

심해저 관측장비의 국산화 추진전략 수립: 1.  
6000미터급 심해저 벤딕랜더 개발 기획연구  
[최종보고서]

2018. 4

한 국 해 양 과 학 기 술 원



## 제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 「심해저 관측장비의 국산화 추진전략 수립: 1. 6000미터급 심해저 벤딕랜더 개발」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018.03

연구책임자: 이재성

참여연구원: 김경태, 김은수, 김형직,  
나공태, 임성훈, 유찬민,  
장인성, 황근춘, 백현민,  
박지영, 이동관, 이승용.



## 보고서 요약서

과제번호	PE9956B	연구기간	17'/08/01 18'/03/31	연구부분	주요사업
중과제명	국가사회적 해양과학기술 수요예측 및 대응 연구(I)				
연구과제명	심해저 관측장비의 국산화 추진전략 수립: 1. 6000미터급 심해저 벤틱랜더 개발				
연구책임자	이재성	연구원수	총 16명 내부: 13명 외부: 3명	총연구비	27,500천원
소속부서명	환경기반연구센터				
경제성평가	연구기관명: 서울과학기술대학교		연구책임자: 유승훈		
<p>○ <b>국내외 현황분석 및 개발 필요성</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 심해저 벤틱랜더는 유기탄소 순환 연구에 이용되는 장비로 1980년대 이후 세계 우수 연구소에서 약 20종의 장비가 개발되어 현재 약 10여종의 장비가 이용됨</li> <li>- 600미터급 심해저 벤틱랜더의 국산화는 해양과학기술 발전에 획기적인 전환점이 될 것이며, 우리원의 핵심 연구 인프라로 활용될 가능성이 큼</li> </ul> <p>○ <b>경제성 평가</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 비용-편익 분석 결과, 순 현재가치는 327백만원, 편익/비용 비율은 1.11, 내부수익률은 9.27%로, 비용-편익 분석을 통과하여 6,000미터급 벤틱랜더 개발사업은 경제적 타당성을 확보</li> </ul> <p>○ <b>차기 연구과제 제시</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 논문분석, 경제성 분석등을 통해 획득된 자료를 바탕으로 “6000미터급 심해저 벤틱랜더 개발”을 차기 원내 기관 연구사업으로 제안</li> </ul>					
색인어	국문	심해저, 벤틱랜더, 벤틱챔버, 프로파일러, 유기탄소순환, 현장관측			
	영문	Deep sea, benthic lander, benthic chamber, profiler, organic carbon cycle, in-situ measurement			



# 목 차

요약문 .....	ix
I. 기획연구 개요 .....	3
1. 추진배경 .....	3
2. 세부 목표 및 내용 .....	4
3. 필요성 .....	5
4. 벤틱랜더의 정의 .....	7
II. 벤틱랜더의 핵심 구성 요소의 기술 분석 .....	11
1. 벤틱랜더의 활용 및 구성 .....	11
2. 벤틱랜더의 개발 역사 .....	15
3. 벤틱랜더의 프레임 구조 및 재질 .....	19
4. 벤틱랜더의 운영 기술 .....	22
1) 렌더의 하강 및 상승 속도 요소 .....	22
2) 렌더의 하강추 (ballast weight) .....	24
3) 렌더의 착지(landing) .....	24
4) 착지 후 시스템 운영 .....	27
5. 마이크로프로파일러의 핵심구성요소 및 운영기술 .....	28
6. 벤틱 챔버의 핵심 구성 요소 및 운영 기술 .....	31
1) 벤틱 챔버의 재질과 뚜껑의 구조 .....	32
2) 벤틱 챔버 교반기 .....	36
3) 제어 전자 장치 및 마이크로프로세서 .....	38
4) 벤틱 챔버의 채수 장치 .....	38
5) 공극수 및 퇴적물 채집 장치 .....	41

6) 벤틱챔버의 현장 측정 .....	43
7) 전원 .....	44
8) 기타 부수 장치 .....	45
7. 벤틱랜더 운영시 문제점 및 해결방안 .....	46
8. 개발시 고려 사항 .....	49
III. 벤틱랜더의 표준운영지침서 및 운영방법 .....	57
1. 심해저 벤틱랜더 표준 운영지침서 .....	57
2. 장비의 현장 운영시 교차 확인 및 시간표 .....	63
IV. 연구개발결과의 활용방안 및 기대 효과 .....	69
참고문헌 .....	73



## 그림 목 차

그림 1. 회수중인 벤틱랜더 .....	8
그림 2. 심해저 카메라가 장착된 벤틱랜더 .....	8
그림 3. 공국수중 물질의 수집분포 및 주요 반응 경로 .....	11
그림 4. KC-Denmark사의 벤틱랜더 프레임 .....	13
그림 5. KC-Denmark사의 자동채수기 .....	14
그림 6. 마이크로프로파일러 모듈(좌), pH, 황화수소, 온도, 용존산소 마이크로센서가 장착된 프로파일러 .....	14
그림 7. 심해용 eddy correlation method 설치장면 .....	15
그림 8. 다이버가 챔버를 모래퇴적물에 설치하는 장면 .....	16
그림 9. 채수가 끝난 자동 채수기 .....	31
그림 10. Goteborg benthic chamber (Tengborg et al., 2003) .....	37

## 표 목 차

표 1 현재까지 개발된 랜더 및 개발자, 개발년도와 참고문헌 .....	18
표 2 랜더 프레임의 사양 및 사용가능 수심 .....	21
표 3 랜더의 음성부력, 하강무게, 하강속도, 챔버의 삽입방법 및 장비 회수법 .....	25
표 4 프로파일러의 센서관련 특성비교 .....	30
표 5 프로파일러의 제어부 특성 비교 .....	30
표 6 다양한 챔버의 사양 .....	35
표 7 챔버의 채수기, 센서, 퇴적물 채집기, 전원 비교 .....	42
표 8 신호체계, 부이사항, 양성부력, 상승속도, 무게추분리장치, 수색장비사양 비교 .....	51
표 9 벤틱랜더 설치 장소 .....	54

# 요 약 문

## 1. 제목

심해저 관측장비의 국산화 추진전략 수립: 1. 6000미터급 심해저 벤틱랜더 개발

## 2. 연구 목표 및 필요성

### ○ 목표

- 대양 탐사선 이사부호에서 활용할 수 있는 심해저 6000미터급 현장 관측장비 벤틱랜더 국산화 가능성 검토 및 세부 추진계획 수립
- 고부가가치 첨단 해양과학기술(MT) 연구개발 노하우 축적으로 관련 산업의 육성 유도과 산-학-연의 협동 체계구축으로 국내 심해저 연구의 활성화 제고

### ○ 필요성

- 우리나라 국력신장으로 전지구적 규모의 해양연구에 대한 투자가 2000년 이후 증가하고 있으며, 해양탐사를 위한 연구 인프라 구축이 지속적으로 진행됨
- 특히, 해양탐사 인프라 구축(대형 조사선 및 해외 거점 연구 실험실 등)에 집중 투자로 우리나라의 해양과학기술의 고도화와 위상 제고에 많은 기여를 하고 있음
- 그러나 해양탐사 인프라 구축의 투자와는 대조적으로 연구활동을 지원하는 관측장비, 시료 채집장비, 측정장비등은 대부분 수입품을 이용함으로써 기술적 종속이 점차 심화됨
- 21세기 해양과학기술 강국에 진입을 위해서는 국내 해양관측기술의 확보가 절실히 요구되며, 이 중 극한 환경인 심해에서 활용할 수 있는 장비 개발 기술은 핵심이 됨
- 이 기획과제는 한국해양과학기술원 브랜드(KIOST) 가치를 극대화 할 수 있는 심해저용 벤틱랜더 개발에 구체적 개발 전략과 이에 요구되

는 각종 사항을 제안하고자 함.

### 3. 범위 및 내용

#### ○ 연구기획의 범위

- 국내외 연구개발 동향 분석
- 벤틱랜더 시장 규모와 경제성 분석

#### ○ 연구내용

- 심해저 연구용 벤틱랜더의 개발 현황 및 분석
- 심해저 현장관측장비 개발에 필요한 기술 요소 분석
- 미래 심해저 현장관측 장비의 개발 방향 예측
  
- 6000미터급 벤틱랜더 개발(안) 계획 수립
- 심해저 벤틱랜더 개별 구성품의 선진 기술 분석 및 평가
- 새로운 개념의 벤틱랜더 기술 검토
- 고부가가치 심해저 관측장비 개발 방향 수립
  
- 심해저 벤틱랜더의 이사부호 장착 및 활용계획 수립
- 사용자 교육(안) 기획
- 심해저 벤틱랜더의 표준절차서(안) 기획

### 4. 결론

- 비교적 타 연구 분야에 비해 발전 속도가 더딘 해양과학기술의 국산화는 국가 연구개발에 절대적으로 필요한 분야
- 심해저 관측기술은 다른 해양과학기술 분야의 파급효과가 큼으로 해양 전문 연구기관인 우리원이 주도가 되어야 함

### 5. 추진전략

#### □ 해외의 심해저 현장관측장비(벤틱랜더) 개발 현황 이해 및 분석

- 기존 출판된 논문과 특허를 중심으로 개발 현황 분석

- 논문에 보고된 심해저 현장관측장비(벤틱랜더)의 특성 분석

- ※ 장비의 장·단점 파악 및 개선 방안 도출

#### □ 경제성 평가 및 산업화 추진 로드맵 작성

- 전 세계의 심해저 관측장비(벤틱랜더)의 시장규모 분석
- 산업계와 연계된 바람직한 R&D 생태계 구축방안 제시

- ※ 별도로 수행된 서울과학기술대학교의 경제성 분석결과 보고서에 제시

#### □ 향후 이사부호에서 활용 극대화 방안 도출

- 이사부호 전용 심해저 현장관측장비(벤틱랜더) 설계 요소 탐색 및 작성
- 장비의 운영에 요구되는 각종 절차의 표준화 및 매뉴얼화

## 6. 기대효과

#### □ 기술적 측면

- 해양과학기술의 종속으로 창의적인 장비개발이 어려움
  - 외국에서 개발된 기성제품의 전적 의존은 국내의 과학기술 개발의 필요성을 느끼지 못하게 하여 결과적으로 발전 속도를 저하 시켜 외국과학기술에 더 종속 되는 악순환 고리를 형성
- 관측결과에 새로운 패러다임 도출 불가능
  - 새로운 관측(분석기술) 방법은 새로운 해양 현상을 발견할 수 있고, 새로운 연구 방법은 연구결과의 독창성을 인정 받음
- 연구개발결과의 연쇄 상승효과 필요
  - 축적된 기술개발 노하우는 관련분야의 개발을 촉진
- 이사부호에 장착된 장비의 지속적인 국산화 요구
  - 이사부호에 장착된 장비의 점진적인 국산화 시도로 관측장비 개발에 요구되는 인프라 구축

□ 경제 산업적 측면

- 신 해양관측장비 개발과 응용연구 확대로 해양과학기술의 선진화 및 산업화 기반 조성
  - 고부가가치 해양과학기술산업의 창출 및 육성 필요
  - 대심도 내압 원천 기술 확보 필요 (해양과학기술 개발 분야의 필수)
  
- 실질적인 해양과학기술 이전 체계 구축
  - 산업계에서 바로 상용화할 수 있는 기술의 이전으로 쌍방의 윈-윈 전략 수립 가능

# I. 기획연구의 개요





## I. 기획연구의 개요

### I-1. 추진배경

- 해양탐사 인프라에 지속적인 집중투자로 대양 연구를 할 수 있는 기반이 조성되고 있으며, 우리원은 대형 탐사선인 이사부호를 확보하여 21세기 해양과학기술 선진국 진입을 위한 토대가 마련되어, 대양연구를 체계적으로 진행 할 수 체계 구축 및 연구내용의 다양성가 요구됨
- 대양은 수심이 4000미터 이상 대심도 환경으로 연구에 이용되는 관측장비는 극한 환경에 내구성이 보장이 필수사항으로 이를 보유하기 위해서는 규모 이상의 예산을 소요됨
- 더욱이, 심해저 연구는 전지구적 기후변화, 해저 광물탐사, 생물자원의 확보 등 국가가 전략적으로 투자해야 할 연구 분야이나 극히 일부 분야에 대한 연구만 진행됨
- 현재 우리원이 보유한 대부분의 심해저 장비는 고가의 수입품으로 장비의 운영 및 유지보수, 성능 개선등에 한계가 있어 연구내용의 다양화에 어려움이 있으며, 일부 분야의 연구만을 진행하고 있음
- 심해저 환경은 극한환경(harsh environment)의 대표적인 실험장(test bed)으로 선진외국은 지속적으로 심해 장비 연구개발에 투자하여 고부가가치의 장비를 상용화하고 더 나아가 이들 기술을 토대로 우주개발과 관련된 각종 측정 장비 개발을 선도함.
- 수심 6000미터는 해구 구간(6000~11000미터)을 제외한 연안에서 심연에 이르는 모든 수심으로 이 수심 구간에서 사용할 수 있는 장비는 대부분의 대양 연구에 활용할 수 있는 장비가 됨.
- 6000미터급 심해저 벤딕랜더 개발 성공은 연안에서 심연에 이르는 구간을 관측할 수 있는 능력을 판단하는 "barometer"로 기술 확보는 각종 센서 개발 및 활용, 장비운영, 자료의 해석 등 첨단 기술의 집약 결과 임

## I-2. 세부 목표 및 내용

목 표	세 부 목 표	연 구 내 용
6000미터급 심해저 벤틱랜더 개발 과제 제안	1. 개발 현황 파악	○ 벤틱랜더의 활용성 ○ 국내외 개발 현황
	2. 기술 요소 파악	○ 벤틱랜더의 핵심기술 - 프레임 재질 및 설계 - 장비 자유낙하 및 회수 기술 - 운영 방법 등 ○ 벤틱챔버의 핵심기술 - 챔버 구조 및 센서 - 교반기 특성 및 검증 - 시료 자동 채수기 - 전자제어 장치 및 전원 ○ 프로파일러의 핵심기술 - 마이크로센서 - 전자제어 및 전원 기술 - 운영 방법 등
	3. 개발(안) 제시	○ 개발 시 요구되는 기술 사양
	4. 운영기술 제시	○ 표준운영지침서 - 현장운영 절차서 - 작동 프로그램 시간표(예)
	5. 경제성 평가	○ 비용-편익 분석 ※ 별도 경제성 평가 보고서 (서울과학기술대학교)

## I-3. 필요성

### I-3-1. 연구배경 및 필요성

#### □ 기술적 측면

- 해양과학기술의 종속으로 창의적인 장비개발이 어려움
  - 외국에서 개발된 기성제품의 전적 의존은 국내의 과학기술 개발의 필요성을 느끼지 못하게 하여 결과적으로 발전 속도를 저하 시켜 외국과학기술에 더 종속 되는 악순환 고리를 형성
- 관측결과에 새로운 패러다임 도출 불가능
  - 새로운 관측(분석기술) 방법은 새로운 해양 현상을 발견할 수 있고, 새로운 연구 방법은 연구결과의 독창성을 인정 받음
- 연구개발결과의 연쇄 상승효과 필요
  - 축적된 기술개발 노하우는 관련분야의 개발을 촉진
- 이사부호를 활용한 심해저 연구분야의 다양화 가능
  - 인도양 열수, 태평양 망간단괴 연구 지역에서 물질 순환 연구에 활용 가능
  - 탄소의 생지화학적 순환 연구에 활용 가능
  - 우리원 브랜드의 장비 확보
- 이사부호에 장착된 장비의 지속적인 국산화 요구
  - 이사부호에 장착된 장비의 점진적인 국산화 시도로 관측장비 개발에 요구되는 인프라 구축

