성 리듬(Kim et al., 1996a; Kim et al., 2002a, Kim et al., 2003a; Yoon, 2003), 수온과 염분 변화(Kim et al., 1998; 2001; 2002b; 2005; 2006), 독성물질 노출(Kim et al., 1996b; 2004), 어류의 발생단계에서의 수온영향(Lee and Kim, 2001; Kim et al., 2003b) 등 소수의 연구자에 의해 수행되었음

나. 행동반응 연구는 담수 생태계를 대상으로 일부 수행됨

○ 행동반응 연구는 독성물질 노출에 따른 물벼룩의 행동반응(윤 등, 2008), 초음파가 잉어의 성장 및 단기적 행동에 미치는 영향(윤 등, 2007), 송사리를 이용한 고염해수의 생태독성 및 단기적 행동변화에 관한 연구(윤과 박, 2011) 등이 수행되었음

2. 국외 연구개발 동향

가. 다양한 생물 분류군을 이용한 원인물질 노출에 따른 환경스트레스 반응 연구

○ 생물을 이용한 환경스트레스 반응은 주로 소형 연체동물, 갑각류 및 어류 치어와 같은 분류군을 대상으로 수행되었으며, 이들의 대사활동(Vijayavel et al., 2004) 및 행동(Fernández-Casalderrey et al., 1994; Saglio et al., 2001; Szulkin et al., 2006)을 장기간 연속적으로 관찰함으로써 원인물질 노출에 따른 생태-생리적 스트레스 반응을 분석함

- 이와 같은 측정방법은 기존의 전통적인 평가보다 스트레스 물질에 대한 생물의 아치사 반응을 세밀하게 관찰할 수 있는 장점이 있어 새로운 환경스트레스 평가의 지표(indicator)로서 사용 가능성이 제시되었음(Hurst et al., 2007)

제 2 절 선행연구 분석 및 현 기술의 한계

1. 생물의 행동 및 대사기작 특성을 응용한 장치 개발 연구

- 대부분의 행동 및 대사기작 측정 장치는 하천이나 호수의 수질관리를 위한 목적으로 대부분 중금속, 농약, 유기화학물질 등의 유해물질 노출에 따른 수서생물의 행동 및 생리반응을 측정요소로 하였음
 - 현재까지 개발된 측정 장치는 미생물 분해시 발생하는 전기적 신호의 변화, 식물플랑크톤의 광합성 변화, 어류의 호흡량 변화 및 행동 특성 변화 등 수서생물의 기초적인 생태-생리 특성 변화를 측정 요소로 적용하였음

2. 연속 흐름을 이용한 중장기 현상 변화를 감지할 수 있는 측정장치 및 측정요소의 다양성 부족

- 전통적인 센서(멤브레인 센서)의 사용으로는 일시적인 환경 및 생리적 반응을 관찰하였기 때문에 중장기 현상 변화를 감지할 수 있는 기술이 부족함
 - 기 개발되어 상용화된 센서(광센서, 생물센서, 이미지 센서 등)를 이용하여 다양한 측정요소가 조합된 측정 장치를 활용함으로써 장기간 연속적인 흐름을 통한 해양환경의 변화를 모니터링 할 필요가 있음

3. 측정장치의 소형화를 통한 현장 적용성 필요

- 기존의 측정 장치는 규모가 크고 및 사용 면적이 넓어 실험실 내에서만 운영이 가능하였음. 그러나 최근에 소형화된 센서 및 기타 검출장치의 개발로 인해 장치의 소형화가 가능함. 따라서 장치의 소형화를 통해 이상 현상이 발생한 현장에서 직접 실험할 수 있는 연구가 가능할 것으로 판단됨

제 3 절 현 기술의 해양 과기원 역량

1. 해당분야에 대한 해양과기원의 수준

가. 해양생물의 대사기작 연구 분야의 연구 인력 부족

- 세포, 분자생물학 및 조직학적 tool을 활용한 연구자가 있으며, 해양오염 및 환경 변화에 따른 세포나 분자생물학적 변이 연구, 생물의 산란시기 추정을 위한 조직학적 연구 등 Lab 수준의 연구를 수행한 바 있음
 - 호흡대사기작 연구는 일부 수행되었으나 현재 전문인력 부족으로 인해 연구 성과가 미흡한 상황임

나. 장치의 노후화, 대형화 및 사용자의 비전문성으로 인해 자료 획득이 미흡함

- 현재 설치되어 있는 호흡대사기작 측정 장치는 2000년대 중반까지 구비된 것이며, 측정에 사용되는 센서 및 분석 장치의 노후화로 인해 새롭게 업그레이드를 할 필요가 있음. 또한 인큐베이터 등을 포함한 장치이므로 넓은 공간을 차지하여 실험에 비효율적이며, 전문가의 관리가 필요한 상황임
 - 사용 센서는 과거 전통적인 방법에 의존하고 있어 현재 고도의 기술로 개발된 센서와 비교하여 정확도 및 신뢰도가 부족한 상황이며, 운용 프로그램 역시 window 98 체계로 구성되어 있어 현재의 window 프로그램과 호환되지 않아 이를 업그레이드 시킬 필요가 있음. 또한 장치의 소형화 전환을 통해 공간의 효율적 사용을 도모할 필요가 있음

다. 신기술을 활용한 융합형 측정장치 개발 필요

- 과거에 사용된 장치의 중요 기능과 현재 개발되고 있는 측정 기술을 접목한 응용프로그램을 개발하여 융합형 측정 장치를 개발할 필요가 있음
 - 생물의 호흡 및 행동패턴을 동시에 분석할 수 있는 대사기작 측정 장치 및 프로그램 개발 필요
 - 해양환경의 중장기 변화를 예측 평가할 수 있는 측정항목 탐색 및 관련 센서 장착을 통해 환경요인 및 대사기작 변화를 연속적으로 측정할 수 있는 장치 구축 필요

2. 해당분야 연구실적 및 성과

가. 장기간 연속 측정을 통한 해양생물의 호흡 대사기작 변화 연구

- 해양생물(어류, 패류 등) 고유의 내인성 리듬에 대한 외부 환경스트레스 반응 연구를 호흡률 변화를 통해 연구하였으며, 국외 저널에 수편의 논문을 투고하였음
 - Effects of pentachlorophenol (PCP) on the oxygen consumption rate of the river puffer fish *Takifugu obscurus* (Marine Ecology Progress Series, 1996)
 - Effects of sudden changes in salinity on endogenous rhythm of the spotted sea bass *Lateolabrax* sp. (Marine Ecology Progress Series, 1998)
 - Effect of salinity on endogenous rhythm of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae) (Marine Biology, 2001)
 - Endogenous rhythm of oxygen consumption in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Tunberg) (Journal of Fisheries Science Technology, 2002)
 - Effects of chlorophyrifos on the endogenous rhythm of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae) (Marine Pollution Bulletin, 2004)
 - Metabolic response under different salinity and temperature conditions for glass eel *Anguilla japonica* (Marine Biology, 2006)
- 대부분의 연구는 연속흐름을 이용한 호흡생리 대사활성 측정 분야에 한정되어 있으며, 생물의 행동 및 기타 대사 부산물에 대한 생리연구는 미흡함

3. 국내 유사과제 현황

가. 생물화학 통합형 수질 독성 모니터링 시스템 개발

- 본 과제는 환경부의 환경기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 본인은 수서독성평가 생물을 개발하고, 수질 독성을 측정하는 기술들을 통합하여 국제 경쟁력을 갖춘 제품 개발 연구를 수행하였음. 주요 연구내용은 아래와 같음

- 수계의 미생물 화학물질의 종합 독성을 실시간으로 측정 및 조기 경보하는 종합 독성 측정 관리 시스템 개발. 수질 관리 기준 물질 및 국립환경연구원에서 사고대비 물질을 검출 및 식별할 수 있는 continuous real time PCR 개발
- 생물센서에 대한 행동반응성 결과 분석과 측정 장치 개발

나. 생태계 수준의 통합독성평가 및 분자생물학적 조기진단 체제 구축

- 본 과제는 국토해양부(현 해양수산부)의 해양환경기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 본인은 생태안전성평가용 표준시험생물 및 표준시험방법 개발, 생태계 수준의 독성 진단방법 개발을 위한 인공생태시스템 구축과 관련된 생태생리 연구를 수행하였음

다. 해수담수화 부산물의 해양생태계위해도 평가

- 본 과제는 건설교통부의 플랜트기술고도화사업의 지원으로 수행되었으며, 본인은 해수담수화 부산물이 배출된 해역의 해양생태 위해성 평가 및 해수담수화 시설의 환경영향평가체제 구축을 통해 해양생태계 영향을 최소화 할 수 있는 방안을 연구하였음

제 3 장 연구개발 목표 및 내용

제 1 절 연구개발 최종 목표

- 광학센서를 활용하여 생물의 대사기작 및 부산물의 특성 변화를 동시에 관찰할 수 있는 연속 측정 시스템 구축
 - 행동 및 산소소비율을 동시 측정가능한 대사기작 분석 모듈 구축
 - 생물의 대사기작 분석 모듈과 광학센서(수온, pCO₂, pH)를 연계한 통합 운영 모듈 구성
 - 대사기작과 광학센서의 측정 신호를 검출 및 저장 가능한 운영 프로그램 개발

제 2 절 연구개발 주요 내용

- 본 연구개발 사업의 세부연구목표 및 연구내용은 표 2에 수록하였음

표 2. 연구개발 세부연구목표 및 연구내용

구분	세부연구목표	연구내용	연구범위	연구비 (백만원)
1차 년도	대사기작 연구 실험 챔버 제작	○ 행동-호흡 동시 측정 가능한 실험용기 제작 - 밀폐형 사각수조 제작 ○ 실험용기의 해수순환 및 행동추적 주변 기기 부착 및 작동 실험 ○ 수온, pH, pCO ₂ 센서 배치	○ 실험수조: 1, 5L ○ 해수순환 펌프, 광원 배치 등 ○ 성능 검증을 위한 센서 배치 디자인	5
	광학센서 특성 파악을 위한 장치별 성능 실험	○ 행동추적용 영상센서 및 관련 프로그램 성능 실험 ○ 호흡측정을 위한 검출기 및 O ₂ 광학센서 성능 실험 ○ pH, pCO ₂ 검출기 및 센서 특성 실험	○ 행동추적, 프로그램 - 행동추적 센서 작동 여부 - O ₂ 범위: 0.0-12.0ppm ○ pH 센서: 5.0-8.5,	20