#### □ 경제·산업적 측면

- 신 해양관측장비 개발과 응용연구 확대로 해양과학기술의 선진화 및 산업화 기반 조성
  - 고부가가치 해양과학기술산업의 창출 및 육성 필요
  - 대심도 내압 기술 원천 기술 확보 필요 (해양과학기술 개발 분야의 필수)

- 실질적인 해양과학기술 이전 체계 구축
  - 산업계에서 바로 상용화할 수 있는 기술의 이전으로 쌍방의 윈-윈 전략 수립 가능

#### □ 사회·문화적 측면

- 해양과학기술 강국이 갖추어야할 기본적인 당위성 확보 및 국민 홍보
  - 대국민 해양과학기술 개발 정신 함양 및 고취
  - 지속적인 국민 홍보로 우리원의 위상 강화

### I-3-2 연구의 중요성

#### □ 과학적 중요성

- 신 현장관측기법 개발 능력 확보
  - 고압의 심해저 관측 및 측정기술 확보
  - 저층경계면에서 유기탄소 순환, 저서동물 생물활동 연구를 위한 첨단 분석 능력 확보
  - 다양한 환경생리 연구용 기기 개발 능력 확보
- 첨단 센서 개발 및 운영 능력 보유
  - 광/전기화학적 산소 마이크로 산소 센서 개발/운영 기술 확보
  - 미세 전류 증폭 기술 확보
  - 평면 광센서 개발기술 확보
- 연구목적 지향 맞춤형 연구장비의 국산화
  - 현장관측장비 설계 및 제작기술 축적
  - 대심도 내압 기술 및 센서 인터페이싱 기술 확보
  - 수입 장비의 국산화로 효율적인 연구비 활용
- 현장관측장비개발 기술 축적으로 다양한 실험가능
  - 자료의 독창성 확보
  - 고가의 첨단 해양용 현장측정장비 개발 및 기술 보급

## □ 산업적 중요성

- 산-학-연이 연계된 심해저 현장관측장비의 국산화 체계 구축
  - 장비 국산화에 요구되는 이론적 배경에 다양성 확보
  - 사용자 맞춤형 장비 설계로 실용적인 장비 개발과 연계

## □ 우리원의 고유 기능과의 연관성

- 해양과학기술 및 해양산업 발전의 원천연구, 응용 및 실용화 연구
- 해양관련 기기·장비기술개발 및 검·교정
- 전지구적 기후변화에 따른 해양변동 원인 규명

## I-4. 벤틱랜더의 정의

- 벤틱랜더는 해저면에서 물리학, 생물학, 화학적 반응을 측정하는 관측 시스템임. 랜더는 자동화된 기기로 생물학 연구용 장비는 수일, 물리해양학 연구용 장비는 수년간 동안 해저면에서 자동으로 작동함. 벤틱랜더는 기기의 운송, 연구목적, 사용수심에 따라 다양한 크기와 모양을 갖음 (in Wikipedia) (그림 1).
- 벤틱랜더의 대표적인 “Free-fall vehicle”과 “Pop-up vehicle”은 자동(기계적 작동)으로 바닷속으로 가라앉아, 연구선과 연결없이 독립적으로 해저면에서 해양정보를 수집하는 장비 임. 장비의 작동이 완료되면, 미리 입력된 시간, 혹은 수면에서 음향신호를 보내어 무게추를 분리하여 양성부력을 만들어 수면으로 장비가 수층으로 떠오르게 하여 회수하는 장비임.
- 다양한 종류의 벤틱랜더로 저층 nepheloid layer에서 정밀측정 (Vangrieshem & Khripounoff, 1990), 해저경계층에서 고해상도의 해수 채수 (Spencer et al. 1994), 그리고 미세진동활동의 측정 (Kirk et al. 1982), 심해어의 이동경로 추적이나 분포, 일정 시간간격으로 사진촬영을 통한 해저면 활동 측정 (Isaacs & Schwartzloze 1975,

Billett et al. 1983, Thurston & Bett 1994) 등을 수행함 (그림 2).

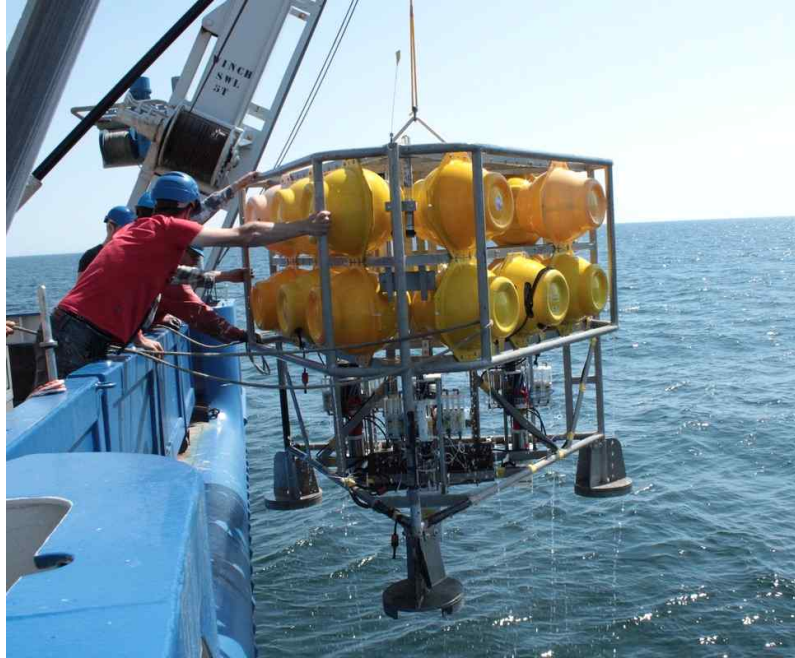


그림 1 회수중인 벤틱랜더

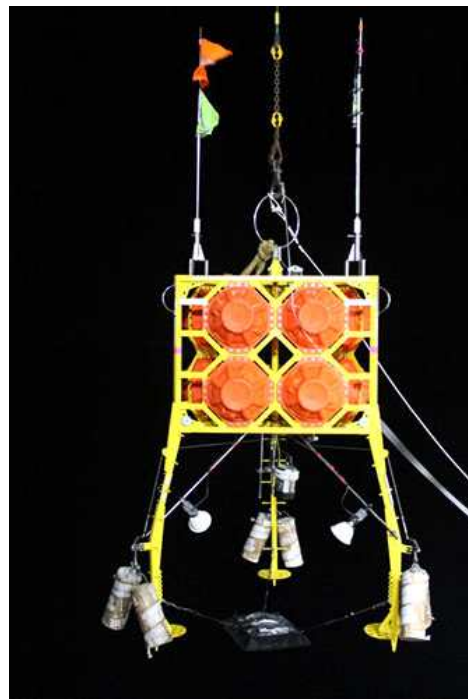


그림 2 심해저 카메라를 장착된 벤틱랜더

## II. 벤틱랜더의 핵심 구성 요소의 기술 분석





## II. 벤틱랜더의 핵심 구성 요소의 기술 분석

### II-1. 벤틱랜더의 활용 및 구성

- 해양에서 생성된, 또는 육지에서 해양으로 유입된 입자성 유기물질은 중력에 의해 해저 퇴적물로 이동됨. 표층퇴적물에 퇴적된 입자성 유기물질은 빠른 속도로 다양한 생지화학적 반응 경로를 통해 재광물화 과정을 거침. 재광물화 과정에서 생성된 환원물질( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$  등)들은 공극수 내부에서 다른 환원물질과 반응하여 침전되거나 퇴적물-해수 경계면을 통과하여 수층으로 재공급됨. 이러한 일련의 반응의 대부분은 미생물의 활동에 의해 결정되고 매우 역동적인 프로세서 임(그림 3).

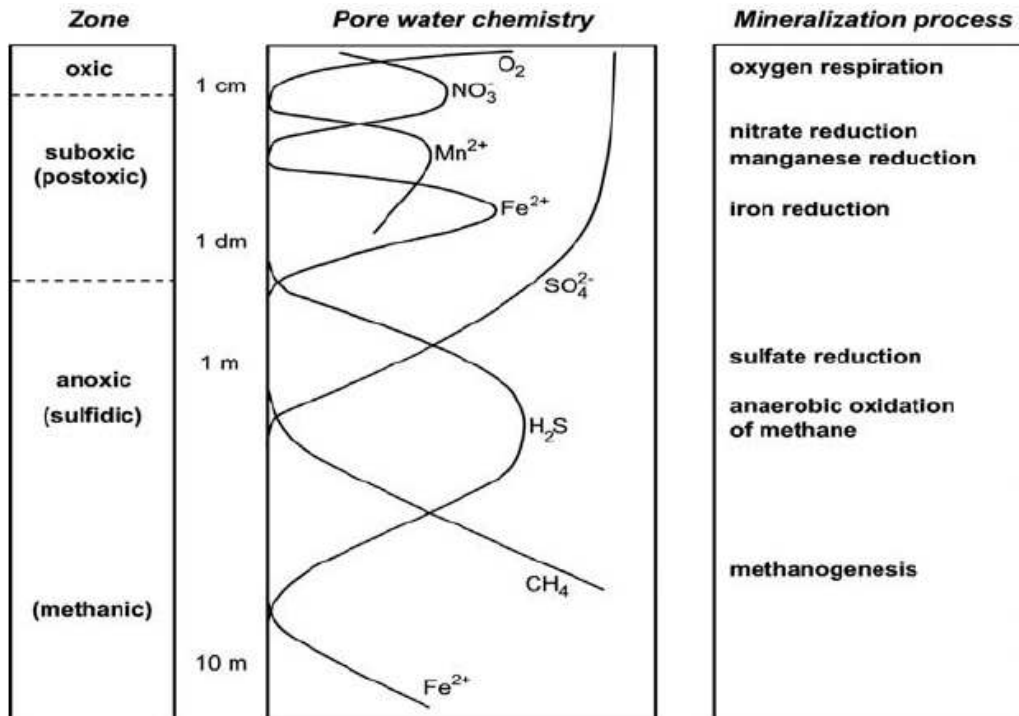


그림 3 공극수 중 물질의 수직분포 및 주요 반응 경로

- 결과적으로 퇴적물 내부에서 다양한 생지화학적 반응은 공극수내 물질의 농도 기울기를 만들고, 퇴적물-해수 경계면의 물질 교환 플럭스를 결정함. 따라서 퇴적물-해수 경계면에서 교환되는 물질의 양을 정량화 하기 위해서는 공극수의 농도 기울기를 측정하여 계산하는 간접적인 방법과 퇴적물 경계면을 통해 이동하는 양을 직접 측정하는 방법이 있음.
- 해저 퇴적물 표층에서 물질순환은 미생물의 호흡에 의해 주로 결정됨. 오랜동안 이용되는 연구 방법은 선상 및 실험실에서 배양을 하거나 또는 공극수 시료를 추출하는 방법이 있음. 그러나 심해 연구의 경우 시료의 보관, 주변 물리적 환경의 변화(수온, 압력 등), 그리고 이동과정에 발생할 수 있는 잠재적인 인위적 영향(artifact)이 분석결과에 오류를 초래할 가능성이 매우 큼.
- 이러한 시료 채집 및 분석상의 영향을 최소화 시키는 연구가 1980년대 이후 계속 진행 중에 있음. 특히, 수심이 1000미터 이상의 경우 벤틱랜더를 활용한 현장측정이 가장 신뢰할 수 있는 결과를 제시한다고 보고되고 있음. 이러한 이유로 지속적으로 벤틱랜더가 개발되고 있음.
- 벤틱랜더의 기본 구성은 1) 프레임, 2) 심해저 부이, 3) 부력 조절용 웨이트, 4) 위치추적장치, 5) 벤틱챔버, 6) 마이크로프로파일러, 7) 기타 센서 등으로 구성 (그림 4)
- 프레임은 전체 시스템의 구성 조건에 따라 다양한 형태와 크기를 갖음. 일반적으로 프레임 상부층에는 심해저 부이와 위치추적장치 등 보조 장비등을 설치하도록 설계되어져 있음
- 심해저 부이와 부력 조절용 웨이트는 상승/하강시 부력을 조절하는데 이용됨. 선상에서 해저면에 설치를 할 때 전 시스템의 부력이 약 40~60 kg의 음성부력이 되도록 조절하여 자유낙하 시킴. 한편, 상승시에는 양성부력 80 kg이상이 되도록 부이를 장착함.



그림 4 KC-Demark 사의 벤틱랜더 프레임

- 벤틱챔버는 퇴적물 표면에서 교환되는 물질의 양을 측정하기 위해 현장에서 배양하는 “현장배양장치”임. 기본적으로 시간별로 챔버내 해수를 채수하는 자동채수기가 장착되어 있음(그림 5).
- 마이크로프로파일러는 산소, 황화수소, pH등의 미세센서가 장착되어 수십 마이크로미터의 고해상도로 퇴적물-해수 경계면의 수직 농도분포를 측정하는 장치임 (그림 6).
- 최근에는 평면광센서, Eddy correlation system, in-situ PIV등이 장착되어 퇴적물/해수 경계면에서 물질의 교환, 저서동물의 활동, 입자 물질의 이동 등을 장착하여 사용할 수 있도록 개발 됨 (그림 7).

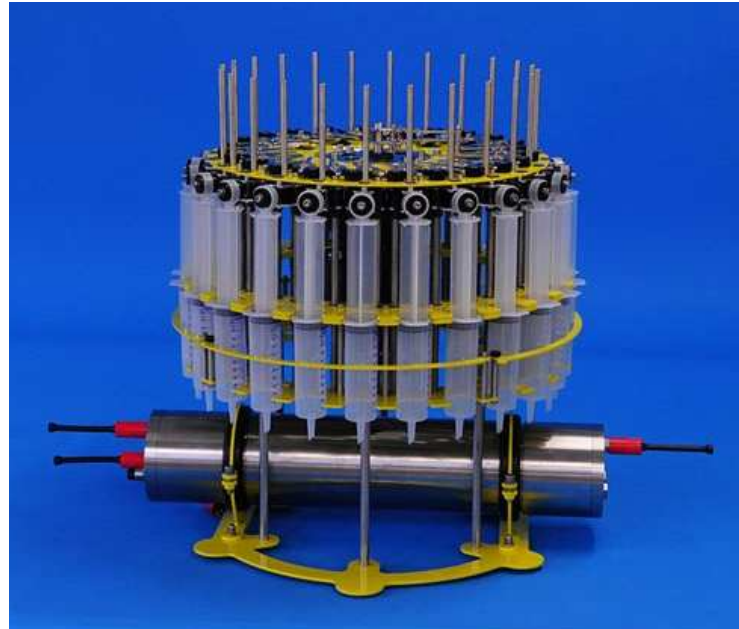


그림 5 KC-Demark 사의 자동 채수기

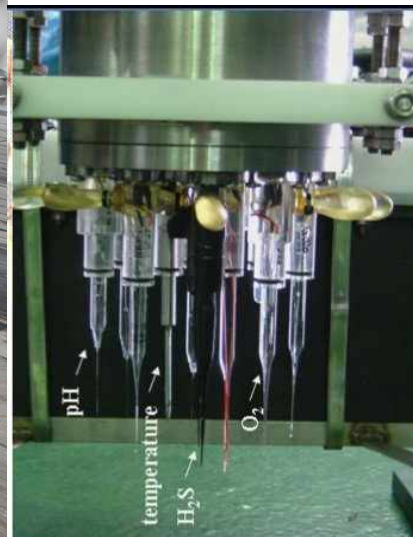


그림 6 마이크로프로파일러 모듈 (좌), pH, 황화수소, 온도, 용존산소 마이크로센서가 장착된 프로파일러(우)

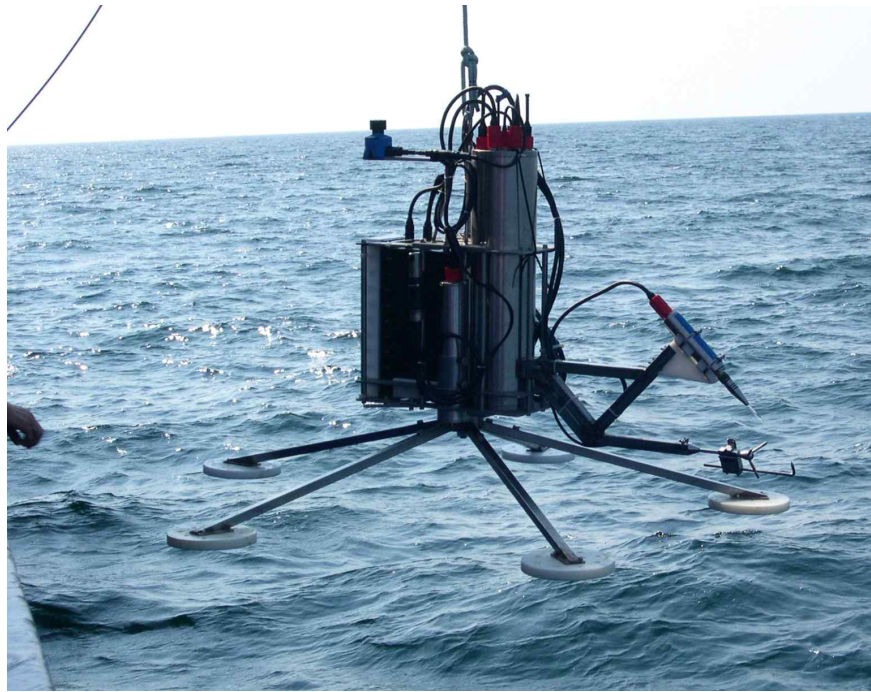


그림 7 심해용 eddy correlation method 설치 장면

## II-2. 벤틱랜더의 개발 역사

### II-2-1. 벤틱챔버 (benthic chamber)의 개발과정

- 1960년대까지 초창기 챔버는 연안에서 (수심 30미터 이내) 스쿠버다이 버가 장비 설치 및 시료 채집을 수행했음. 수중에서 해저면에 외부 해수를 격리시키는 일정한 부피를 갖는 챔버를 설치한 후 시간 간격 별로 해수를 채수하여 실험실에서 분석하는 방법을 이용했음 (그림 8).
- 수면 부이와 연결된 챔버 장치는 바다의 해황에 따라 실험의 성공 여부가 결정됨. 한편, 수면 표시 부이가 어업 장비들에 의해 끌려가 분실되는 경우가 종종 발생함. 이러한 문제점을 해결하기 위해 수중에서 독립적으로 작동하는 기기가 개발되었으며, 전자제어장치의 개발로 자동화된 벤틱챔버의 개발이 쉬워졌음.
- 현장 벤틱챔버의 초기모델로는 1970년대 FVR (Smith 외, 1997), MANOP (Kirsten & Jahnke, 1985; Weiss 외, 1997), FVGR-1

(Smith 외. 1978, 1979)등이 있음. 1979년 개발된 Hinga 벤틱 챔버는 무어링으로 바닥에 설치되도록 개발됨 (표 1).

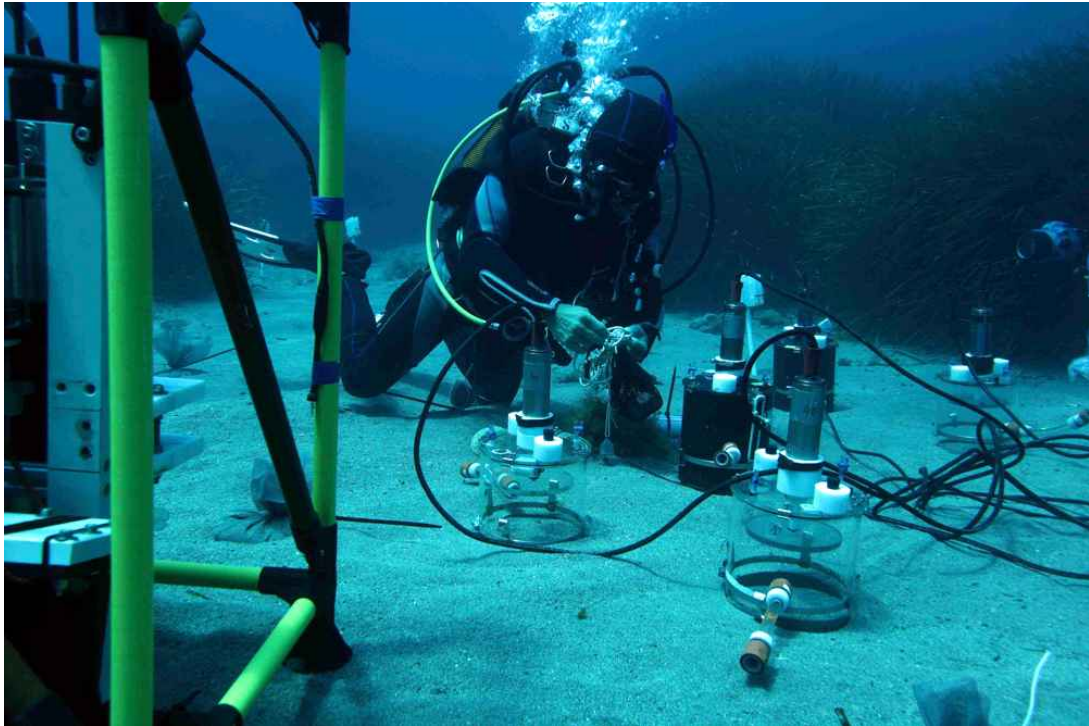


그림 8 다이버가 챔버를 모래 퇴적물에 설치하는 장면

- 1980년대에 들어서서는 많은 형태의 챔버들이 개발됨. 1987, 1993년 DEVOL 랜더, FVR, 1992, 1993년의 IHF가 개발됨. 1986년에는 단기간에 다수 물질교환을 측정이 가능한 배양장치의 필요성에 따라 USC 랜더 (Berelson & Hammond, 1986)가 개발되어 다양한 연구에 활용됨. 1989년 BECI (Jahnke & Christiansen, 1989)는 복잡한 MANOP 랜더의 단점을 개선했으며, 현재는 물질교환을 측정 뿐 아니라 해저 생물을 유인해 채집까지 가능한 FVGR-2 (Smith 1987)와 GOMEX (Rowe 외. 1995)가 개발되고 있음.
- 1990년대 개발된 ROLAI<sup>2</sup>D의 경우 최대 50일 동안 지속적 시료채집과 측정이 가능함. BOLAS의 경우 해수 및 퇴적물의 채집이 가능하고, 카메라까지 탑재하여 챔버 내부에 있는 해저생물들을 촬영할 수 있음

(표 1). BECI에 기반을 둔 ELINOR (Glue 외. 1995) 챔버는 미세센서 기술을 이용했고, 일본은 BECI에 기반을 둔 ITP를 개발했음.

- 개량된 RAP는 안정된 장비 착지(landing)를 위해 낙하산을 장착했음. 1995년에는 코어링이 가능한 BANYULS와 GOTEBORG도 개발되었음. IDRONAUT/CISE (Barbanti 외. 1992; Ciceri 외. 1992)는 챔버 내부의 배양수가 일정한 산소와 pH 농도 유지를 유지할 수 있게 개발되었음. 이와 유사한 장비는 Chadwick 외. (1993)의 BFSD가 있음. 1994년에는 비디오장치를 장착한 BIO-C-FLUX와 BIOSTABLE이 개발되었음.
- 미니/미세전극을 이용하여 퇴적물 공급수의 고해상도 수직분포를 측정하는 마이크로프로파일러가 개발됨(그림 8). 마이크로 프로파일러는 수십 마이크로미터의 해상도로 퇴적물/해수 경계면에서 산소, 황화수소, pH, 황, 환원형 망간, 철 등을 분석하는 장치로 물질의 교환율을 현장에서 측정하는 장비임. 1987년 REIMERS가 처음 개발했으며, UW PROFILER (Archer 외. 1989; Hales 외. 1994), PROFILUREN (Gundersen 외. 1990-1992), 그리고 TROL (Epping & Helder 1995) 등의 개발되고 있음 (표 1).
- Reimers는 광섬유센서를 장착하여 공급수내  $pCO_2$  농도를 측정하는 UW 프로파일러를 추가로 개발했음.

표 1 현재까지 개발된 랜더 및 개발자, 개발년도와 참고문헌

	장비명 (종류)	개발자 (기관 및 국가)	개발년도	이전(참고)모델; 제작자의 기존모델	설치 횟수; 성공 횟수; 총 운용시간	참고문헌
1	FVR (챔버)	K.L. Smith JR. (SIO, 미국)	1972-73	-		Smith 외. 1976
2	FVGR-1 (챔버)	K.L. Smith JR. (SIO, 미국)	1987	FVR crawler/ FVGR-1		Smith 외. 1979/ 1987
3	HINGA (챔버)	K.R. Hinga (Rhode Island 대학, 미국)	1976	-		Hinga 외. 1979
4	MANOP (챔버)	R.F. Weiss (SIO, 미국)	1977	-		Weiss 외. 1977; Kirsten & Jahnke 1985
5	DEVOL (챔버)	A.H. Devol / (워싱턴대학, 미국)	1983	-	61; 50; 60일	Devol 1987; Devol & Christensen 1993
6	USC (챔버)	Berelson & Hammond / (남가주대학, 미국)	1983	-	100일 이상; 성공율 90%	Berelson & Hammond 1986
7	EAWAG (챔버)	M. Schurter & B. Wehrli (EAWAG, 스위스)	1984-85	DEVOL	40; 25; 35일	Devol 1987; Wehrli 외. 1994
8	GOMEX (챔버)	G.T. Rowe (텍사스대학, 미국)	1987	FVR	22; ; 9일	Rowe 외. 1994
9	ROLAI <sup>2</sup> D (챔버)	Sayles & Dickinson / (우드홀 연구소, 미국)	1987-88	-	18; 15; 500일	Sayles & Dickinson 1991; Dickinson 외. 1992
10	BECI (챔버)	Jahnke & Christiansen (SIO, 미국)	1987	MANOP	61; 50; 120일	Jahnke & Christiansens 1989
11	IHF (챔버)	Nuppenau&Phannkuche (함부르크대학, 독일)	1989	FVGR	35; 20; 100일	Phannkuche 1992, 1993
12	BOLAS (챔버)	Wilde & Berghuis (네덜란드해양연구소)	1988-89	-	43; 33; 40일	
13	BFSO (챔버)	Chadwick (NCCOSC, 미국)	1989	-	40; 25; 160일	Chadwick 외. 1994
14	ELINOR (챔버)	R. Glud (오르후스 대학, 덴마크)	1990-91	BECI	60; 50; 20일	Glud 외. 1994
15	RAP 2 (챔버)	Crassous & Khripounoff (브레스트센터, 프랑스)	1993	-		
16	BANYULS (챔버)	Bovee & Tengberg (아라고실험실, 프랑스)	1992-93	-	5; 3; 15일	De Bovee 외. 1995
17	ITO (챔버)	N. ITO (잠스티 해양연구소, 일본)		BECI		
18	GÖTEBORG (챔버)	Tengberg & Hall (차머즈 대학, 스웨덴)	1993-94	BANYULS	4; 4; 4일	De Bovee 외. 1995



	장비명 (종류)	개발자 (기관 및 국가)	개발년도	이전(참고)모델: 제작자의 기존모델	설치 횟수; 성공 횟수; 총 운용시간	참고문헌문헌
19	IDRONAUT (챔버)	Graziotin & Ciceri (IDRONAUT, 이탈리아)	1994	-		Barbanii 외. 1992/ Ciceri 외. 1992
20	BIO-C-F LUX (챔버)	Nuppenau & Phannkuche (함부르크대학, 독일)	1994	IHF		
21	BIOSTABLE (챔버)	Gage & Smallman (Dunstaffnage, 스코틀랜드)	1994	-		
22	REIMERS (프로파일러)	C.E. Reimers (SIO, 미국)	1986, 1990, 1993-94	-	50일 이상	Reimers 외. 1987, 1992; Cai & Reimers 1993
23	UW PROFILE R (프로파일러)	S.R. Emerson 외. (워싱턴대학, 미국)	1987	REIMERS	36; 17; 4.5일	Archer 외. 1989; Hales 외. 1994
24	PROFILUREN (프로파일러)	J.K. Gundersen (오르후스대학, 덴마크)	1988	REIMERS	80; 70; 50일	Gundersen 외. 1992
25	TROL (프로파일러)	W. Helder (네덜란드 해양연구소)	1988	REIMERS	50; 43; 30일	Epping & Helder 1994
26	BOTIY (프로파일러)	Rutgers & Holby (알프레트베케너 극지연구소, 독일)	1992	TROL	12; 7; 15일	
27	SAHAMI (프로파일러)	A. Sahami (벤쿠버 대학, 캐나다)	1993	-	50; 40; 7일	
28	GEOMAR (프로파일러)	M. Schloter (GEOMAR 연구소, 독일)	1994	TROL		
29	Belci-II (챔버)	Lee, JS/ (KIOST, 한국)	2008, 2013		20; 20; 40일	Lee 외, 2009, 2012, 2015
30	Belpl-II (프로파일러)	Lee, JS/ (KIOST, 한국)	2008, 2013		20; 20; 40일	Lee 외, 2008, 2012, 2015

### II-3. 벤틱랜더 프레임 구조 및 재질

- 벤틱랜더 프레임은 측정장비의 장착과 장비설치-회수를 위한 장치 (해저면에 설치를 위한 무게추의 장착과 상승을 위한 부이 장착)를 위해 견고한 프레임이 필요로 함.
- 프레임 개발의 기술적 핵심요소는 내구성이 강하고 가능한 가볍게 제작하는 것임. 가벼운 장비는 다루기 손쉬울 뿐 아니라 고가의 부이체가 적게 필요함. 그러나 현장 운영중 선박에서 설치와 회수할 때 물

리적 손상을 쉽게 받을 수 있어 무게와 견고함이 상충됨.