			○ pCO ₂ 센서 : 1-25%	
광학센서 신호 제어 모듈 구성 및 현장 성능 검증	○ 호흡 및 행동을 동시에 관찰할 수 있는 제어 모듈 구성 ○ 광학센서 발생신호와 호흡-행동 측정 모듈 제어 회로 디자인	○ 호흡-행동 측정 제어 모듈 제작 ○ 광학센서 신호, 호흡-행동 제어 모듈 제어 PCB 제작		25
대사기작 통합 운영 모듈 구축	○ 광학센서 신호 제어, 재현, 저장이 가능한 통합 운영 프로그램 모듈 제작	○ 통합 운영 모듈 작동 시스템 구축		
통합 운영 시스템 현장 검증	○ 광학센서와 대사기작 통합 운영 시스템 현장 적용 실험 ○ 환경스트레스(수온) 노출 전과 후 분류군 별 대사기작 및 부산물의 활성도 변화 실험	○ 현장수에 대한 통합 시스템 작동 검증 및 보완		

제 4 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발 내용 및 결과

1. 대사기작 연구 실험 챔버 제작

- 행동-호흡 동시 측정 가능한 실험 용기 제작
 - 생리실험용 chamber 제작 (5L, 2개)
 - 투명 아크릴 재질, 해수 입출구 내경 8mm, 외경 10mm (그림 3)
 - 본 수조는 수조 내 일정한 해수 공급을 위해 웨어(wear)를 설치함
 - 행동추적용 수조는 기존 프로그램(4개 분할) 사용을 위한 도구와 현재 개발된 프로그램을 활용할 수 있는 공간 확보(4개체 이상)를 위해 수조 내부 재료를 탈부착 가능하도록 제작함
 - 수조 내부의 구획(블록)은 해수 소통이 원활하도록 4mm 홈을 천공함 (그림 4)

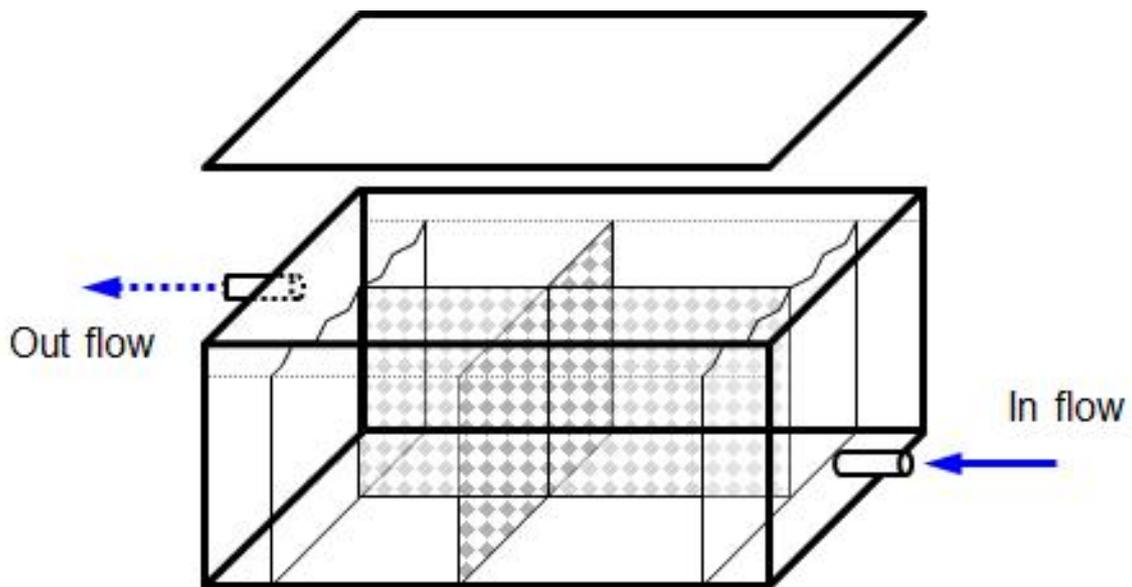


그림 3. 행동 및 호흡을 동시에 측정 가능한 실험 용기의 구조



그림 4. 생리활성 측정용기의 각 부분별 사진

2. 광학센서 특성 파악을 위한 장치별 성능 실험

○ 행동추적 주변기기 부착 및 작동 실험

- 수중펌프를 활용한 해수순환 여부를 점검하였음 (그림 5)
- 실험생물 개체의 행동추적을 위한 광원을 배치하였음
- 행동추적 카메라 설치 후 행동추적 센서로 활용함
- 행동추적을 위한 해수순환 펌프 시험 작동 및 각종센서 배치
- 기 제작된 행동추적 프로그램 점검 (그림 6. 7)



그림 5. 광학센서 특성 파악을 위한 주변 장치 배치 사진

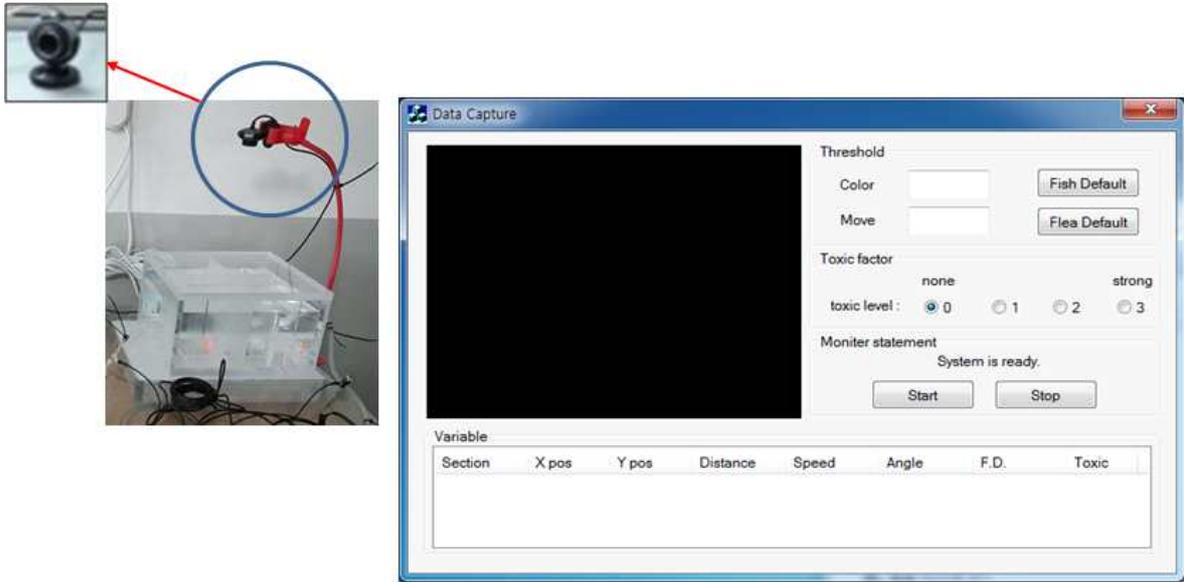


그림 6. 기 개발된 행동분석 프로그램



그림 7. 기 개발된 호흡 및 행동 측정 프로그램

○ 수온, pH, pCO₂ 센서 배치

- pH, pCO₂ 검출기에 센서 및 수온 센서 연결 (그림 8)
- 해수의 연속 흐름이 가능하도록 각각의 센서에 housing 장착
- 실리콘 튜빙을 활용한 수온 및 광센서 3종의 연속 흐름 상 배치
- 해수순환을 통해 센서 housing 부분의 누수 여부 점검

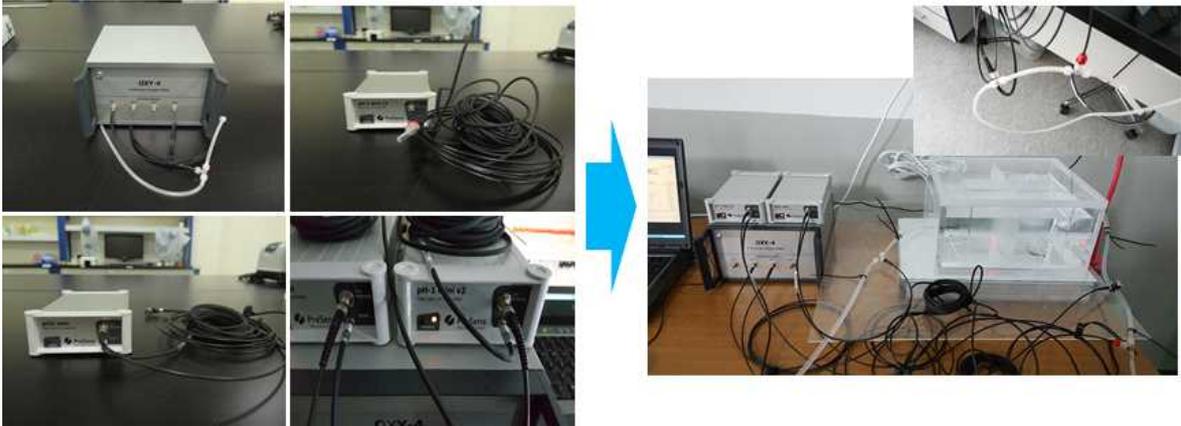


그림 8. 수온, pH, pCO₂ 센서 배치 과정

3. 기 개발된 프로그램을 이용한 프로그램 성능 실험

○ 행동추적용 영상센서 프로그램 성능 실험

- pc용 웹카메라를 활용한 카메라 감지센서 기반 행동 추적 모듈 구성 (그림 9)
- 기 개발된 프로그램을 활용한 연속 흐름상 생물의 행동반응 프로그램 검증