- 대부분의 프레임은 장비의 이동과 보관을 위해 경제성이 큰 재질로 설계, 제작됨. 가장 보편적인 재질로는 저렴하고 가벼운 알루미늄 합금 ( $\rho_{Al} = 2600-2850 \text{ kg/m}^3$ )이 있음. 그러나 스테인레스철 같은 다른 재질들에 비해 강도가 약하며, 수리를 위해서는 특수용접장비등이 필요함 (표 2).
- 알루미늄 재질의 단점을 보완하기 위해 스테인레스철, 티타늄 및 기타 합성 물질 (에폭시 레진이나 아라미드가 합성된 강화유리섬유, 흔히 Kevlar<sup>®</sup>라 알려진)등을 이용되고 있음.
- 스테인레스철 ( $\rho_{stainless} = 7950 \text{ kg/m}^3$ )은 알루미늄보다 약 3배 정도, 다른 합금 ( $\rho_{composite} = 1500 \text{ kg/m}^3$ )보다는 최소 4배 이상 밀도가 높음.  $4500 \text{ kg/m}^3$ 의 밀도를 가진 티타늄은 스테인레스철보다 가볍고, 탄성계수 (E)가 알루미늄보다 세배, 다른 합금보다 1.5배 정도 높으나 가격이 매우 높은 것이 단점임 ( $E_{stainless} = 210\text{GPa}$ ,  $E_{Al} = 70\text{GPa}$ ,  $E_{composite} = 120-140\text{GPa}$ ,  $E_{titanium} = 14-118\text{GPa}$ )
- 대표적 스테인레스철의 종류로는 AA 316 (미국 기준), 알루미늄은 AA 5052, AA 5754, AA 5083, AA 6082, AA 6063 그리고 AA 6061 등이 있음.
- 티타늄은 상대적으로 가볍고 강하나, 용접이나 가공이 쉽지 않음. 고품질의 티타늄 용접을 위해서는 특수조건 (산소의 차단 및 아르곤 가스의 충전 환경)에서 특수용접장비를 사용해야 하는 전문성이 요구됨. 티타늄의 가공은 티타늄 가루의 자연발화 성질 때문에 주위가 요구됨. 이러한 문제들로 인해 티타늄 재질의 프레임은 많은 사용되지 않음.
- 도금철은 스테인레스철과 비슷한 기계 물리적 성질을 가지고 있고 가격이 저렴한 장점이 있으나 프레임 재질로 적합하지 않음. 해수에서 운용되는 랜더 특성상 기기 모듈이 접하는 연결부분에 도금에 문제가

발생하거나 운영시 도금이 벗겨지면 부식반응이 일어나 내구성이 급격히 감소함.

- 프레임제작에 사용되는 재료들 중 합금제는 상당한 주의가 필요함. 코팅이나 페인팅을으로 프레임을 절연 처리 했음에도 불구하고 운영시 절연재의 벗김일 피할 수 없으며 결과적으로 프레임의 부식을 초래할 수 있음.

표 2. 랜더 프레임의 사양 및 사용가능 수심

	챔버 / 프로파일러	외골격자재; 형태; 크기 (높이(h), 너비(w)); 튜브; 튜브크기 (내부크기 (id), 외부크기 (od))	무게 (kg)	분 해	최대적용 가능수심 (km)
1	FVR (챔버)	알루미늄; 삼각형; h=3.4m, w=2.2m; 실린더 튜브; id=50mm, od=65mm	200	부이용 받침대 분리 가능	7
2	FVGR-1/ FVGR-2 (챔버)	알루미늄; 삼각형; h=4m, w=2.7m; 실린더 튜브; id=50mm, od=65mm	400	부이용 받침대 분리 가능	7
3	HINGA (챔버)	알루미늄; 사각형; h=0.7m, w=1.8x1.2m; 사각 튜브; od=50mm	56	볼트형 외골격 분리 가능, 부이용 받침대 없음	6
4	MANOP (챔버)	알루미늄; 삼각형; h=3m, w=2m; 사각 튜브; id=44mm, od=51mm	1,000	부이용 받침대 분리 가능	6
5	DEVOL (챔버)	알루미늄; 삼각대; h=4m, w=2.8m; 실린더 튜브; id=40mm, od=43mm	550	부이용 받침대 분리 가능	5
6	USC (챔버)	알루미늄; 삼각대; h=1.5m (부이용 받침대 미포함), w=1.5m; 사각 튜브; id=39mm, od=51mm	200	80cm 규격축소 가능	5.2-6
7	EAWAG (챔버)	알루미늄; 삼각대; h=2m, w=2.1m; 실린더 튜브; id=40mm, od=50mm	210	2m 규격축소 가능	1
8	GOMEX (챔버)	알루미늄; 사각형; h=3m, w=2m; 실린더 튜브; id=38mm, od=48mm	1,000	가능	3.7-6
9	ROLA <sup>2</sup> D (챔버)	알루미늄; 삼각대; h=4.5m, w=2.9m; 실린더 튜브; id=38mm, od=48mm	1,800	부이용 받침대 분리 가능	4.5
10	BECI (챔버)	알루미늄; 삼각대; h=3m, w=2m; 사각 튜브; id=51mm, od=65mm	500	부이용 받침대 분리 가능	6
11	IHF (챔버)	알루미늄; 삼각형; h=3.2m, w=2.4m; 실린더 튜브; id=40mm, od=50mm	1,300	부이용 받침대 분리 가능	6
12	BOLAS (챔버)	알루미늄; 사각형; h=4.5m, w=3m	1,300	부이용 받침대 분리 가능	6
13	BFSD (챔버)	알루미늄; 삼각대; h=1.2m, w=1.2m; 실린더 튜브	78	가능	0.05

	챔버 / 프로파일러	외골격자재; 형태; 크기 (높이(h), 너비(w)); 튜브; 튜브크기 (내부크기 (id), 외부크기 (od))	무게 (kg)	분 해	최대적용 가능수심 (km)
14	ELINOR (챔버)	알루미늄; 삼각대; h=3m, w=2m; 사각 튜브; od=40mm	580	부이용 받침대 분리 가능	6
15	RAP-2 (챔버)	알루미늄; 사각형; h=2.2m, w=1.8x3m; 실린더 튜브; id=40mm, od=50mm	1,970	부이용 받침대 분리 가능	6
16	BANYULS (챔버)	알루미늄; 사각형; h=3.3m, w=2.1m; 실린더 튜브; id=50mm, od=60mm	1,200	1.2m 규격축소 가능	6
17	GÖTEBORG (챔버)	스테인레스철; 사각형; h=3.4m, w=2.4m; 실린더 튜브; id=42.3mm, od=48mm	1,400	1.2m 규격축소 가능	6
18	IDRONAUT (챔버)	티타늄; 삼각대; h=2.6m, w=2m; 사각 튜브; id=47.6mm, od=50mm	600	2m 규격축소 가능	0.5
19	BIO-C-FLUX (챔버)	스테인레스철; 삼각대; h=2.2m, w=2m; 실린더 튜브; id=84mm, od=90mm	1,000	2x1.1m 규격축소 가능	6
20	BIOSTABLE (챔버)	알루미늄; 삼각대; h=2.2m, w=2.7m; 실린더 튜브	900	가능	2.5
22	REIMERS (프로파일러)	알루미늄; 사각형; h=0.8m, w=0.4m	408	가능	6
23	UW PROFILER (프로파일러)	알루미늄; 삼각대; h=3.7m, w=2.4m; 실린더 튜브; id=50mm, od=60mm	136	1.2m 규격축소 가능	무제한
24	PROFILUREN (프로파일러)	알루미늄; 삼각대; h=3.5m, w=1.8m; 사각 튜브; id=30mm, od=40mm	350	1.5m 규격축소 가능	6
25	TROL (프로파일러)	알루미늄; 삼각대; h=3m, w=2m	350	부이용 받침대 분리 가능	6.5
26	BOTTY (프로파일러)	알루미늄; 삼각대; h=2.7m, w=1.8m; 실린더 튜브; id=40mm, od=50mm	515	가능	6
27	SAHAMI	알루미늄 & 스테인레스철; 삼각형; h=0.8m, w=0.4m	18	-	1
28	Belcl-II (챔버)	스테인레스철; 사각형; h=2.5m, w=2m; 실린더 튜브; id=70mm, od=80mm	700	불가능	3
29	Belpl-II (프로파일러)	스테인레스철; 사각형; h=2.5m, w=2m; 실린더 튜브; id=70mm, od=80mm	700	불가능	3

## II-4. 벤딕랜더의 운영기술

### II-4-1 랜더의 하강 및 상승 속도 요소

- 해류는 랜더의 상승과 하강에 영향을 미쳐 원하는 위치에 정확히 설치하는 것을 어렵음. 빠른 속도(0.5 - 1 ms<sup>-1</sup>)의 랜더 하강 및 상승 속도는 장비의 밀림현상을 줄일 수 있으나 약 3.6km의 깊이까지 하강하는데 약 1-2시간 정도가 소요됨.

- 장비의 설치 및 회수 시간 단축을 위해 빠른 하강 및 상승 속도가 요구되며, 결과적으로 선상 시간의 절감을 유발함. 그러나, 만일 랜더의 하강 속도가 너무 빠를 경우, 해저면 착지시 퇴적물 표면의 교란을 일으킬 수 있음. 더불어 장비 무게와 가속도로 인해 장비가 퇴적물 깊이 박혀 장비가 상승하지 못할 가능성이 있음. 실제로 1990년에 지중해에서 TROL과 BOLAS 랜더가 퇴적물에 매몰되어 회수하지 못한 보고가 있음.
- 랜더가 하강할 때 시스템 전체는 중력과 해수의 저항을 받음. 해수 저항은 해수와 랜더 프레임 사이의 마찰을 일으키며, 랜더 주변 물의 흐름에까지 영향을 미침.
- 가속도가 0 이라고 가정하고 불규칙한 형태의 물체가 물속에서 자유 낙하할 때 낙하속도는 대략 아래의 공식으로 나타냄.

$$V_{lim} = \sqrt{\frac{2m_{water} \times g}{\rho_{liquid} \times C_D S}} \quad \text{--- (1)}$$

- V는 랜더의 전체 부피(m<sup>3</sup>), m은 공기중에서 랜더의 무게(kg), g는 중력가속도로 9.81 m s<sup>-2</sup>, ρ는 해수의 밀도로 약 1,026 kg m<sup>-3</sup>, C<sub>D</sub>는 drag coefficient, S는 장비 면적(m<sup>2</sup>) 임. 해수밀도는 수심이 깊어질수록 6km 당 1.5~2% 씩 증가함. 1991년 Sayles와 Dickinson는 약 30 kg의 랜더가 4km의 깊이에서 밀도 증가에 의해 양성부력이 증가하는 것을 측정했음. 반면, 1985년 Kirsten과 Jahnke는 높은 유체 압에 총 부력을 감소시키기 위해 랜더의 부피를 적절하게 조정하여 시스템을 설계했음. 그러나 랜더의 상승 및 하강 시 해수밀도의 변화폭이 아주 미세하여 상승과 하강 속도에 미치는 영향이 무시할 수 있다고 보고됨.
- 랜더의 속도는 하강시의 음성 부력, 상승시의 양성 부력 (m<sub>water</sub> =

$m_{air} \cdot r_v$ , 랜더의 부피  $V$ )과  $C_D S$ 에 의해 결정됨을 나타냄.  $C_D S$ 의  $S$ 는 단면적( $S(m^2)$ )과  $C_D$ 는 drag coefficient 임.  $C_D$ 는 랜더의 상승과 하강에 따라 변하지만, 랜더의 복잡성과 현실적 요소들로 인해, 대부분 일정한  $S$ 와  $C_D$ 로 가정함. 따라서 랜더의 승하강 속도를 결정하는 주요 요소는 랜더의 형태와 면적으로서,  $C_D S$ 로 나타낼 수 있음.

- 랜더의 형태, 표면적( $C_D S$ ) 그리고 수중에서의 무게에 따라, 하강 속도는 대개  $25-60 \text{ m min}^{-1}$  정도임 (표 2와 3).

#### II-4-2. 랜더의 하강추 (ballast weight)

- Ballast weight는 콘크리트, 고철덩어리, 주철, 납 등 다양한 재질이 사용됨. 납은 밀도가 가장 높지만 환경오염 가능성 때문에 사용되지 않음. 철 폐기물과 같은 고철덩어리는 구하기 쉽고 저렴하지만 그 불규칙한 형태 때문에 사용하기에 어려움이 있음. 원뿔형태로 주조된 주철은 비싸지만 장비설치 시 발생하는 방해요소를 최소화 시킬 수 있음. 한편, 콘크리트는 밀도가 상대적으로 낮고 심해환경조건에서의 반응이 알려져 있지 않아 사용되지 않음
- Ballast weight는 프레임의 아래쪽에 고정하거나 프레임 발판처럼 장착할 수 있게 개발됨 (Table 3). 프레임 발판에 장착은 퇴적층과 장비사이에 걸리는 장력의 대부분이 발판으로 작용되기 때문에, 장비회수 시 랜더가 바닥에서 쉽게 분리 될 수 있게 해줌. 이 방법은 퇴적층에 랜더장비가 매몰되는 위험성을 줄일 수 있음. 하강추의 설치 는 선상에서 위험한 작업으로 특수 작업대가 필요하여, 랜더를 들어올려 무게추를 장착해야하는 불편함이 존재함.

#### II-4-3. 랜더의 착지 (landing)

- 대부분의 랜더는 착지 시 하강 속도로 충격이 발생함. 랜더발판이 클수록 안정적인 착지와 퇴적층에 깊이 박히는 것을 막아줌. 발판의 구

멍은 상승하기 위해 퇴적층에서 떨어져 나올 때 흡착 저항을 줄여줌.

표 3 랜더의 음성부력, 하강 무게, 하강속도, 챔버의 삼입방법 및 장비 회수법

	챔버 / 프로파일링 랜더	수중무게 (kg)	하강무게(kg): 개수 x 무게 (kg) = 무게 (kg); 고정법 ; 자재	하강 속도 (m/min)	챔버의 퇴적층 삼입	챔버 회수법
1	FVR (챔버)	50	1 x 136 = 136; 프레임에 고정; 납	35	착지 후, 비감쇠상자	음향신호
2	FVGR-1/ FVGR-2 Chamber	33 / 94	발판3 x 115 + 하강추 250 = 595; 철	44/35	착지 후, 감쇠 상자	음향신호
3	HINGA (챔버)	비자동	1x1-260kg; 프레임에 닷 연결; 철과 콘크리트	60	착지 후, 비감쇠상자	용해 (마그네슘)
4	MANOP (챔버)	50	1x150=150; 프레임에 고정; 철	35	연속관측	유체역학장치
5	DEVOL (챔버)	70	3x60=180; 프레임 고정; 납벽돌	30	착지 후, 감쇠상자	Burn wire
6	USC (챔버)	60	3x27=81; 프레임에 매달음, 납벽돌	55	착지 후, 비감쇠상자	Burn wire
7	EAWAG (챔버)		-	-	착지 후, 감쇠 상자	Burn wire
8	GOMEX (챔버)	50	2x30=60; 프레임의 PVC 실린더안에 장착; 납	30	착지 후, 감쇠 상자	Burn wire/ 음향신호
9	ROLAI <sup>2</sup> D (챔버)	67	3x92=276; 발판; 철	30	착지 후, 전동법	전동
10	BECI (챔버)	50	3x50=150; 프레임에 고정; 고철	35	착지 직후	-
11	IHF (챔버)	110	3x120=360; 발판; 철	60	착지 후, 감쇠 상자	음향 신호
12	BOLAS (챔버)	150	3x100=300; 집게로 하부 다리에 고정	50	착지 후, 전동법	전동
13	BFSD (챔버)	비자동	-	-	착지 직후	-
14	ELINOR (챔버)	45	3x50~60=150~180; 프레임에 고정; 고철	30	착지 직후	-
15	RAP 2 (챔버)	150	300	60	착지 후, 전동법	전동
16	BANYULS (챔버)	110	4x60=240; 프레임에 0.6m의 밧줄로 매달음; 고철	55	착지 후, 감쇠 상자	전선
17	GÖTEBORG (챔버)	50	2x175=350; 프레임 하부에 0.3m의 밧줄로 매달음; 철로 고철	30	착지 후, 감쇠 상자 6cm/min	전선
18	IDRONAUT/ CISE (챔버)	50	ROLAI <sup>2</sup> D와 거의 동일	30	착지 후, 감쇠 상자	전선
19	BIO-C-FLU X (챔버)	250	3x120=360; 발판; 철 (낙하산 착지)	60	착지 후, 전동법 (8cm/min)	전동

	챔버 / 프로파일링 랜 더	수중무게 (kg)	하강무게(kg): 개수 x 무게 (kg) = 무게 (kg); 고정법 ; 자재	하강 속도 (m/min)	챔버의 퇴적층 삽입	챔버 회수법
20	BIOSTABLE 챔버	100	3x100=300; 프레임에 고정; 납	40	착지 직 후	-
22	REIMERS 프로파일링	14-20	3x45=135; 프레임 내부에 매달음; 철판	25-35	-	-
23	UW PROFILER 프 로파일링	32	3x50=150; 프레임 통안에 고정	20-40	-	-
24	PROFILUREN 프로파일링	60-70	3x50=150; 프레임에 고정; 고철	33	-	-
25	TROL 프로파일링	75	3x53=159; 철	50	-	-
26	BOTTY 프로파일링	75	3x55=165; 발판; 철	45	-	-
27	SAHAMI 프로파일러	비자동	-	-	-	-
28	Belcl-II (챔버)	80	3x40=120; 프레임 통안에 고정	60		
29	BelpI-II (프로파일러)	80	3x40=120; 프레임 통안에 고정	60		

- 착지시 표층 퇴적물의 교란 방지와 퇴적층에 박히는 위험을 저감시키는 운영기술이 개발됨. 복잡한 ROLA<sup>2</sup>D의 경우 해수면에서는 67 kg의 음성부력 이지만, 수심 4km 아래에서는 해수 밀도 증가에 따라 음성 부력이 37 kg까지 감소함. 착지방법은 랜더의 10m 아래에 52kg의 무게추를 매달아 자유 낙하시킴. 무게추가 바닥에 도달하면 랜더는 15kg의 양성부력을 띄게 되어 바닥에 착지하지 못한 상태로 하강이 멈추게 됨. 이때 수면에서 음향신호를 보내 랜더가 3m min<sup>-1</sup>의 속도로 하강하도록 개발됨. 한편, 도르레에 장착된 광센서나 점접스위치가 해저표면을 감지하면, 145 kg의 양성부력을 가진 유리 부위가 분리되어 수면으로 떠오르면 130 kg의 음성부력을 된 랜더의 모터가 챔버가 해저면으로 설치되도록 개발됨. 이후, 약 2일 후 부식성 마그네슘 볼트의 분해로 무게추가 착탈 되어 상승하게 됨. 이러한 시스템은 정확한 부력계산 및 복잡하고 비싼 부가 장비 (고압에 견딜



수 있는 도르레, 광센서, 부가 음향신호장치 등)를 필요로 하는 단점이 있음. 그리고 별도로 분리된 유리부이는 분실위험이 크기 때문에 분리된 부이 회수를 위한 추가 승선시간이 요구됨.

- 다른 착지기술은 랜더의 외골격 아래에 0.6m의 밧줄을 이용해 하강용 무게추를 매달은 형태의 BANYULS 와 GOTEBOG 랜더가 있음. 매달린 무게추가 바닥에 닿으면, 양성부력의 랜더는 바닥에서 0.1m의 높이에 멈추고 떠있게 됨. 이 방법은 장비가 바닥에 착지하지 않기 때문에 착지용 발판이 필요 없고, 장비가 바닥에 박히는 위험도 피할 수 있음. USC 랜더는 외골격 아래에 납추를 매달아 약한 해양지반에 장비가 과하게 침투하는 것을 방지하기도 함. 이런 방식의 장비들은 바닥에 닿지 않기 때문에, 기존설계에 비해 장비가 안착하면서 생기는 해저면의 교란영향을 최소화 할 수 있음. 착지기술에서 가장 중요한 요소는 퇴적층 표층에 챔버가 안정적이며 적절하게 설치되는 것으로, 무게추와 챔버내부의 음성부력 간의 균형점을 찾는 것임.
  
- 안정된 착지를 위해 빠른 하강 속도를 제어할 필요가 있음. 일부 랜더는 바닥에 도달하기 전에 무게추를 분리하거나 감속용 낙하산을 이용하는 방법이 있음. RAP-2는 수압이 약 110bar에 도달하면 나일론 낙하산이 펼쳐 하강속도를  $60\text{m min}^{-1}$ 에서  $30\text{m min}^{-1}$ 으로 낮춰 줌.
  
- 그러나 착지 전 무게추의 분리, 낙하산을 사용하는 방법은 운영상에 문제점이 많아 심해 환경에는 적합하지 않음.

#### II-4-4. 착지 후 시스템 작동

- 랜더 설치의 성공은 원하는 위치에 정확하게 안정적으로 착지를 하는 것에 의해 결정됨. 안정적으로 착지되면 챔버와 프로파일러는 퇴적층 표층에서 측정을 시작함.

- 모든 랜더는 착지시 퇴적물의 교란이 피할 수 없음. 따라서 챔버는 그 정도를 최소화 시키는 것이 매우 중요함. 챔버를 퇴적층에 삽입하는 방법에는 두 가지가 있음(표 3).
- 첫 번째 방법은 랜더 프레임에 챔버를 장착해, 랜더가 해저면에 착지 되면 바로 챔버 뚜껑을 열고 챔버를 퇴적물로 삽입하는 방법임. 이 방법의 장점은 랜더 착지시 발생하는 충격이 퇴적물 교란을 시키기 전 챔버가 퇴적물로 삽입되는 것 임. 이 기술은 MANOP, BECI, ELINOR 와 BIOSTABLE에서 이용됨. 그러나 이 방법은, 챔버 삽입을 위해 정확한 하강 속도의 제어가 필요함.
- 다른 방법은, 랜더의 착지 후 챔버를 눌러 내리거나 모터를 이용해 부드럽게 퇴적물 내부로 설치하는 것임. 감속계를 이용하여 챔버를 퇴적물로 삽입하는 것이 퇴적물 교란이 거의 없는 것으로 알려짐 (Blomqvist 1991; Bett 외. 1994).
- 랜더의 착지 후 챔버 삽입은 삽입 깊이를 조절 할 수 있고, 반복이 가능하며, 기울어진 경사면에서도 설치가 가능함. 그러나 저층경계면에서 유속이 약하거나 거의 없는 경우, 착지 과정에서 발생된 부유물질이 조사지역을 오염시킬 수 있음.
- 챔버의 삽입은 burn-wire, 수면에서 acoustic release, 부식성 마그네슘 볼트를 통해서도 가능함. 독립적인 acoustic release를 사용은 다른 방법에 비해 많은 비용이 소요됨. 그러나 정확도가 burn-wire 방법보다 훨씬 높고, 두 개의 채널을 이용해 각각 한 개는 챔버의 작동을 위해 또 하나는 무게추를 위해 사용할 수도 있음. 한편, 부식성 마그네슘을 이용한 방법은 안전하지만 장비 부정확성이 큼.

## II-5. 마이크로프로파일러의 핵심 구성 및 운영기술

- 미니/미세 전극으로 퇴적물/해수 경계면에서 고해상도의 수직분포를

측정하는 프로파일러는 대부분 REIMERS 장비를 참고함. 장비 개발 시 가장 고려해야 할 점은 퇴적물 표면위의 해수 흐름의 교란을 최소화 해야 함. 그리고 프로파일러에 이용되는 센서의 설계 및 제작은 센서 크기가 중요함. 만약 센서가 클 경우 유체학적 특성의 교란이 되며, 너무 작으면 파손이 쉽게 되는 단점이 있음. 센서팁 직경이 5  $\mu\text{m}$  미세센서가 퇴적층으로 삽입될 때에 확산경계층(DBL)의 두께가 약 25~45% 까지 얇아지는 것으로 확인되어 결과적으로 플릭스 추정 에 오류를 유발할 가능성이 있음 (Glue 외. 1994). 몇몇 상용화된 마이크로센서가 판매되고 있으나 대부분 프로파일러 연구자들은 자체 제작을 함(표 4, 5).

- 마이크로프로파일러는 산소측정이 가능함. 일부 REIMERS, UW, PROFILUREN과 BOTTY는 pH 측정도 가능함. 퇴적물/해수 경계면에서 고해상도 수직분포 측정에는 퇴적물 위치 파악이 반드시 필요하여 REIMERS, UW, TROL BOTTY 등의 프로파일러에는 저항센서를 함께 장착하여 사용함. REIMERS 프로파일러는 공극수 중  $\text{pCO}_2$  측정이 가능하도록 개발되었으며 (Cai & Reimers, 1993), PROFILUREN과 REIMERES는 황화수소 센서를 사용할 수 있음. 더욱이 PROFILUREN 와 BOTTY의 경우 온도 측정을 위한 미세센서를 장착했음. 질산염 ( $\text{NO}_3^-$ )과 이산화질소( $\text{N}_2\text{O}$ ) 측정용 전극은 주로 민물 퇴적물에서 사용되었으나, 최근에는 해양 퇴적물에 활용됨(Christensen 외. 1990; Nielsen 외. 1990)(표 4, 5).
- 프로파일러는 모터를 이용하여 센서를 퇴적층 내부로 단계별로 삽입하여 측정함. 해상도는 대략 0.025~ 1mm이며, 해상도의 간격은 센서의 크기 및 연구 목적에 따라 결정됨 (표 4, 5).

표 4 프로파일러의 센서관련 특성비교

	프로파일러	센서갯수와 종류	센서크기, 해상도	출력신호	해저경계면 측정	센서의 내압보정
22	REIMERS	- 산소: 3 - pH: 3 - 저항: 1 - pCO <sub>2</sub> : 2 - 황화물	O <sub>2</sub> =10 $\mu$ m, pH=100-200 $\mu$ m, pCO <sub>2</sub> =200-500 $\mu$ m 해상도0.25mm		저항 및 성분 수직분포	불소유동액(FC77,3M) 또는 미네랄 기름
23	UW PROFILER	- 산소: 4 - pH: 4 - 저항: 1 - pCO <sub>2</sub> : 4 - 기준전극	O <sub>2</sub> =50 $\mu$ m(1-2분), pH=1mm(30초), pCO <sub>2</sub> =1mm(10분); 0.25mm		고대비 비디오카메라	불소유동액(FC77,3M)
24	PROFILUREN	- 산소: 9 - pH: 2 - 저항: 1 - 온도: 1 - 기준전극	크기: 5-25 $\mu$ m 해상도: 0.025mm 반응속도:2초	50-100 pA (0.7-0.8V)	저항 및 성분 수직분포	전해질 및 미네랄 기름
25	TROL	- 산소: 6 - 저항: 1 - 기준전극	크기: 5-15 $\mu$ m 해상도: 0.1mm 반응속도: 5초	100-1000 pA	저항 및 성분 수직분포	전해질 및 미네랄 기름
26	BOTTY	- 산소: 6 - 저항: 1 - pH: 4 - 수온: 1 - 기준전극	크기: 5-25 $\mu$ m 해상도: 0.1mm 반응속도: 2초	50-200 pA (0.7-0.8V)	저항 및 성분 수직분포	전해질 및 미네랄 기름
27	SAHAMI	- 산소: 4 - 저항: 1	크기: 50 $\mu$ m 해상도: 0.2mm 반응속도 5초	80-200 pA	저항 및 성분 수직분포	없음
29	BelpI-II	- 산소: 4 (광센서)	크기: 50 $\mu$ m 해상도: 0.05mm 반응속도: 3초	0-2.5V	성분 수직분포	없음

표 5 프로파일러의 제어부 특성 비교

	프로파일러	DC 모터 종류	사용가능 시간	제어 장치	하우징 및 수중 커넥터	전력	기타
22	REIMERS	Portescap (영국)	3-10시간	Tattletale 2B-1M (ONSET, 미국)	자체제작/ Impulse & Kemlon	알칼리전지	비디오 및 스틸 카메라
23	UW PROFILER	Portescap (영국)	1-3시간	Tattletale (ONSET, 미국)	자체제작/ SeaCon	알칼리전지	비디오 카메라
24	PROFILUREN	ESCAP (스위스)	8-12시간	Intel에 기반한 자체제작 (미국), 16bit	자체제작/ Kemlon, SubConn	C-cell ; 12-20시간	비디오 카메라
25	TROL	Maxon (스위스)	70분/50mm	Tattletale 160KB (ONSET, 미국)	자체제작	12 NiCd (4 Ah)	-
26	BOTTY	Maxon (스위스)	약 90분	Tattletale 160KB (ONSET, 미국)	Sea Bed/ SeaCon	2 NiCd (4 Ah)	채수장치
27	SAHAMI	Hectoperm (독일)	6분/mm	Tattletale 2B (ONSET, 미국)	자체제작/ Kemlon, SeaConn	알칼리전지	비디오 카메라
29	BelpI-II	Maxon (스위스)	> 24시간	자체제작	자체제작/ Kemlon, SeaConn		비디오카메라 추가 예정

## II-6. 벤틱 챔버의 핵심 구성 요소 및 운영 기술

- 퇴적물/해수경계면에서 물질교환을 추정은 챔버내 배양수의 물질의 시간에 따른 농도 변화를 센서로 직접 측정하거나 채수를 통해 측정함. 대부분의 랜더에는 챔버내 시료의 채집이 가능한 자동 채수기가 장착되어 있음 (그림 9). 일반적으로 랜더에는 1~4대 정도의 챔버가 설치되어 있음. 챔버의 면적은 BANYULS와 GOTEBOARD의 경우 약  $177\text{ cm}^2$ , IDRONAUT/CISE 챔버는  $3,850\text{ cm}^2$ , Belcl-II는  $900\text{ cm}^2$  임. 한편, 챔버내의 면적을 정확히 측정하기 위해 사진 촬영등 함. 한 대의 랜더에 여러 대의 챔버를 장착하는 것은 중복 측정이 가능하여 균일하지 않은 퇴적층의 자료 해석에 도움을 줄 수 있으며, 측정시의 실패율을 감소시킴.



그림 9 채수가 끝난 자동 채수기

- 챔버의 모양은 사각형, 둥근 모서리의 사각형, 원통형의 세 가지 형태 챔버가 사용됨 (표 6). 챔버의 모양은 퇴적물 채집을 동시에 할 경우

매우 중요한 기술적 요소 임. 또한, 또 다른 요소는 퇴적물/해수 경계면의 저층수 흐름에 매우 밀접한 관계가 있음. 일부 랜더 개발자들은 유체역학적으로 원통형 챔버가 쉬운 모델이라고 하는 반면 (Brostrom, 1995), 또 다른 개발자는 둥근 모서리의 사각형태가 실질적인 저층수의 흐름을 재현한다고 보고함 (Glue 외. 1995). BFSD 사각챔버는 폴리카보네이트 삼각 블럭을 끼워넣어 챔버 모서리에 해수가 정체하는 것을 방지함.