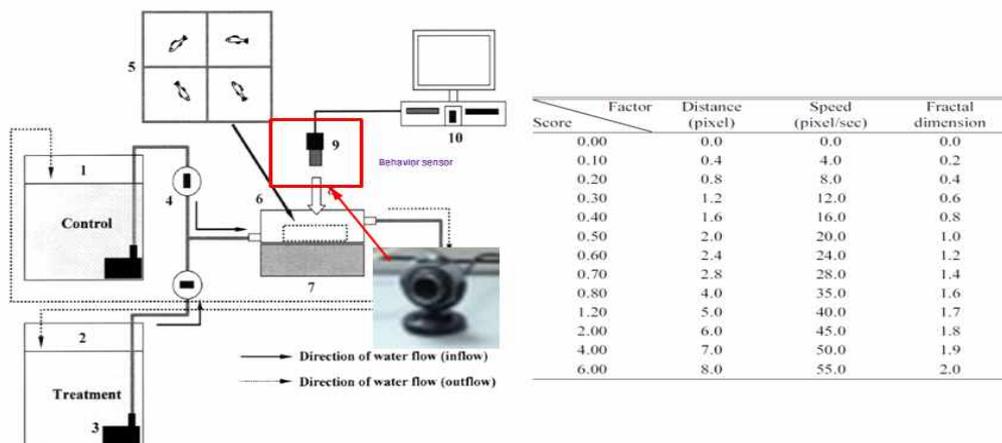


그림 9. 실험생물 행동 측정 과정 및 행동측정 변수

- 실험생물 개체 자료 및 다개체 행동추적 자료 생산 가능한 행동지수 산출 (그림 10)
- 산소, pH, pCO₂ 광학센서와 연결하여 장기간 연속적으로 행동 및 기타 환경 인자를 모니터링 할 수 있도록 모듈 구성

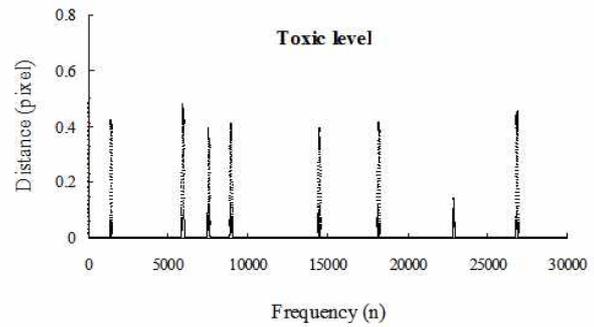
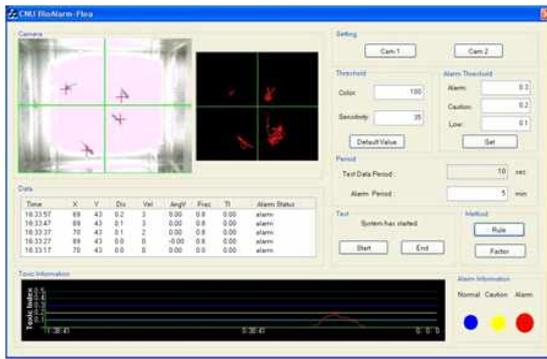


그림 10. 행동추적 프로그램을 이용한 실험생물의 행동패턴 분석 자료

○ O₂ 광학센서 성능 실험

- 광학기반 호흡 측정 센서 모듈 구성 (그림 11)
- 연속 흐름상 센서 배치 및 실험용수 센서 반응 검증 (그림 12)
- 4 channel 광섬유 산소 검출기, 2mm 광섬유 산소센서 기반 농도 반응 확인 (형광 측정 후 농도로 변환)
- Flow-through type housing (PSt3)을 사용하여 해수와 비접촉한 상태에서 농도 측정 가능 여부 확인(0~45mg/L O₂)

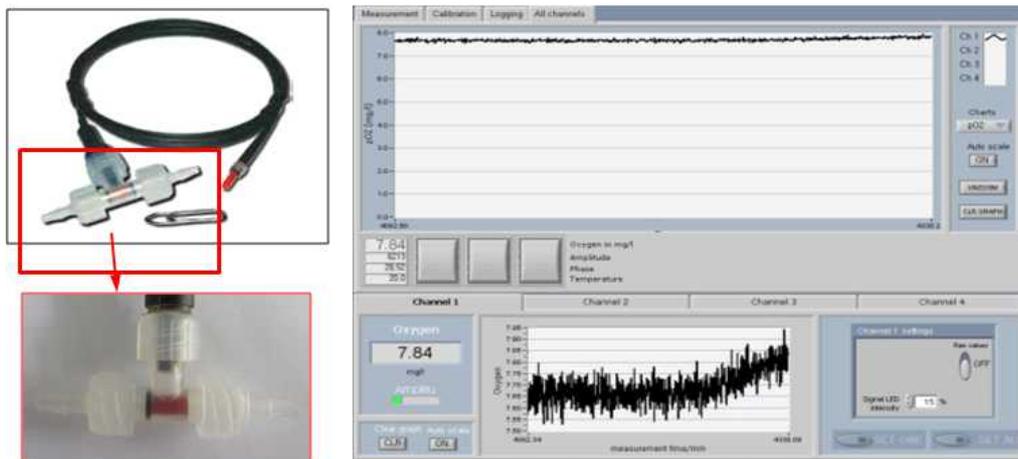


그림 11. 광학 산소센서 및 실험 프로그램 사진

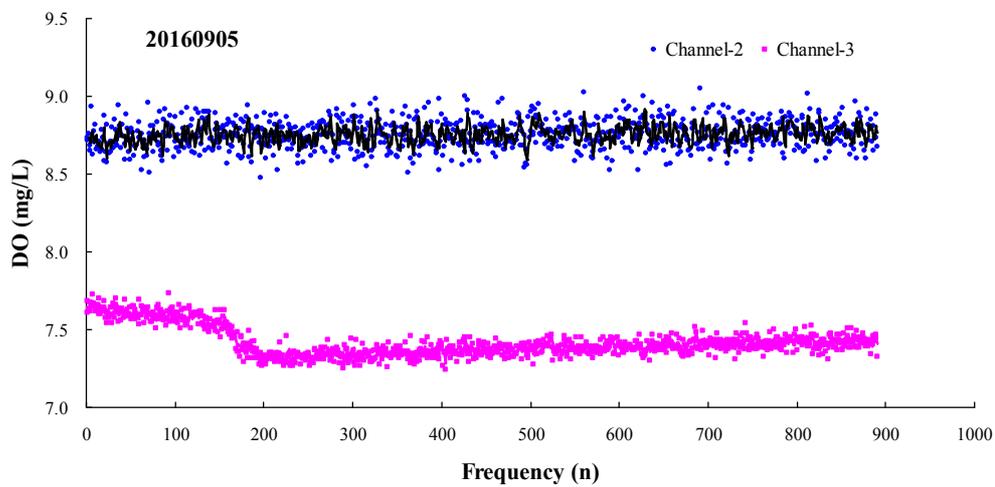
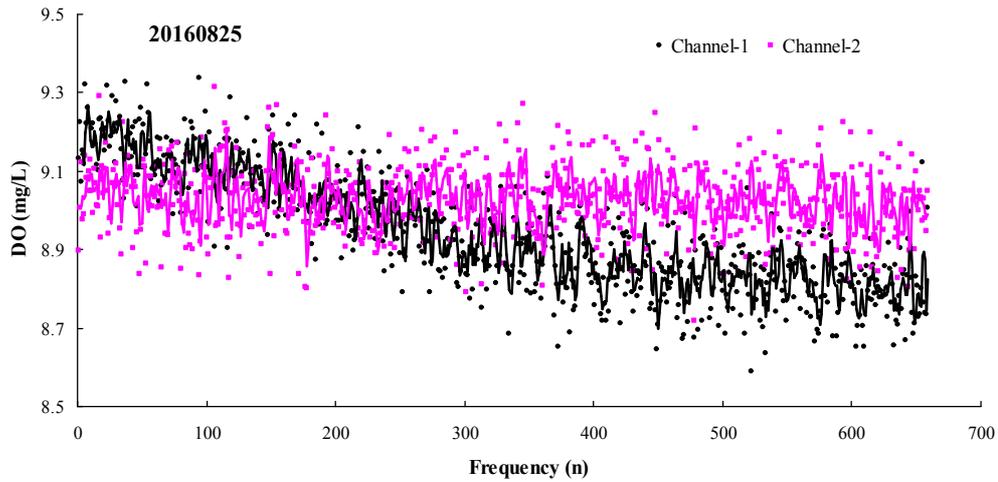


그림 12. 광학 산소센서를 이용한 용존산소 연속 측정 자료

○ pH 광학센서 성능 실험

- 광학기반 pH 측정 센서 모듈 구성 (그림 13)
- 연속 흐름상 센서 배치 및 실험용수 센서 반응 검증 (그림 14)
- 1 channel 광섬유 pH 검출기, 2mm 광섬유 pH 센서 기반 농도 반응 확인 (형광 측정 후 농도로 변환)
- 미니센서 코팅형 housing (HP5)을 사용하여 해수와 비접촉한 상태에서 연속적인 농도 측정 가능 여부 확인 (pH 5.5~8.5)