- 챔버 내부 물의 혼합은 교반기의 종류와 위치에 따라 결정됨 (Buchholtz-ten 외. 1989) (그림 10). 교반의 정도에 따라 퇴적물/해수면 경계면에 위치한 확산경계층(DBL)의 두께가 결정되어 물질교환율에 영향을 줌. 보통 챔버를 설계할 때 확산경계층의 두께를 측정하는데 직접 측정하는 방법과 추적자를 이용하여 측정하는 방법이 있음. 직접적인 실측에 Glue(1995)는 산소 미세센서, Gust(1988)는 표면마찰측정, Santschi(1983)와 Opdyke(1987)는 석고용해도, 그리고 Santschi(1984)와 Hall(1989)은 방사성 추적자를 이용함. 한편, 다양한 챔버 구조상의 상호 비교가 지속적으로 이루어짐.

## II-6-1. 벤틱 챔버의 재질과 뚜껑의 구조

- 챔버 재질은 스테인레스철, 티타늄과 알루미늄 등이 있음 (표 6). 스테인레스철은 챔버 내부의 산소를 소비한다는 보고가 있음 (Cramer, 1989). 이 문제는 챔버 내부에 비활성물질을 코팅하는 것으로 해결할 수 있음. 티타늄 (ELINOR 와 BIOSTABLE) 챔버, HINGA 랜더의 알루미늄 챔버, DEVOL 랜더의 스테인레스철 챔버가 이러한 방법을 채택했음. 금속은 플라스틱보다 강도가 높은 장점이 있음. 그러나 시료채집을 마친 장비가 회수되었을 때 시료의 교란 여부를 확인하거나, 퇴적물의 외관적 특징인 생물학적 교란활동, 층서학적 특징 등을 시각적으로 확인하는 것이 불가능한 단점이 있음 (Lampitt, 1985). 폴리

카보네이트 (Lexan©), PVC 와 Polymethacrylate (Plexiglass) 같은 플라스틱 재질은 종종 원통형 챔버의 제작에 사용됨. 특히 폴리카보네이트는 내구성이 비교적 커 챔버에 적용하기 가장 적절할 수도 있음 (표 6). 플라스틱 챔버는 금속 챔버보다 가볍고 일반적으로 저렴하나, 물리적 강도가 약하고 기체투과성이 높아 두께가 두꺼워져야 함. 챔버벽의 두께가 두꺼워질수록 챔버의 설치 시 교란 영향이 커져 퇴적물로 삼입되는 쪽의 벽면을 날카롭게 만들 필요가 있음.

- 유리나 합금 같은 다른 재질들도 챔버 재질로 이용됨. 그러나 BANYULS 랜더의 제작과정을 통해 적합하지 않다는 것이 보고됨. 합금물질은 랜더 외골격 제작과 마찬가지로 고가로 적합하지 않고, 유리는 물리적 특성이 매우 약해 파손이 쉬워 적합하지 않음.
- 챔버 재질에 따라 챔버벽과 해수간에는 화학적 반응이 일어날 수 있음. 그러나 정확한 물질교환율을 측정하기 위해서는 어떠한 화학적 반응이 없어야만 함. 챔버 재질에서 특정 물질이 용출되면, 물질교환을 오염시켜 화학적 측정에 영향을 미칠 수 있음. 따라서 챔버 설치 전 희석시킨 산이나 증류수 등으로 세척하고 현장의 해수나 증류수 등으로 설치하기 전 며칠은 담가놔야 함. 그리고 챔버는 반드시 갑판이나 수면층의 오염 영향으로 격리되어야 함. 특히, 미량 금속 및 용존유기탄소 등 미량물질을 분석할 때 중요함.
- 챔버가 퇴적층에 삼입될 때는 내부의 해수가 쉽게 배출되도록 설계되어야 함. 만약 챔버 설치 시 챔버 내부에 부가압력이 발생하게 되면 퇴적층이 교란되고 챔버의 삼입을 방해할 수 있음. 더욱이 공극수에 유체 역학적 압력파가 발생할 수 있음. 챔버가 퇴적층으로 삼입되는 과정에서 물이 자유롭게 빠져나올 수 있으면 챔버가 해수로 자연적으로 씻겨지고, 챔버 내부에 있던 상층부의 물이 오염되지 않은 저층수로 교체 됨. 이러한 이유로 챔버에 있어 또 다른 중요한 장치는 상부 덮개임. FVR과 HINGA 챔버의 경우 이런 덮개를 가지고 있지

않는데, 물이 빠져나갈 수 있도록 한쪽 방향으로만 열리는 역류방지 밸브를 사용함. 덮개 모양은 챔버 사양 인 센서 갯수, 교반 방식과 시료 채집 수량 등에 따라 다양한 모양을 갖음.

- 덮개 밀봉을 하기 위해 무게추, 스프링, 자석, 수압 등을 이용됨. 덮개의 폐쇄여부는 추적자의 주입을 통해 확인 함. 이러한 추적자로는 ROLAI<sup>2</sup>D, BECI와 ELINOR는 브롬화나트륨(NaBr), EAWAG는 브롬화 류비듐(RbBr), USC는 염화세슘(CsCl), 그리고 MANOP는 나트륨-22 (<sup>22</sup>Na)등을 사용함(Santschi 외. 1984).



표 6. 다양한 챔버의 사양

	챔버 렌더	설치 시간 (일)	챔버 개수; 형태; 챔버 높이; 재질	챔버 두께 특성	교환기 특성	제어장치	압력용기; 연결부
1	FVR	1-5	4; 원통형; 7.3m <sup>2</sup> ;10cm; 투명 아크릴	챔버 일체형, 물추출을 위한 5cm 방출밸브 3개	전자기; 테프론 코팅된 막대자석	-	od=19cm, id=15cm; 강화케이블과 Assembly (미국)
2	FVGR-1/ FVGR-2	1-5	4; 사각형; 4.13m <sup>2</sup> ;30cm; 스테인레스철	추를 이용한 자가폐쇄막개가 챔버뒤로 떨어짐/스프링	전자기; 테프론 코팅된 막대자석; 에폭시로 채운 Plexyglas 용기	-	자체제작; Impulse (미국)
3	HINGA	2-7	4; 원통형; 4.43m <sup>2</sup> ;8cm; 테프론 코팅된 알루미늄	챔버 일체형, 물추출을 위한 역류방지밸브	Savonius 회전날개; 테프론 코팅된 막대자석; 유동드라이버	-	자체제작; EnviroCon
4	MANOP	7일	3; 사각형; 9m <sup>2</sup> ;22cm; 티타늄	Kynar 코팅된 PVC; 폭발성 불트 활성화; 유압펌프	전자기; 자석; 기름 채운 압력용기	4 x RCA CDP 1802 (CMOS, 미국)	개별 내압상자; 강화케이블과 Assembly (미국)
5	DEVOL	0.5-1.5	2; 사각형; 4m <sup>2</sup> ;2-15cm; 테프론 코팅된 스테인레스철	스테인레스철; burn-wire 활성화; 스프링	자체제작; Impeller 단자석; 0-100rpm; 250mA	Tattletale (ONSET, 미국)	자체제작 (주), Christenson Design (미국); SeaCon (미국)
6	USC	0.5-8	3; 원통형; 7.3m <sup>2</sup> ;8-14cm; 1cm벽두께의 PVC	아크릴; burn-wire 활성화; 감쇠; 실리콘 막개에 스프링과 자석	DC모터, 알루미늄 용기	Tattletale 2B (ONSET, 미국)	자체제작 (od=15cm, id=10cm) Brantner, Seacon (미국)
7	EAWAG	1-2	2; 사각형; 4m <sup>2</sup> ;15cm; 스테인레스철	burn-wire 활성화; 감쇠; 인조 고무에 추	DC 모터 30rpm; 300mA; 스테인레스철 내압용기	자체제작	자체제작; SeaCon (미국)
8	GOMEX	0.4-1.5	2; 원통형; 9m <sup>2</sup> ; Plexiglass와 Lexan	챔버 일체형, 물추출을 위한 5cm 방출밸브 3개	DC 모터, 펌프	OLS	Benthos & SeaBird (미국)
9	ROLAID	29-50	3; 원통형; 3.4m <sup>2</sup> ;7.5-8cm; 아크릴 플라스틱	Delrin; 원통코일 활성화; O-ring에 스프링	DC 모터; 31mA 모터 (60rpm하에); FC40 바운 내압계	ONSET 모델801, 자체제작명령체계	자체제작 (FC40/기름 채움); Brantner & Mecca (미국)
10	BECl	1-8	1; 둥근모서리의 사각형; 9m <sup>2</sup> ;10cm; 티타늄	Polyvinylidene fluoride; 알루미늄; PVC; 시료채집장치에 밸브; 유압장치	전자기; 자석; 1-10rpm	-	자체제작; 강화케이블과 Assembly (미국)
11	IHF	1	4; 사각형; 5m <sup>2</sup> ;15cm; 스테인레스철	스테인레스철; 챔버뒤로 막개가 떨어짐; 추에 의한 자가폐쇄	DC모터; 30mA; 스테인레스철 내압용기	자체제작	자체제작; SeaCon (미국) & SubCon (덴마크)
12	BOLAS	0.4-1.5	2; 원통형; 8.3m <sup>2</sup> ;5-10cm; Delrin	O-ring에 유압식	DC 모터 75rpm; 30mA; Fluorinert 채운 내압용기	Tattletale (ONSET, 미국)	자체제작; SubCon (덴마크)
13	BFSD	1-4	1; 사각형; 16m <sup>2</sup> ;25cm; 폴리카보네이트	평형계 달린 폴리카보네이트; 원통코일 활성화; 자유낙하, 자석막개	펌프	SeaBird SBE-19 Sealogger (미국)에 기반	스테인레스철 결석을 단 Plexiglass로 자체제작; Impulse (미국)
14	ELINOR	0.4-1	1; 둥근모서리의 사각형; 9m <sup>2</sup> ;30cm; 폴리머(ECTFE) 코팅된 티타늄	POM; burn-wire 활성화; 자석	DC 모터, 6-15rpm; 100-130mA; FC40 채운 아크릴 플라스틱 용기	자체제작	자체제작; 전극 (Kemlon, 미국) & SubCon (덴마크)
15	RAP 2	3	3; 원통형; 7m <sup>2</sup> ; 최대 24cm; PVC	O-ring에 전기선	DC 모터; 3rpm (10분/시간); 70mA	68HC11 (Motorola, 미국)에 기반한 자체제작	자체제작; SeaCon (미국)
16	BANYULS	0.5-7	4; 원통형; 1.77m <sup>2</sup> ;10-35cm; 폴리카보네이트/스테인레스철	PVC; burn-wire 활성화; O-ring에 스프링	DC 모터 20-30rpm; 60mA; 스테인레스철 내압용기	Tattletale (ONSET, 미국)	2 Aanderaa (노르웨이); Aanderaa & SubCon (덴마크)
18	GÖTEBOR G	0.5-7	4; 원통형; 1.77m <sup>2</sup> ;10-35cm; 폴리카보네이트	PVC; burn-wire 활성화; 실리콘막개에 스프링	DC 모터 12-24rpm; 30mA; 스테인레스철 내압용기	Tattletale (ONSET, 미국)	2 Aanderaa (노르웨이); Aanderaa & SubCon (덴마크)
19	IDRONAUT /CISE	2-30	1; 원통형; 38.5m <sup>2</sup> ;30cm; Plexiglass	챔버 일체형, 3개의 방출밸브; 자석; burn-wire 활성화; 스프링	DC 모터; 8rpm; 30mA; Plexiglass에 내압용기	68302 (Motorola, 미국)에 기반한 Idronaut (이탈리아)	Delrin / 티타늄으로 자체제작; Brantner SeaCon (미국)
20	BIO-C-FLU X	7	4; 사각형; 4m <sup>2</sup> ;15cm; POM	POM; burn-wire 활성화; 자석; O-ring에 스프링	DC 모터; 자석; 다양; 30mA; 스테인레스철 내압용기	HD-64180에 기반한 자체제작, ADM data log; 87C751 타이머 (Phillips, 네덜란드)	자체제작; SubCon (덴마크)
21	BIOSTABLE	-	1; 둥근모서리의 사각형; 9m <sup>2</sup> ;30cm; trifluorochloroethylene 코팅된 티타늄	POM; burn-wire 활성화; 자석	DC 모터(24V); 4rpm; 무가소PVC 내압용기	자체제작	자체제작; SeaCon (미국)
28	Belci-II	1-3	1; 사각형; 0.9cm <sup>2</sup> ; 테플론코팅된 스테인레스철	PVC; 전동개폐	DC 모터(24V); 30rpm; PVC 내압용기	자체제작	자체제작; SubCon

## II-6-2. 벤틱 챔버 교반기

- 챔버가 설치되면 챔버내 물질 농도는 급격하게 변화함. 가능한 자연상태의 수리학적 조건을 갖게 하기 위해 모든 챔버들은 교반 시스템을 장착함 (그림 10, 표 6). 가장 단순한 교반기는 동력이 없고 현장의 저층수 흐름에 따라 회전하는 HINGA 랜더의 Sanonius 회전 날개형 임. 교반기는 두껍 상부에 회전 휠로 챔버 내부의 테프론 코팅된 교반막대를 회전시키는 원리 임. 그러나 이 방식의 교반기는 전적으로 저층수의 흐름에 의존하여 교반의 힘이 일정하지 않음.
- 소형 DC 모터를 방수전동기용기 내부에 넣고 자석클러치에 교반기를 연결하여 회전하도록 한 교반기가 일반적임. 이 “전동자석 (Motor magnet)”은 챔버 내부의 자석 교반기와 자기결합으로 작동함. 이 방식은 기계적 결합이 필요 없어 챔버 내부의 안정적으로 작동함. 소형 DC모터는 유동액으로 압력보정을 한 용기 또는 내압용기가 이용됨. 유동액 내압방식은 비교적 적은 공간이 요구되지만, 내압을 위해 특수한 용액이 사용됨. ROLAI<sup>2</sup>D는 Fluorinert FC-40 (3M)과 MANOP, BECI, ELINOR는 fluorinert FC-77 (3M)를 이용함. 순수 파라핀 같은 일부 기름 유동액은 부식을 일으킴. 일부는 스테인레스철 내압용기를 사용함.
- DC 모터 대신에 스텝모터를 사용하는 경우가 있음. 이 방식은 DC 모터에 비해 전력소모가 큰 단점이 있지만 제어가 용이한 장점이 있음. 스텝모터 역시 DC 모터와 같은 교반기 연결 구조 및 내압용기를 갖고 있음.
- 교반기는 챔버가 작동는 전 기간동안 전력을 소모함으로 랜더의 다른 장치들에 비해 가장 많은 동력을 필요로 함. 따라서 장시간 측정이 요구되는 실험의 경우에는 교반방식의 선택이 매우 중요함.
- 챔버 내부에서 교반시 발생하는 압력차를 줄이기 위해 교반기 개발이 꾸준히 진행되고 있음 (Gust 1990; Glue 외. 1995). 특히, 이 압력차

는 투수성이 높은 퇴적물인 모래 퇴적물이나 burrow가 많은 퇴적물에서 물질교환을 측정에 큰 영향을 준다고 보고됨 (Huettel & Gust 1992). 이런 문제점은 챔버를 퇴적물 내로 깊게 삽입함하여 해결함. 그러나 높은 투수율의 모래 퇴적물의 경우 챔버 중앙부와 주변부사이의 부분압 차로 공극수의 대류 이동이 발생함(Glud 외. 1995).