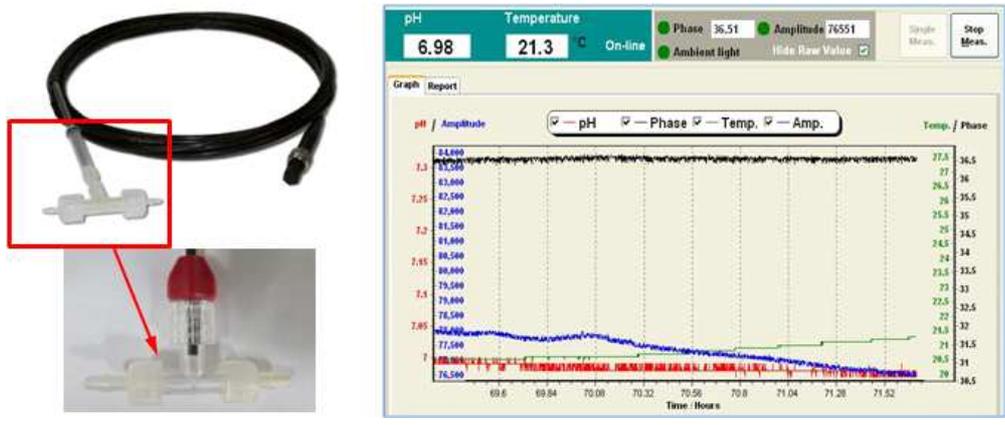


그림 13. pH 광학센서 및 실험 프로그램 사진

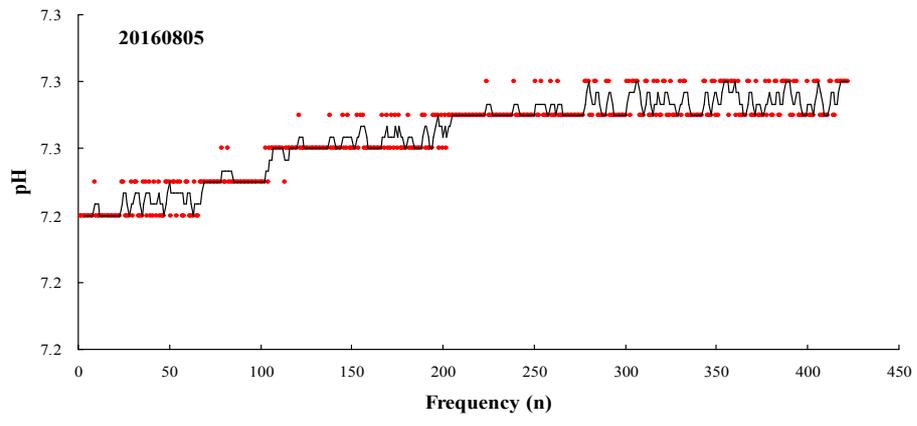
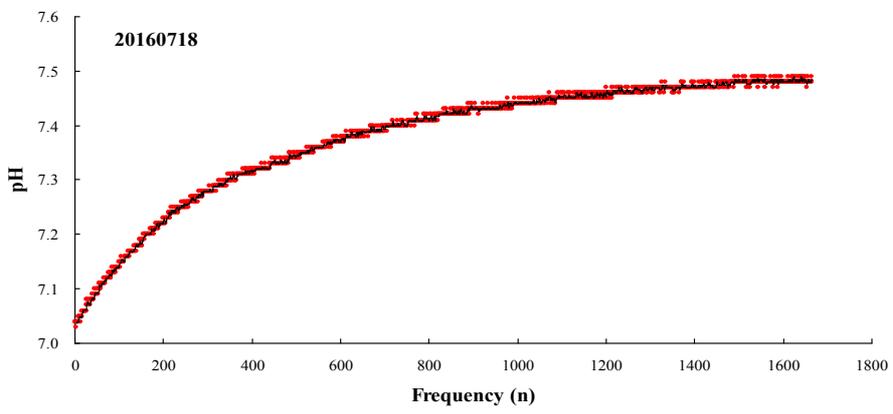


그림 14. pH 광학센서를 이용한 용존산소 연속 측정 자료

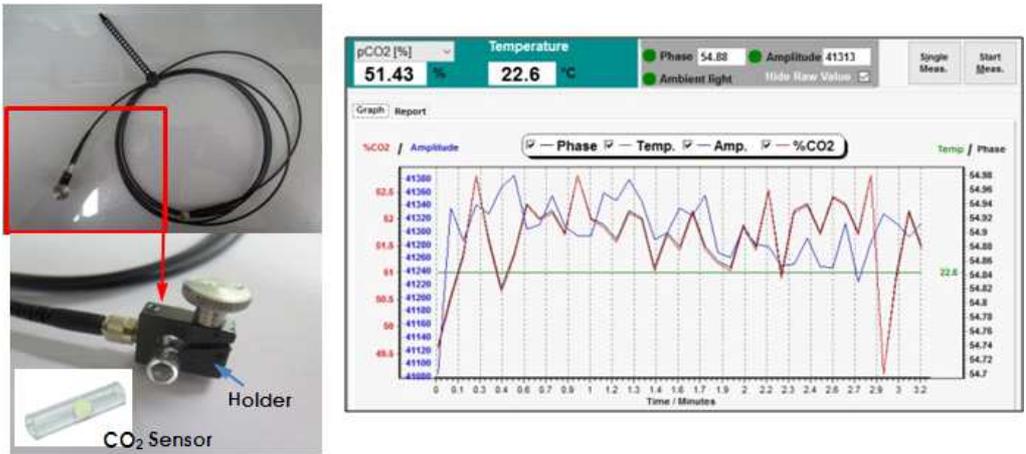


그림 15. pCO₂ 광학센서 및 실험 프로그램 사진

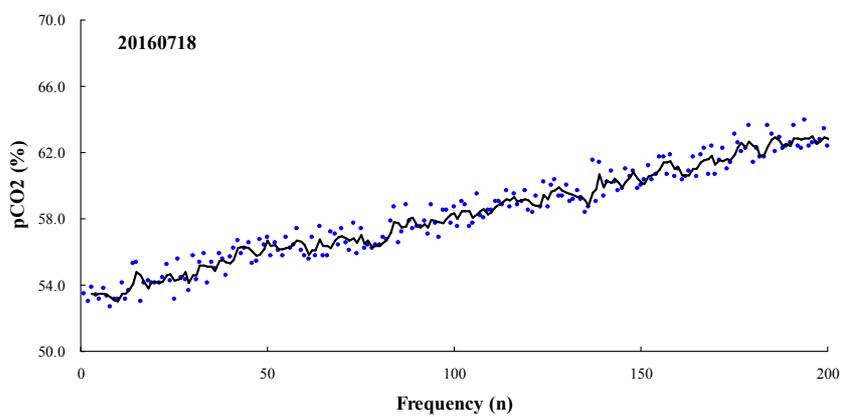
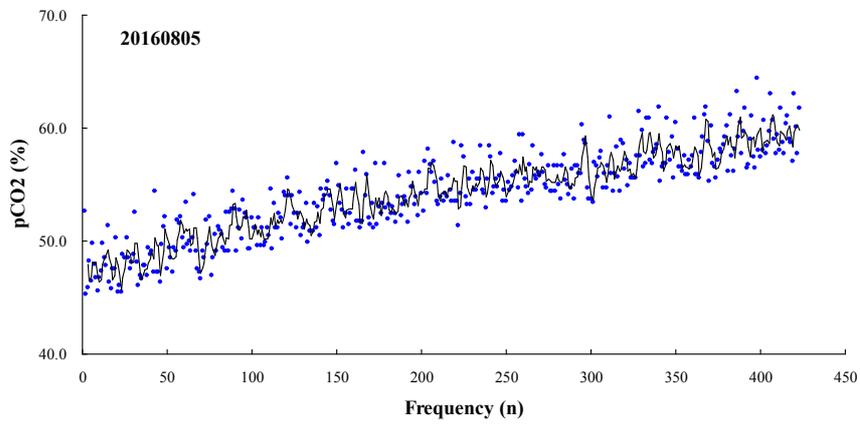


그림 16. pCO₂ 광학센서를 이용한 용존산소 연속 측정 자료

○ pCO₂ 광학센서 성능 실험

- 광학기반 pCO₂ 측정 센서 모듈 구성 (그림 15)
- 연속 흐름상 센서 배치 및 실험용수 센서 반응 검증 (그림 16)
- 1 channel 광섬유 pCO₂ 검출기, 2mm 광섬유 pCO₂ 센서 기반 농도 반응 확인 (형광 측정 후 농도로 변환)
- 원통형 holder (CD 1)을 사용하여 해수와 비접촉한 상태에서 연속적인 농도 측정 가능 여부 확인 (8.0~180.0mmHg pCO₂)

4. 광학센서 신호 제어 모듈 구성 및 현장 성능 검증

○ 호흡 및 행동을 동시에 관찰할 수 있는 제어 모듈 구성

- 광학센서 및 호흡 센서 활용 실험 체계 구성 (그림 17)
- 실험생물 개체 자료 및 다개체 행동추적 자료를 생산할 수 있는 지수 산출
- 산소, pH, pCO₂ 광학센서와 연결하여 장기간 연속적으로 행동 및 기타 환경 인자 모니터링 체계 구성 (그림 18)



그림 17. 광학센서 및 호흡 센서 활용 실험 체계 구성



그림 18. 광학센서 통합 모듈 적용 실험 사진

- 광학센서 신호제어, 재현, 저장이 가능한 통합 모듈 제작
 - 광학센서 대사가작 측정 통합 운영프로그램 개발 (그림 19)
 - 통합 운영 프로그램 UI 제작
 - 통합 프로그램을 통해 5개 항목 (행동, 수온, 산소소비율, pH, pCO₂ 변화)을 동시에 연속적으로 관찰할 수 있도록 함 (그림 20)