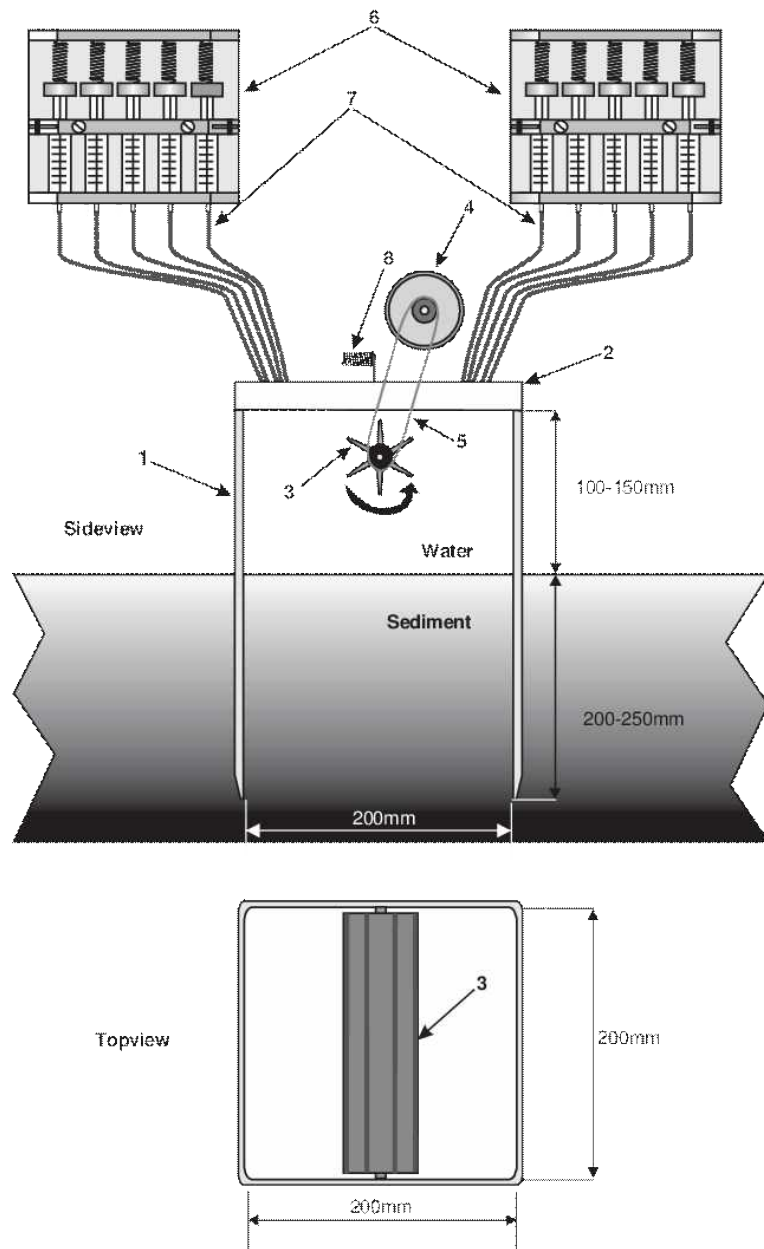


그림 10 Goteborg benthic chamber (Tengborg et al., 2003)

### II-6-3. 제어 전자 장치 및 마이크로프로세서

- 챔버의 교반, 채수, 및 자료 저장을 위해 다양한 전자제어 장치가 필요함. 초기의 전자제어는 초보적인 전자 기술을 사용했으나 전자 기술의 발전으로 저전력 소모형 제어 장치가 활용되고 있음. 특히, 다양한 센서 및 이미지 장치를 장착할 수 있는 기술 개발이 진행되고 있음.
- 전자 제어장치는 개발자가 직접 개발하거나 상용화된 컨트롤러를 이용함(표 5와 6). 시스템 설계시 외형이 작고, 메모리 용량이 충분하며, 제어 프로그램이 쉽고, 전력 소모가 작은 컨트롤러가 선호됨. 한편, 최근 아두이노와 같은 오픈 소스의 컨트롤러 등이 상용화 됨으로 전자제어 장치의 개발이 더욱더 용이해짐. 이러한 컨트롤러를 이용하여 교반기, burn-wire, 모터, 자료 저장등을 제어함.
- 전자제어장치의 하우징은 알루미늄, 스테인레스철이나 티타늄같은 재질이 이용됨 (표 5와 6). 시판 제품인 유리구 내압용기도 적용된 적 있으며 (Stachiw 외. 1993), 세라믹의 재질의 하우징도 이용될 수 있음. 하우징의 두께에는 주변장치와 마이크로프로세서를 연결하기 위해 특수한 커넥터가 장착되어 있음.
- 다양한 형태의 수중 커넥터와 선이 상용화되어 있음. 대부분 범용 제품으로 선택에 큰 문제점이 없으나, 전극용으로 사용되는 경우는 수압을 견딜 수 있는  $10^{12}\text{Ohm}$ 이상의 높은 절연 저항을 가진 연결선 사용해야함. 만일 저항이 부족하면 전극의 신호에 많은 노이즈가 발생하여 신뢰할 수 있는 신호를 얻을 수 없음.

### II-6-4. 벤틱 챔버의 채수 장치

- 미리 입력된 시간에 맞춰 채수한 시료가 선상에 올라오면, 알칼리도, 총 이산화탄소량, 용존유기탄소(DOC), 아미노산, 영양염류, 금속, 산

소 등 구성물질의 화학적 분석이 이루어짐. 3~5일 이상의 장기 설치로 채수된 시료, 용존기체 (산소 등)의 분석을 요하는 시료의 경우는 미생물활동의 영향을 배제하기 수은과 같은 독성 물질을 첨가할 필요가 있으며, 용존 기체 분석용 시료는 플라스틱 재질 보다는 유리 재질의 용기에 보관할 필요가 있음.

- 가장 단순하고 많이 사용되는 채수기는 스프링이나 무게추로 주사기를 작동하는 채수기 임. 주사기 피스톤이 스프링이나 무게추로 내려지면 해수를 빨아 당기는 기계적 장치로, 1) 대부분의 랜더에서 사용하는 시간 조절이 가능한 burn-wire, 2) FVR, ROLAI<sup>2</sup>D, ELINOR와 BIOSTABLE 등이 적용한 원통코일방식, 3) BECI에서 사용한 타이머나 마이크로프로세서에 의해 조절되는 DC 모터 방식, 4) BOLAS에서 이용한 Rosette 채수기 같은 stepper 모터 방식 등이 있음.
- Burn-wire 방식은 단순하고 검증된 방식으로 각 주사기에 스프링을 burn-wire에 연결하여 일정시간이 되면 압축된 스프링이 열리도록 한 구조 임.
- 원통코일 방식은 솔레노이드 밸브에 일정부피를 같은 용기를 두어 일정 시간이 되면 밸브를 열어 압력이 낮은 공간으로 해수가 유입되도록 한 시료 채수로 작동이 더 쉽고 빠를 수 있으나 더 많은 공간이 필요한 단점이 있음.
- DC 모터 트리거 방식은 스프링의 작동은 DC 모터로 제어하는 방식으로 많은 채수기를 장착할 수 있도록 설계가 가능함 (20개 이상). 챔버가 휴식모드, 장기간 운영후 회수 시 주사기에 채수된 시료가 새지 않도록 하는 one-way valve가 장착됨. 또한 이 채수기는 챔버내에 추적자 주입도 용이한 장점이 있음.
- DC 모터의 제어를 쉽게하기 위해 Stepper 모터 트리거 방식을 선호하기도 함.
- 그 외 채수기로 많은 양의 해수를 채집할 수 있는 스프링 방식과

USC 랜더에서 사용한 비닐전구등이 있음. 펌프식 채수방식은 MANOP 랜더에서 시도했으나, 시스템의 불안정성로 스프링 채수기로 대체됨. BOLAS는 “Niskin 병”과 같은 원리로 250ml의 많은 양의 해수를 채집할 수 있게 챔버 내부에 채수병을 장착함. IDRONAUT/CISE 챔버는 채수와 물교환을 위한 두 개 채널의 연동펌프를 장착했음. BFSD는 챔버와 채수용기 사이의 원통코일과 솔베노이드 밸브를 열어 수압차에 의해 채수가 되게함.

- 시료의 오염을 방지하기 위해 모든 튜브는 증류수로 사용전 충분한 세척 해야함. 복잡한 채수 시스템은 더 주위를 기울여 세척 해야함. 더욱이 추적물질을 첨가할 경우는 대조 시료를 이용하여 오염여부 확인 해야함. Berelson과 Hammond(1986)는 챔버의 채수기에 의한 잠재적 오염을 연구함. Nylaflo<sup>®</sup>와 Tygon<sup>®</sup>은 해수를 이산화규소로 오염시키고 수소이온농도(pH)를 변화시키며, Nylaflo<sup>®</sup>는 또한 과포화된 물로부터 탄산염 침전물의 발생을 촉진시키는 보고되었음. 한편, 알루미늄재질은 이산화규소를 흡수할 수도 있음. Plexiglass, 나일론, 라텍스의 경우는 두드러진 오염요인을 보여주지 않았음. 일반적으로 플라스틱 재질에 사용되는 염료 첨가물은 오염요인을 만들 수 있기에 투명 플라스틱을 사용해야 함.
- 챔부내 시료채집으로 채수되는 물의 양은 반드시 보상되어야 함. 부족한 양의 물을 보충하기 위해 모세튜브 또는 one-way valve가 장착된 튜브를 이용함. 일반적으로 대체되는 양의 물의 농도를 환산하여 희석효과에 대한 보정을 해줌. 외부 해수의 농도를 측정하기 위해 일부 챔버는 Niskin 채수기 또는 주사기를 이용해 외부의 물을 채수 함 (표 7).
- 퇴적물/해수 경계면에서 교환 되는 물질의 플럭스를 추정하기 위해서는 챔버의 부피를 정확히 파악해야 함. 챔버에 배양된 퇴적물을 교란 없이 회수할 수 있으면 챔버에서 퇴적물 경계면에서 뚜껑까지의 높이

를 배 위에서 직접 측정할 수 있음. GÖTEBORG 같은 몇몇 챔버는 한 방향으로만 움직이는 높이 자(scale) 장착하여 챔버가 퇴적층으로 삽입될 때 자가 위쪽으로 밀려올라가도록 하는 간단한 장비를 장착했음. 또 다른 방법은 챔버 내부로 정확한 양의 추적자를 삽입해 그 희석도를 이용해 수층의 높이를 추정하는 방식임. 한편, 카메라를 장착한 랜더는 투명챔버를 이용할 경우 수층의 높이를 기록할 수 있을 뿐 아니라 대형해저생물의 활동이나 착지 과정에서 발생하는 퇴적층의 교란 영향도 파악할 수 있음.

## II-6-5. 공극수 및 퇴적물 채집 장치

- ROLAI<sup>2</sup>D는 심해용 공극수 추출기와(Sayles, 1979) 고해상도의 whole core squeezer(Bender 외. 1987)를 장착했음. 간격 1mm의 고해상도의 공극수 추출을 위한 장치로 BANYULS와 GÖTEBORG를 위해 개발된 gel peeper (Krom 외. 1994)가 있음.
- 대부분의 챔버는 설치 후 배양된 퇴적물을 회수하여 퇴적물의 시각적 관찰이 가능하게 함. 더불어 배 위에서 생물학/지화학적 실험을 가능하게 함.
- 챔버가 퇴적물을 채집하는 방식에는 여러 종류가 있음. 가장 간단한 방식은 퇴적물을 직접 채집하는 전형적인 box core type임. FVGR-2, IHF, DEVOL 챔버의 경우 스프링을, BECI, ELINOR와 BIOSTABLE 챔버는 유압식 피스톤을, BOLAS 챔버는 전동기를 사용해 챔버 하단에 삽을 작동시켜 퇴적물을 채집함. 이외에도 챔버가 설치된 후 위쪽 덮개가 닫히면서 생기는 압력으로 퇴적물을 빨아뺀겨 퇴적물을 채집하는 방식이 있음 (Barnett 외. 1984). BANYULS와 GÖTEBORG 챔버에 적용된 이 방식은 퇴적물 채집시 비교적 간단한 구조와 적은 에너지가 요구되고 퇴적물의 교란이 거의 없는 장점이 있음 Blomqvist 1991; Bett 외. 1994). 또한 ROLAI<sup>2</sup>D는 퇴적물의 교

란이 거의 없는 것으로 보고됨 (Burke, 1968)(Table 6).

표 7 챔버의 채수기, 센서, 퇴적물 채집기, 전원 비교

	챔버	채수기 사양	센서 사양	퇴적물회수; 종류; 작동방식; 회수용기 폐쇄; 동력	전원	참고
1	FVR	주사기; 스프링; 원통코일; 2; 해당사항없음	Rustrak연속기록계 이용한 산소측정; 자체제작	-	알칼리 전지	플래쉬카메라 (EG&G, 미국)
2	FVGR-1/ FVGR-2	주사기; 스프링; burn-wire; 2; 50ml	Rustrak연속기록계 이용한 산소측정; 자체제작	박스 코어; Burn-wire; 스프링	납-산 전지	FVGR-1: 플래쉬카메라, FVGR-2: 비디오; 챔버 외부에 2개의 Niskin병 (burn-wire)
3	HINGA	주사기; 무게추; burn-wire; 2; 10ml;	-	-	알칼리 전지	챔버 외부에 Niskin병;
4	MANOP	주사기; DC모터 모세 튜브	-	1/챔버; Mg 블트; 유압 피스톤	리튬 전지	
5	DEVOL	주사기; burn-wire; 8; 50ml; 모세튜브	산소	박스 코어; Burn-wire; 스프링	납-산 전지; 전동기 8V, 20Ah; 마이크로프로세서 12V, 2.5Ah; burn-wire; 12V, 5Ah	필요에 따라 비디오 카메라 사용
6	USC	튜브, 유리관; 스프링; burn-wire; 6; 250ml; 모세튜브	산소, pH, 온도	-	알칼리 C-cell 전지, 개별동력 교반기	Niskin 채수기 (burn-wire)
7	EAWAG	주사기; 스프링; burn-wire; 10; 60ml; 모세튜브	산소, pH;	박스 코어; Burn-wire; 스프링	니켈카드뮴 전지; 전동기; 6V, 28Ah; 그 외 9V, 14Ah	때때로 비디오 카메라 적용
8	GOMEX	주사기; burn-wire; 6; 60ml; 모세튜브	산소, 염분, 압력, 온도	-	납-산 전지	Niskin 채수기; 비디오카메라; still 플래쉬카메라
9	ROLA <sup>2</sup> D	주사기; 스프링; 원통코일; 8; 23ml (0.2 $\mu$ m 필터); 모세튜브	산소	전동 모터	3x6V, 50Ah; 12V, 65Ah; 36V, 24Ah	공극수용 전체코어추출기
10	BECl	주사기; 스프링; Stepper 모터; 18; 모세튜브	-	Scoop; 벨트; 유압 피스톤	납-산 전지; 12V, 65Ah	필요에 따라 비디오 카메라 사용가능
11	IHF	주사기; 스프링; burn-wire; 2; 50ml;	산소, 온도, 압력, 염분	박스 코어; Burn-wire; 스프링	납-산 전지; 17V, 8Ah	-
12	BOLAS	주사기; 모터; 3; 50+250ml; 모세튜브	산소, 온도, 압력, 염분, 유속계	전동모터	1-2개의 납-산 전지; 12V, 76Ah	still 플래쉬카메라; 2개의 퇴적물 채집기; 2개의 Niskin병; 경사계
13	BFSd	유압계; 원통코일; 6; 500ml; 모세튜브	산소, 온도, 염분, pH	-	알칼리 전지; 3x12V	플래쉬비디오카메라
14	ELINOR	주사기; 스프링; 원통코일; 10; 50ml; 모세튜브	산소, 온도	Scoop; burn-wire; 유압 피스톤	납-산 전지; 24V, 36Ah	카메라/비디오 카메라 가능
15	RAP 2	3; 100ml;	-	챔버 옆에 3개의 분리된 튜브 (id=35mm); 비폐쇄; 챔버내부	니켈-카드뮴 전지; 14V (10Ah), 28V (20Ah)	Niskin채수기; 카메라; 비디오 카메라
16	BANYULS	주사기; 주사기; burn-wire; 4; 30/50ml; 모세튜브	산소, 온도, 압력, 염분, 유속계	멀티코어; burn-wire; 스프링	납-산 전지; 12V, 76Ah	-
18	GÖTEBORG	주사기; 스프링; burn-wire; 8; 30ml; 모세튜브	산소, 온도, 압력, 염분, 유속계	멀티코어; burn-wire; 스프링	납-산 전지; 12V, 76Ah	공극수 추출장치; 비디오카메라
19	IDRONAUT/C ISE	연동펌프; 1개의 시료채취 채널; 2-10l/min	산소, 온도, 압력, 염분, 산화/환원반응, pH	-	납-산 전지 / 납-산 전지	비디오카메라
20	BIO-C-FLUX	주사기; Stepper모 터; 8; 50ml; 테프론 벨트	산소, 온도, 압력, 염분	박스 코어; 전동모터	알칼리(6V, 4Ah); 니켈카드뮴(12V, 4Ah); 니켈카드뮴 (6V, 4Ah);	비디오카메라
21	BIOSTABLE	주사기; 원통코일 ; 10; 60ml; 모세튜브	-	Scoop; burn-wire; 유압식 피스톤	납-산 전지; 24V, 38Ah	비디오 카메라
28	Belcl-II	주사기; DC모터 ; 12; 50ml; 모세 튜브	산소, 온도	-	알칼리전지	-