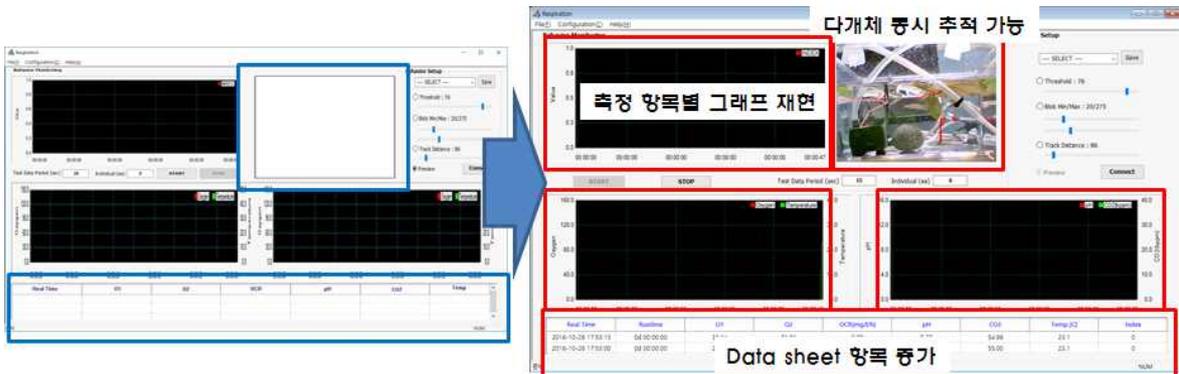


그림 19. 통합 운영 프로그램 UI 초기 화면

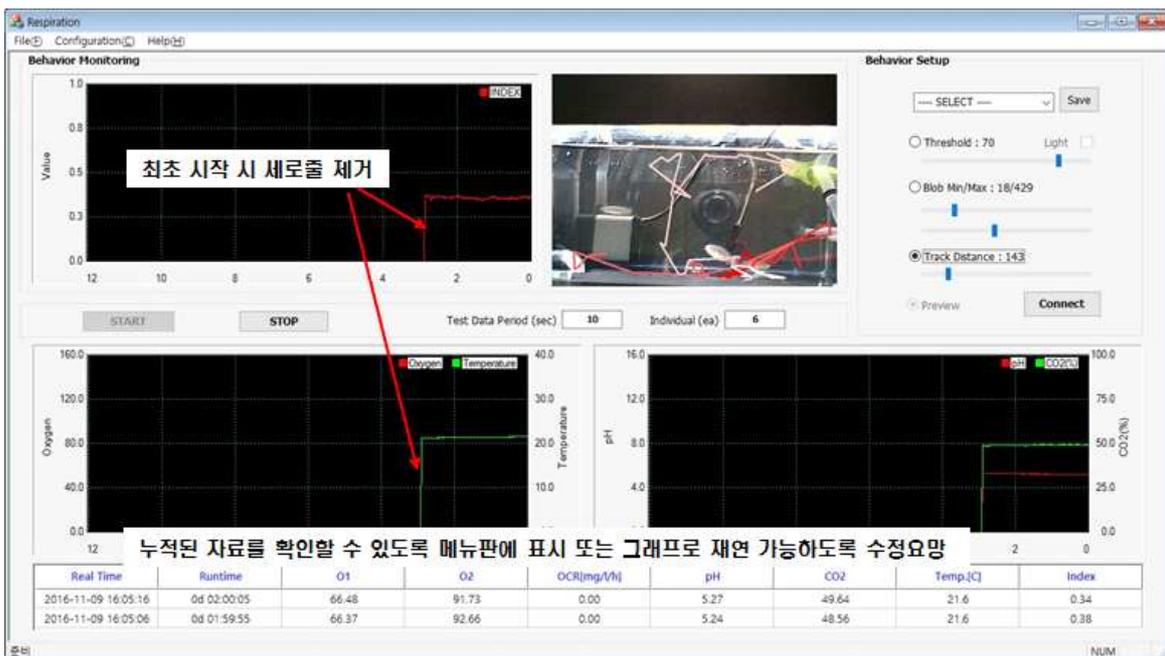


그림 20. 통합 운영 프로그램을 이용한 광학센서 및 행동 추적 실험 예

- 광학센서와 대사기작 측정 프로그램을 사용한 현장 연속 센서 반응 실험
 - 안정된 상태에서 연속흐름상 감성돔 4개체의 행동 반응 실험 (그림 21)
 - 실험어류(감성돔)의 연속흐름 상 O₂ 광학센서 반응 실험 (그림 22, 23, 24)
 - 현장 해수의 연속흐름 상 pH 광학센서 반응 실험 (그림 25, 26)
 - 현장 해수의 연속흐름 상 pCO₂ 광학센서 반응 실험 (그림 27, 28)

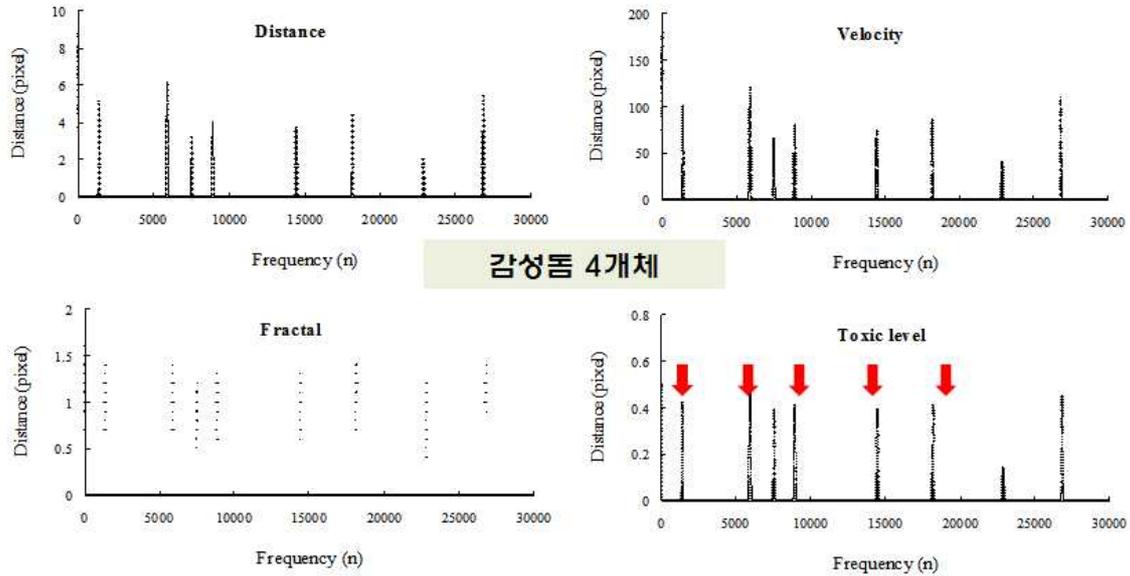


그림 21. 안정된 상태에서 통합 운영 프로그램을 이용한 실험생물의 행동반응 패턴 분석 자료

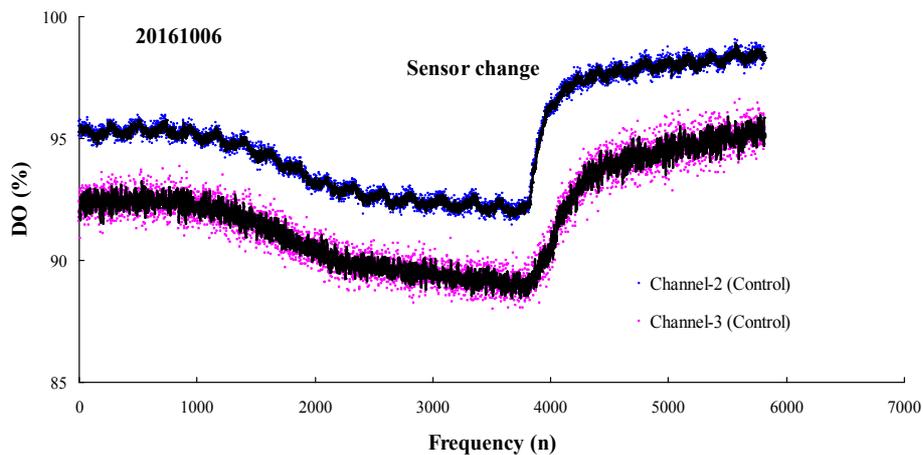


그림 22. 산소센서 교체 전과 후 산소포화도 변동 양상

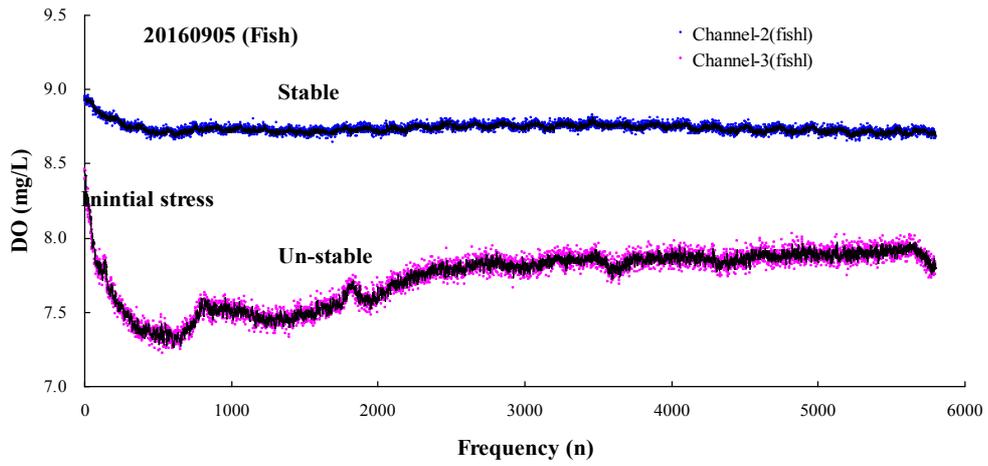


그림 23. 실험용기에 투입된 실험생물의 산소소비 반응

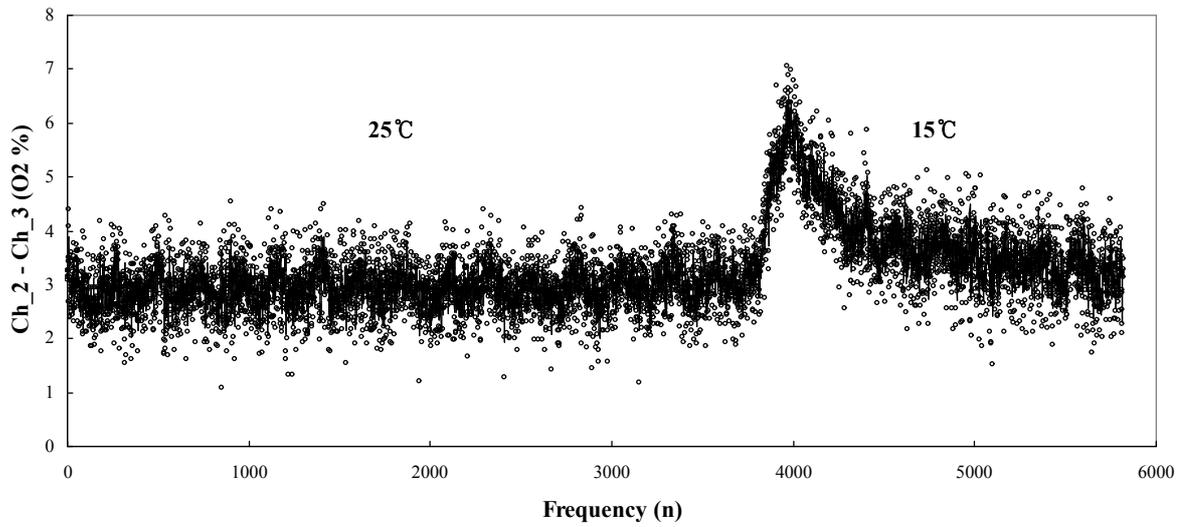


그림 24. 수온에 노출된 감성돔 4개체의 산소소비 반응

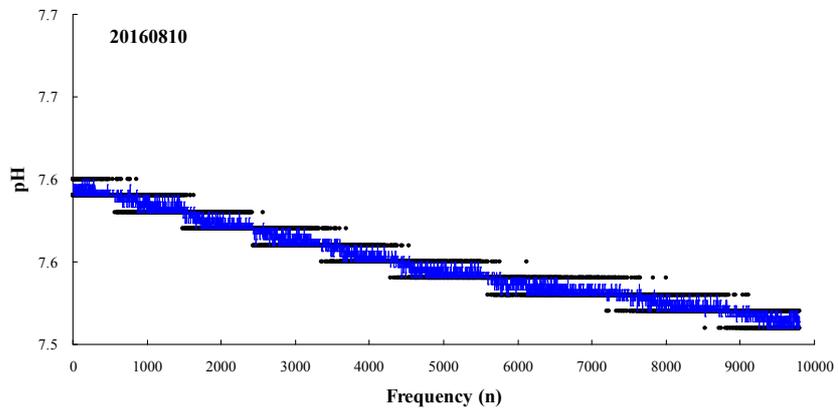
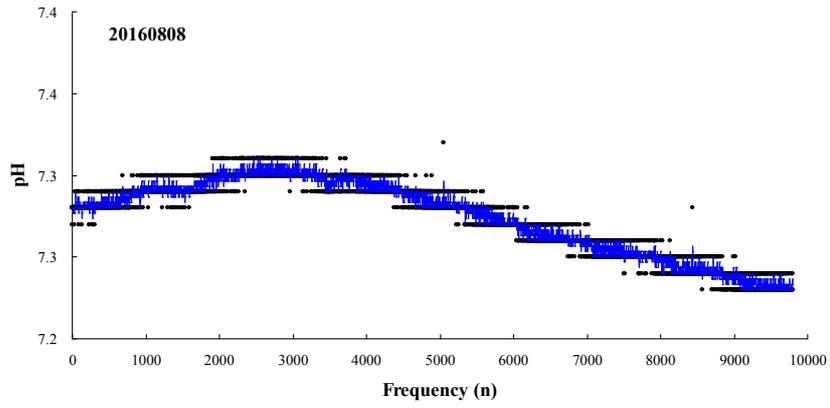


그림 25. 센서 보정 없이 측정한 연속 pH 농도 변화 패턴

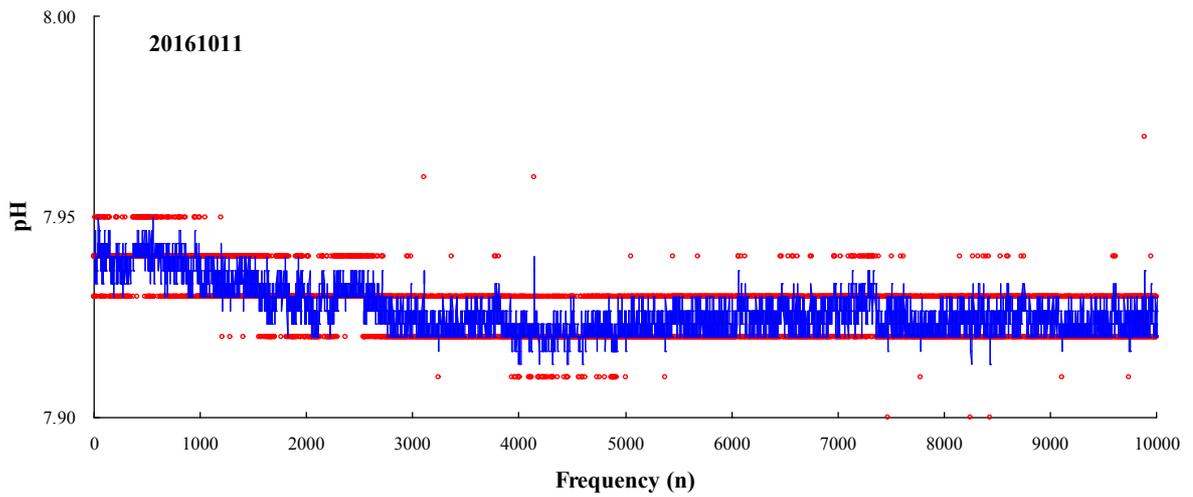


그림 26. 현장 해수의 연속 흐름상 pH 농도 변화

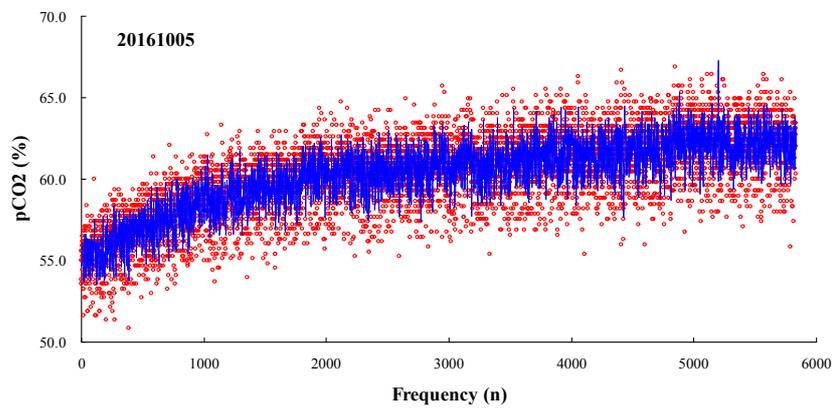
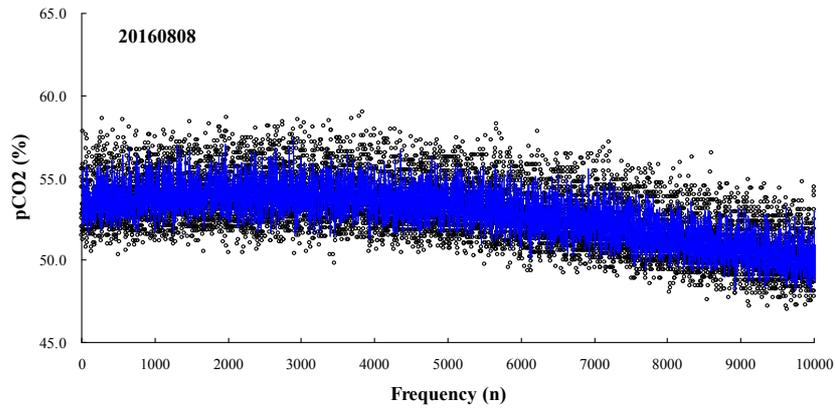


그림 27. 센서 보정 없이 측정된 연속 pCO₂ 농도 변화 패턴

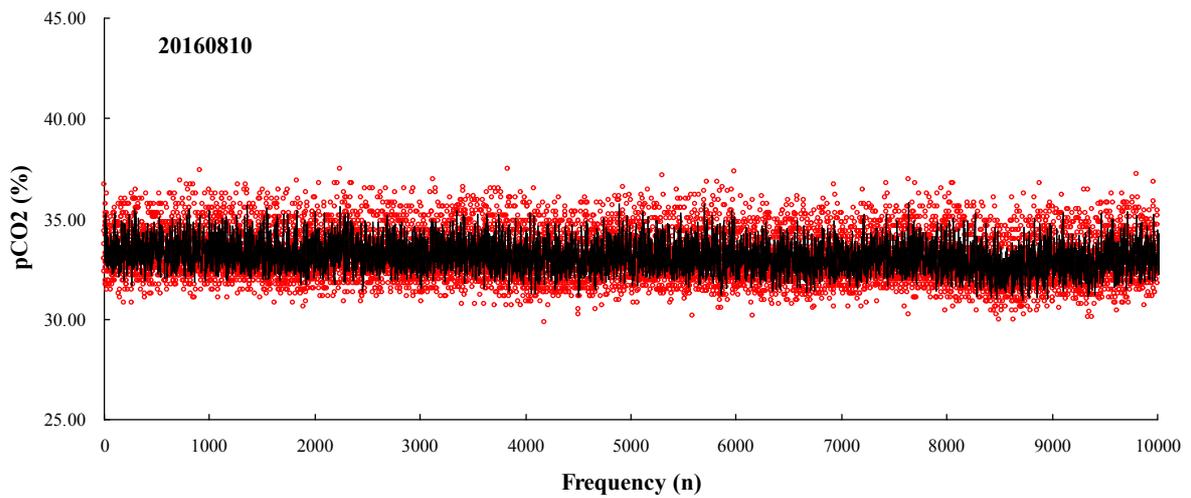


그림 28. 현장 해수의 연속 흐름상 pCO₂ 농도 변화

제 5 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

제 1 절 연구개발목표 달성도

○ 연구기간 동안 수행한 연차별 목표 대비 달성율 (%)은 표 3에 수록하였음

표 3. 연구개발 목표 대비 달성율 (%)

총연구기간내 연차별 목표 대비 달성율(%)					
구분	연차별 달성내용				연차별 계획대 비 연구실 적 달성율(B) (%)
	성과목표	연구내용	가중치 (A)	달성실적	
1년차 (2016)	1. 대사가작 연구 실험 챔버 제작	1-1. 행동-호흡 동시 측정 가능한 실험용기 제작	0.2	밀폐형 사각 수조 제작 (5L)	100
		1-2. 실험용기의 해수순환 및 행동추적 주변 기기 부착 및 작동 실험		수중펌프를 활용한 해수 순환 및 행동 추적 광원 배치	
		1-3. 수온 pH, pCO ₂ 센서 배치		실리콘 튜빙을 활용한 수온 및 광센서 3중 연속 흐름상 배치	
	2. 광학센서 특성 파악을 위한 장치별 성능 실험	2-1. 행동추적용 영상센서 및 관련 프로그램 성능 실험	0.3	행동추적 센서 작동 여부 확인	100
		2-2. 호흡측정을 위한 검출기 및 O ₂ 광학센서 성능 실험		O ₂ 센서 범위 (0.0~12.0ppm) 확인	
		2-3. pH, pCO ₂ 검출기 및 센서 특성 실험		pH, pCO ₂ 센서 범위 확인 (pH 5.0~8.5, pCO ₂ 1~100%)	
	3. 광학센서 신호 제어 모듈 구성 및 현장 성능	3-1. 호흡 및 행동을 동시에 관찰할 수 있는 제어 모듈 구성	0.5	호흡-행동 측정 제어 모듈 제작	80
		3-2. 광학센서 신호제어, 재현, 저장이 가능한 통합		통합 운영 모듈 작동 시스템 구축	

	모듈 제작			
	3-3. 광학센서 및 대사기작 측정 통합 운영 프로그램 개발		통합 프로그램 UI 제작 및 4개 항목(호흡, 행동, pH, pCO2) 측정 프로그램 완성 단계	
	3-4. 광학센서와 대사기작 통합 운영 시스템 현장 적용 실험		현장수에 대한 통합 시스템 작동 검증(프로그램 완성 후 과제 종료시 까지 실시)	
	계	1.0		90

제 2 절 연구개발의 대외기여도

1. 당해연도 주요 연구성과

- 과제 수행 초기부터 광학센서 통합프로그램과 관련된 협의 중 본 과제를 통해 원천기술 개발에 필요한 지식재산권 취득을 위해 국내특허를 출원하였음

	광학센서 활용을 통한 연속 생리반응 측정 시스템 관련 특허 출원
성과 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내특허 출원 <ul style="list-style-type: none"> - 출원일자 : 2016. 11. 11 - 출원번호 : 10-2016-0150144 - 출원명칭 : 광학센서를 활용한 해양생물의 연속생리반응 측정 시스템
성과의 우수성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해양생물의 생리/생태 특성 및 이화학적 환경요인을 동시에 연속적으로 관찰 가능하도록 광학센서를 활용한 해양생물의 생리반응 측정 시스템(프로그램)을 개발함
<p>관 인 생 략 출 원 번 호 통 지 서</p> <p>출 원 일 자 2016.11.11 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 출 원 번 호 10-2016-0150144 (접수번호 1-1-2016-1103442-84) 출 원 인 명 칭 한국해양과학기술원(1-2012-034461-6) 대 리 인 성 명 특허법인 참좋은(9-2015-100201-3) 발 명 자 성 명 윤성진 노충환 발 명 의 명 칭 광학센서를 활용한 해양 생물의 연속 생리반응 측정 시스템</p> <p>특 허 청 장</p> <p><< 안내 >></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.</p> <p>2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다. ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호</p> <p>3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 경정 신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다. ※ 특허포털(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식</p> <p>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.</p> <p>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-PCT마드리드 ※ 우선권 인정기간 : 특허-실용신안은 12개월, 상표-디자인은 6개월 이내 ※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교관허가서(PTO/SB-39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.</p> <p>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</p> <p>7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.</p> <p>8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.</p> </div>	

- 과제와 관련된 다양한 정보 제공을 위해 2016년 10월 26일(수)~28(금)까지 국내 학술대회(한국해양학회 추계학술대회)에 참가하여 광학센서의 생리 실험 및 생태위해성 평가의 활용에 대한 필요성을 제시함

광학센서 활용 연구 관련 국내 학술대회 발표	
성과 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 학술대회 발표 <ul style="list-style-type: none"> - 일 자 : 2016. 10. 26 - 28 - 장 소 : 여수엑스포 컨벤션 센터 - 발표회명 : 한국해양학회 추계학술대회
성과의 우수성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해양생물의 생리 연구에 필요한 광학센서 활용을 제안하고, 연속 흐름 상 생물의 행동, 호흡, 생리 부산물인 이산화탄소를 동시에 측정할 수 있는 시스템 제안 ○ 추가적으로 수온 및 pH 변화도 동시에 측정할 수 있는 시스템 적용의 필요성을 제시함
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="font-size: small;"> <p>2016년도 추계학술발표대회 10월 26일(수)-28일(금)</p> </div> <div style="flex-grow: 1; text-align: center;"> <p>[BP-15]</p> <p>광학센서를 활용한 해양생물의 연속 생리스트레스 반응 연구</p> <p>윤성진 한국해양과학기술원 울릉도·독도해양과학기지</p> </div> </div> <p style="font-size: x-small; margin-top: 10px;">해양생물을 이용한 연속적인 스트레스 반응 평가 기술은 이미 국내에서도 널리 인식되고 있음에도 불구하고 측정항목 및 실험생물의 생태-생리 반응 패턴을 연속적으로 측정할 수 있는 장치나 관련 센서의 조합이 미흡하여 연속 흐름을 이용한 생물의 생태-생리 반응 평가에 어려움이 있었다. 또한 환경스트레스 반응 연구는 수온, 염분, DO, pH, CO₂ 등 1~2개의 환경인자 조합을 통해 생물의 반응 패턴을 관찰하였으나 세 종류 이상의 환경인자를 연속적으로 측정할 수 있는 조합을 갖춘 연구는 미흡한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 광학센서를 활용한 생물의 생리기작 및 생리 부산물의 특성 변화를 동시에 관찰할 수 있는 연속 측정 시스템 구축에 필요한 센서의 조합 및 운영 프로토콜의 개념을 소개하였다. 본 연구에서 측정요소로 활용한 항목은 실험생물의 행동 및 호흡 패턴, 생리반응 후 나타나는 수중의 pH 및 이산화탄소 배출 변동 패턴 등이었으며, 이를 위해 예비실험으로써 수온하강에 따른 참돔 치어(7.7±0.6cm, 7.5±1.2gWWU) 4개체의 행동변화를 관찰하였으며, 광학센서를 활용한 생리반응에 따른 부산물(DO, pH, pCO₂)의 농도 변화를 측정하였다. 실험결과 수온변화에 따른 광학센서의 반응성은 높게 나타났으며, 생물의 행동반응이 뚜렷하게 관찰되었다. 해양생물의 연속 생리반응은 주로 소형 연체동물, 갑각류 및 어류 치어와 같은 분류군을 대상으로 수행되었으며, 이들의 대사활동(Vijayavel et al., 2004) 및 행동(Fernández-Casalderey et al., 1994; Saglio et al., 2001; Szulkin et al., 2006)을 장기간 연속적으로 관찰함으로써 원인물질 노출에 따른 생태-생리적 스트레스 반응을 분석하여 생물의 아치사 반응을 세밀하게 관찰하였다. 그러나 기존의 측정방법은 생리 부산물에 대한 다양한 환경인자를 반영하지 못하였기 때문에 이를 보완하기 위한 방법으로서 광학센서를 활용한 환경인자의 변화를 동시에 측정할 수 있다면 새로운 환경스트레스 평가의 지표(indicator) 개발에 유용할 것이다. 이를 위해서는 각각의 측정항목별 운영방식보다는 모든 측정요소를 동시에 제어할 수 있는 운영프로토콜의 개발 및 현장 적용이 필요한 것으로 판단되었다. 본 연구는 한국해양과학기술원(KIOST)의 연구비(과제번호: PF99453) 지원으로 수행되었습니다.</p> <p style="font-size: x-small; margin-top: 10px;">참고문헌 Fernández-Casalderey, A., M.D. Ferrando and E. Andreuoliner, 1994. Effect of sublethal concentrations of pesticides on the feeding behavior of <i>Daphnia magna</i>. <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>, 27(1): 82-89. Saglio, P., K.H. Olsén and S. Bretaud, 2001. Behavioral and olfactory responses to prochloraz, bentazone, and nicosulfuron-contaminated flows in goldfish. <i>Arch. Environ. Contam. Toxicol.</i>, 41: 192-200.</p>	

2. 연구활동의 대외기여도

- 본 연구에서는 대사기작 연구에 필요한 5-L 실험 챔버를 제작하였으며, 수중펌프를 활용하여 해수를 순환시키고 행동추적이 가능하도록 수조 하단부에 광원을 배치하여 행동추적 실험을 수행하였음
- 수온, pH, pCO₂ 광학센서를 실리콘 튜빙에 직렬로 연결하여 해수의 연속 흐름상 광학센서 배치를 완료하였음
- 광학센서 특성 파악을 위한 장치별 성능 실험은 행동추적용 영상센서와 기 개발된 관련 프로그램을 활용하여 행동 추적 여부를 확인하였으며, 호흡측정 검출기 및 O₂ 광학센서 성능 실험을 통해 해수의 용존산소가 O₂ 센서의 측정범위(0.1~12.0ppm)에 들어오는지 확인하였음
- pH와 pCO₂ 검출기 및 관련 센서를 활용하여 해수의 연속 흐름을 유도한 후 pH의 경우 5.0~8.5, pCO₂ 센서는 1~100% 농도 범위에 포함되는지 성능 검증 실험을 수행하였음
- 광학센서 신호 제어 모듈 구성은 호흡과 행동을 동시에 관찰할 수 있는 제어 모듈을 제작하였으며, 광학센서 신호제어, 재현, 저장 등이 가능한 통합 모듈을 디자인하여 광학센서와 대사기작을 동시에 측정할 수 있는 통합 운영 프로그램을 개발하고 있음(2016년 11월 11일 현재 프로그램 UI 제작을 완료하였으며, 각각의 센서 신호(호흡, 행동, pH, pCO₂)를 data sheet와 그래프로 표현할 수 있도록 프로그램을 완성하였음 (그림 29))

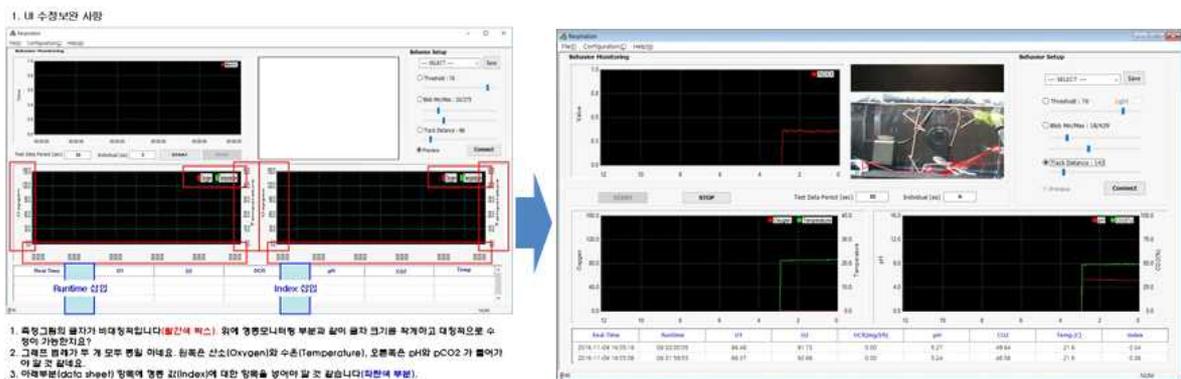


그림 29. 연구기간 중 개발된 통합 운영프로그램 제작 과정

- 본 연구 수행 과정 중 프로그램 제작은 외부의 전문 업체를 선정하여 수시로 e-mail로 제작 관련 협의를 진행하였으며, 필요 시 업체를 방문하여 센서 성능 실험, 프로그램 UI 작성 및 광학센서 측정 농도 재연 등에 관한 업무 회의를 수행하였음

제 6 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 기대효과

1. 기술적 측면

- 생물의 생태-생리 특성 및 이화학적 환경요인을 동시에 연속적으로 관찰할 수 있는 통합 시스템 구축
- 기후변화, 해양산성화 및 연안 해양환경의 증장기 모니터링을 위한 생물-화학 연속 흐름 감지시스템 보급
- 생물-화학 연속 흐름 감지시스템 도입을 통한 양식장 오염원의 조기진단 체제 구축
- 장치의 소형화 유도 및 보급을 통한 현장 적용성 증대 및 미생물, 생화학분야의 생리 연구와 공동 연구가 가능
- 통합 운영 모듈의 업그레이드를 통해 상용화 된 알고리즘 개발 및 향후 제품개발에 필요한 원천 기술 확보

2. 사회·문화적 측면

- 지역 특성에 적합한 유용 수산자원 발굴 및 복원 연구에 필요한 기초 자료 제시
- 연안 개발 문제 및 환경오염 발생에 따른 해양생태계 변화를 조기 진단함으로써 향후 해양환경의 관리 대책 수립을 마련하기 위한 정책 자료 제공
- 해양생물의 대사기작 특성과 광학센서의 응용 기술이 접목된 융복합 연구 범위 확대
- 생물학적 연구결과와 IT 기술이 융합된 연구기반 조성을 통해 해양환경과 생태계 분야의 창의적 연구 활성화 유도
- 지역 및 국가 수산업의 현안문제 해결을 통해 지역거점 연구의 핵심기관으로서 해양과학기술의 연구역량 증대

3. 경제적 측면

- IT 기술과 융합된 대사가작 측정 장치의 원천기술 확보 및 산업체로의 기술이전
- 측정장치, 센서의 소형화를 통해 대량 생산이 가능한 제품 보급 및 이윤 창출

제 2 절 연구개발결과의 활용방안

1. 원천기술을 활용한 일시적 또는 중장기 해양환경 변동 감시 및 예측 모델 개발

- 기수역 또는 연안역으로 급작스럽게 유입되는 다양한 오염원의 감시 및 경보 시스템 구축에 연속흐름 상의 대사가작 측정 기법 활용 가능
- 연안지역으로 적조발생, 용승으로 인한 냉수대 발생 등 인위적 또는 자연적으로 발생하는 해양환경 변화 감지
- 지표생물을 활용하여 지구온난화, 해양산성화, 대규모 해양오염 등 전 지구적으로 발생하는 중장기 해양환경 및 생태계 변동 현상 파악 및 모니터링 체계 구축

2. 생태-생리 및 이화학적 특성 변화를 이용한 해양환경 관리 대안으로서 활용

- 유용 해양생물자원의 생존, 산란, 성장 등과 연관된 환경내성범위 규명을 위한 기초 자료 수집에 활용
- 육상양식장, 발전소 및 생물 유지에 필요한 해수 활용 사업장 유입수의 실시간 연속적인 위해성 감시
- 본 연구결과물은 향후 추가적인 연구가 이루어진다면 측정결과를 네트워크화 하여 전송할 수 있기 때문에 해양환경 감시의 훌륭한 수단이 될 것임
 - 안정된 시스템 환경 하에서 표준화된 사용자 인터페이스를 통해 실시간 감시가 이루어짐으로써 효율적인 해양환경 관리에 도움을 줄 것임

3. 장치의 소형화를 통한 대량 생산, IT 기술을 이용한 장치 간의 네트워크 통신 체계 구축, 국가해양환경정보통합시스템과 연계한 해양수질 감시에 광학센서를 활용한 연속 대사가작 모니터링 시스템이 도입된다면 향후 생물과 화학적 분석기법을 통한 해양환경 감시 체계가 통합되는 훌륭한 실용화 모델이 될 것임

제 7 장 참고문헌

- 박경수, 강주찬, 윤성진, 이승민, 황운기. 2008. 어류 장의 사망률을 이용한 해양생태 독성시험 방법에 관한 연구. 한국해양학회지<바다> 13(2): 140-146.
- 박경수, 윤성진, 이승민, 김애향, 박승윤, 강덕영. 2005. 해양생태독성평가를 위한 표준시험생물로서의 송사리(*Oryzias latipes*)에 관한 연구. 환경생물학회지 23: 293-303.
- 신윤경, 최낙중, 허영백, 한형균, 박정흠, 김윤. 2007. 염분변화에 따른 멧게 *Halocynthia roretii*의 생존과 생리적 반응. 한국양식학회지 20(4): 226-231.
- 양현성, 박경일, 홍충희, 최광식. 2008. 염분 스트레스가 둥근전복 *Haliotis discus discus*의 유리아미노산 조성에 미치는 영향. 한국양식학회지 21(4): 218-225.
- 윤성진, 염동혁, 김우근, 윤홍길, 이성규. 2007. 초음파가 잉어 *Cyprinus carpio*의 성장 및 단기적 행동에 미치는 영향. 한국육수학회지 40(2): 244-253.
- 윤성진, 이성규, 박한오. 2008. 국내산 물벼룩 *Daphnia* sp.를 이용한 연속적인 수질모니터링 장치 개발. 한국물환경학회지 24(1): 36-43.
- 윤성진, 박경수. 2011. 송사리(*Oryzias latipes*)를 이용한 고염해수의 생태독성 및 단기적 행동변화에 관한 연구. 한국해양학회지<바다>. 16(1): 39-51.
- 환경부. 2004. 위해성평가·관리요소기술: 수체에서 유해물질관리를 위한 Aqualarm 개발. 160p.
- Fernández-Casalderrey A, Ferrando MD & González-Correa JM. 1994. Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alcante (SE Spain). Desalination 182: 395-402.
- Hurst TP, Key BH, Ryan PA & Brown MD. 2007. Sublethal effects of mosquito laticides on swimming performance of larviorus fish *Melanotaenia duboulayi* (Atheriniformes: Melanotaeniidae). J. Econo.

- Ento. 100(1): 61-65.
- Kim WS, Rumohr H, Schmid MK & Koh CH. 1996a. A rhythmicity in the rate of oxygen consumption by the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. J. Kor. Soc. Oceanogr. 31(3): 117-122.
- Kim WS, Jeon JK, Lee SH & Huh HT. 1996b. Effects of pentachlorophenol (PCP) on the oxygen consumption rate of the river puffer fish *Takifugu obscurus*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 143: 9-14.
- Kim WS, Kim JM, Yi SK & Huh HT. 1997. Endogenous circadian rhythm in the river puffer fish *Takifugu obscurus*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 153: 293-298.
- Kim WS, Kim JM, Kim MS, Park CW & Huh HT. 1998. Effects of sudden changes in salinity on endogenous rhythm of the spotted sea bass *Lateolabrax sp.* Mar. Biol. 134: 107-112.
- Kim WS, Huh HT, Huh SH & Lee TW. 2001. Effect of salinity on endogenous rhythm of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae). Mar. Biol. 138: 157-162.
- Kim WS, Yoon SJ, Kim Y & Kim SY. 2002a. Endogenous rhythm of oxygen consumption in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). J. Fish. Sci. Tech. 5(3): 191-199.
- Kim WS, Yoon SJ, Moon HT & Lee TW. 2002b. Effects of water temperature changes on the endogenous and exogenous rhythm of oxygen consumption in the glass eels *Anguilla japonica*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 243: 209-216.
- Kim WS, Huh HT, Je JG & Han KN. 2003a. Evidence of two clocks in the endogenous rhythms of the oxygen consumption in the Washington clam, *Saxidomus purpuratus*. Mar. Biol. 142: 305-309.
- Kim WS, Yoon SJ & Gil JW. 2003b. Critical thermal maximum (CTM) of cultured black rockfish *Sebastes schlegeli*. J. Fish. Sci. Tech. 6(2):

59-65.

- Kim WS, Yoon SJ & Yang DB. 2004. Effects of chlorpyrifos on the endogenous rhythm of the Manila clam, *Ruditapers philippinarum* (Bivalvia: Veneridae). Mar. Poll. Bull. 48: 164-192.
- Lee TW & Kim WS. 2001. Thermal effects on respiratory activities of glass eels at different developmental stages. Journal of Taiwan Fisheries Research. 9: 129-136.
- Saglio P, Olsén KH & Bretaud S. 2001. Behavioral and olfactory responses of prochloraz, Bentazon, and nicosulfuron-contaminated flows in goldfish. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 41: 192-200.
- Szulkin M, Dawidowicz P & Dodson SL. 2006. Behavioural uniformity as a response to cues of predation risk. Ani. Behav. 71: 1013-1019.
- USEPA. 2002. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving water to freshwater and marine organisms. United States Environment Protection Agency. 122p.
- Vijayavel K, Gomathi RD, Durgabhavani K & Balasubramanian MP. 2004. Sublethal effect of naphthalene on lipid peroxidation and antioxidant status in the edible marine crab *Scylla serrata*. Mar. Poll. Bull. 48: 429-433.
- Yoon SJ, Kim CK, Myoung JG & Kim WS. 2003. Comparison of oxygen consumption patterns between the wild and the artificially cultured black rockfish *Sebastes schlegili*. Fish. Sci. 69: 41-47.

주 의

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.