## II-6-6. 벤틱챔버의 현장 측정

- 챔버는 심해저바닥의 극한 환경 (압력, 온도, 염도, 해저부착물 등)에서 작동이 가능하도록 만들어진 센서로 여러 생지화학적 요인을 측정함. 현재는 챔버 랜더에 사용하기 적합한 다양한 상용화된 센서 제품이 시판됨. 챔버가 측정하는 대표적인 물리적 요소로는 전도율 (염도), 온도와 압력 (깊이) 등이 있음, 이외에도 저층류의 속도, 형광물질, 탁도등을 측정할 수 있는 센서를 장착하기도 함. 프로파일러에 사용되는 센서는 산소, 황화수소, 황화물,  $pCO_2$ , pH등 이 있으며, 특히 전기화학적 분석기법에 기반한 망간센서는 해저열수광산을 탐사에 성공적으로 이용됨.
- 챔버내 배양수는 퇴적물의 유기물 분해에 의해 산소가 고갈됨. 특히, 유기물의 농도가 매우 높은 퇴적물의 경우 산소소비는 물질교환을 측정에 영향을 줄 수 있음. Hall (1984)과 Rutgers 외. (1984)는 챔버 배양 기간 동안 내부의 산소와 pH 등이 주변해수와 같은 농도로 유지시키는 방법을 개발했음. 테프론 튜빙의 코일을 사용해 챔버 내부로 산소를 확산 시키거나, 2.5M의 수산화나트륨 (NaOH)을 삼입해 pH농도를 유지하도록 함. 이러한 방법은 수심 2 km 이상의 대륙 주변해 까지 적용할 수 있음. IDRONAUT/CISE 랜더는 산소와 pH 농도 유지를 위한 자동화 장치를 장착했으며, BFSR 랜더는 오염된 퇴적물에 적용하기 위한 산소유지 장치를 이용했음.
- 총이산화탄소를 측정하기 위해 챔버 배양수의 pH와 알칼리도를 측정함. 프로파일러 용 pH전극은 단기간에만 사용할 수 있음 (REIMERS, UW, PROFILUREN과 BOTTY). 수심 200m 이상에서 몇 시간 이상 동안 사용할 경우에는 pH전극의 참조전극 내부의 이온 투수성 겔이 빠르게 분해되는 문제점이 있음. 그러나 최근 Berelson 외. (1994)는 pH 전극을 이용해 수심 3.8-4.8km에서 1~2일의 측정을 성공했으며,

네덜란드의 NIOZ에서는 Vanden과 Derooij (1988)이 고체상태의 pH 센서를 이용해 고압의 환경에서 장기간 측정을 시도 했음.

- 미세센서를 이용하는 대부분의 챔버와 프로파일러는 전문 제작자에 의해 개발되고 검증됨. 특히, 센서의 제작, 유지, 관리, 계측 등에는 전문적인 기술이 필요한 부분임. 이러한 이유로 이 분야를 할 수 있는 연구팀은 극히 적음. 그러나 최근에는 이 모든 부분이 상용화 되어 쉽게 구입하여 활용할 수 있음 (표 5와 7).
- ROLAI<sup>2</sup>D와 ELINOR 챔버에서 이용하는 산소용 미니전극은 Macro전극보다 적은 산소를 소모하고 빠른 반응속도를 가지고 있음. 미니전극의 작은 크기는 챔버 내부에서 적은 공간을 요하는 장점이 있음. 그러나 쉽게 깨지는 단점을 갖음. 챔버 배양실험에서 배양수의 농도 변화는 느리기 때문에 센서의 빠른 반응속도는 필요하지 않음. 최근에는 챔버내 산소소모가 없으며 반응속도가 빠른 광센서의 상용화로 산소미니 전극을 대체하고 있음.
- 현장 측정에서 사용하는 센서와 전자장치들은 랜더의 설치 및 운영의 성공 여부를 결정하기에 랜더 제작에 가장 중요한 부분임. 항해시간이나 연구기간을 고려해봤을 때 수집한 데이터의 손실 또는 비이상적인 데이터의 취득은 큰 손실로 이어짐. 따라서 전자계측에 대한 전문가의 도움으로 선별적 장비 선택이 요구됨.

## II-6-7. 전원

- 랜더의 많은 구성품(교반기, burn-wire, 전극, Stepper 모터, 카메라 등)들은 많은 전력을 소모함. 장비의 장기간 운용을 위해서는 용량이 큰 전원 공급장치가 필요함. 대부분의 전력은 챔버의 교반기가 사용함으로 기타 구성품들은 최소한의 전원을 소비하도록 설계해야함.
- 전원은 다양한 형태의 전지로 제작할 수 있음. 리튬 전지의 경우는 충전은 불가능하나 작은 크기에 큰 용량을 갖음. 충전용 니켈-카드뮴

전지는 전원을 완전히 소모해야하는 불편함과 충전과정에 생기는 운영상의 문제로 장기간 설치하는 실험에는 적합하지 않음. 랜더에 가장 보편적으로 사용되는 배터리는 기름으로 내압처리가 된 납-산(car type) 전지임. 대용량(12V, 70-80Ah)이며 충전이 가능하며, 상대적으로 저렴한 장점을 갖음. 그러나 무겁고 많은 공간을 차지하는 문제점이 있음.

- 필요한 전력양을 계산할 때, 가장 고려되어야 할 것은 저온에서 대부분의 전지가 보통 용량의 절반 정도를 줄어드는 것임. 각 전지의 자세한 정보와 사양은 전지 제작사를 통해 확인 하여야 함.
- 랜더의 전원공급을 몇 개의 독립적인 단위로 나누어 높은 전류를 유지하고 (예, 카메라 플래쉬) 안정적인 전압을 공급 (예, 타이머) 하는 것이 바람직함. 장비 회수에 필요한 장치(음향신호 방출기, 수중음파 발전기, 초단파 라디오, ARGOS 위성 위치신호기, 플래쉬 등)와 전자 제어 장치(데이터 저장과 프로그래밍 용)등과 같은 부속품들은 독립적인 단일 전력공급체계를 가지고 있어야함 (표 5와 7).

## II-6-8. 기타 부수 장치

- 일부 랜더는 랜딩(착지)와 해저면 상태를 관찰하기 위해 비디오나 still 카메라를 장착하고 있음. BOLAS는 챔버 내부의 카메라 장착해 해저 생물들의 활동을 기록함. 현재 랜더에 사용 할 수 있도록 내압처리가 된 상용화된 카메라들이 판매되고 있음. 랜더에 카메라 장착은 랜더 설치 과정에 대한 정보를 제공해 줄 뿐만 아니라 역동적으로 변화되는 해저면의 관찰에 큰 도움을 줌
- 일부 랜더에는 수중 통신장비를 장착함. 안정적인 랜더의 운용을 위해 전 작동과정인 랜더 착지, 챔버 삽입, 뚜껑 작동, 그리고 회수의 전 과정을 배위에서 모니터링 할 필요가 있음. 가장 단순한 방법으로는 각 단계가 완료되면 신호용 부위를 물위로 떠 오르도록 하는 것인데

실용적이지 못함. MANOP와 ROLAI<sup>2</sup>D랜더는 배 위에서 음향신호를 송수신하는 직접적인 통신방법을 이용함. 이것은 랜더 설치의 단계별 성공여부를 확인 가능할 뿐 아니라, 배 위에서 장비의 설정을 바꿀 수 있는 장점이 있음. 그러나 이런 직접적 연결 방식은 나쁜 기상이나 음향장비의 신호가 제한되는 곳에서는 적용하기 어려움.

- 음향 통신 시스템은 고가로 단기 설치시 반드시 필요하지 않음. 장기간 랜더를 설치할 경우 장비상태를 중간에 확인할 필요가 장비의 위치를 파악해야함. 이때는 음향통신 시스템이 절대적으로 필요함. 더욱이 해황이 나빠 육안으로 장비의 확인이 불가능 할 때 큰 도움을 줄 수 있음.

## II-7. 벤틱랜더 운영시 문제점 및 해결방안

- 해저면으로 자유낙하된 랜더는 퇴적물에 박혀버리거나, 어업용 장비들에 의해 끌려가거나, 그 밖에 알 수 없는 이유로 인해 분실되는 경우가 종종 있음.
- 대부분의 자유낙하 랜더는 발포재질의 부이나 유리구를 사용해 설치한 랜더의 하강추를 분리시킨 후 양성부력으로 상승시키는 원리를 갖고 있음. 유리구 부이는 저렴한 가격으로 인해 많은 랜더에서 사용됨. 유리구 부이는 수심에 관계없이 사용할 수는 있음. 그러나 초기 IHF 경우 유리구의 파손으로 인해 분실의 원인이 되었음. 단 하나의 유리구 파손도 그 충격으로 인해 다른 유리구들의 연쇄 파손될 가능성이 있으며 결국 전체장비를 분실할 수 있음. 따라서 구 형태의 부이는 사용 전 반드시 압력시험을 거쳐야 함. 특히, 유리구의 경우 내부에 조급의 균열이라도 있으면 폐기처분 해야함. 유리구의 이러한 파손 위험성 때문에 프랑스와 미국인이 탑승하고 있었던 잠수정의 운항을 유리구 부이를 장착한 장비 근처에서 작업을 거부한 사례도 있음. 인공기포강화플라스틱은 유리구보다 비싸지만 파손의 가능성이 없고 형태

를 원하는대로 제작할 수 있는 장점이 있음. 그러나 비록 유리구보다 전체적인 부피는 작지만, 수심 6km 이하 수심에서는 무게가 유리구보다 두 배 이상 될 수 있음. 수심 2km 미만의 수심에서는 인공기포 강화플라스틱 부이가 안정적임. 그 외의 부이로는 티타늄구와 낮은 밀도의 텍스트로피겔이 있음.

- 부이를 랜더의 프레임에 장착하는 방법으로는 볼트로 직접 체결하는 것과 부이부분을 선이나 줄 등으로 연결하는 것이 있음. 전자의 경우는 프레임이 더 크고 무거운 반면, 후자의 경우는 회수가 용이함. 그러나 저층수의 유속이 빠를 경우 시스템이 불안정해지는 단점이 있음.
- 무게추의 분리 후에 상승을 위한 필요 양성 부력양은 매우 중요함. TROL과 BOLAS 랜더는 첫 시험 때 상승부력이 부족하여 랜더가 부상하지 못해 장비를 분실했으며, 일부는 회수 장치를 내려 끌어올렸음. 위 사례는 랜더에 양성부력 25kg을 더해 사용했으나 상승에는 부족함이 증명됨. 따라서 양성 부력양은 점성이 있는 퇴적물에서도 랜더를 충분히 부상할 수 있도록 계산되어야 하며 이에 맞춰 적절한 무게추가 사용되어야 함. 퇴적물을 채집하도록 설계된 챔버의 경우는 챔버 부상에 필요한 양성 부력뿐만 아니라 퇴적층에서 퇴적물을 떠올릴 수 있는 부력도 고려되어야 함. 이러한 양성부력은 무게추가 분리된 뒤 약 45~250kg 정도로 랜더의 특성에 따라 고려됨 (표 8).
- 무게추는 lever나 toggle 방식으로 장착함. 장착한 무게추는 acoustic release, burn-wire 부식법, 마그네슘 볼트 또는 timed release (SMITH time releases: IOSCR200 (PHILLIPS, 1980))등을 이용해 프레임에서 분리시킴. 한 개 이상의 직렬/병렬 분리는 추를 연결하는 방식으로 조절할 수 있음. 대부분의 랜더는 만약을 대비해서 두 개의 독립된 무게추 분리 방법을 사용함. acoustic release는 고가이긴 하나, 사용자가 원하는 시간에 무게추를 분리할 수 있게 해 줌. 또한 “pings” 신호를 이용하여 랜더까지 거리를 측정할 수 있어 장비회수

를 위한 최적의 거리를 두고 배가 위치할 수 있음. 한편, acoustic release는 장비가 상승을 시작했다는 신호와 상승 속도를 알려줘 장비가 수면 위에 언제쯤 어디로 나타날 것인지 예측할 수 있게 해줌. 음향신호의 수신은 수층에 강한 수온경계층이 있거나 바닥면이 고르지 못한 경우 어려울 수 있음. 그러나 대부분의 장비들은 최대 15km의 넓은 수평 범위와 수심 6km까지 적용할 수 있음. 이외에 또 다른 무게추 분리 방식은 burn-wire나 마그네슘 볼트등의 용해물질을 이용한 것이다. Burn-wire는 저렴하지만, 사전에 입력한 무게추 분리 시간의 변경이 불가능함. 마그네슘 용해물질의 경우 검증된 성능이기는 하나, 정확한 시간조절이 어려워 3일 이상의 장기 설치에서는 사용할 수 없음.

- 일단 랜더가 수면 위에 부상하면 시료의 전처리, 다음 설치를 위한 준비를 위해서 신속하게 랜더를 탐색하고 회수하는 것은 중요함. 상승한 랜더의 탐색은 생각보다 어려워, 좋은 날씨에도 바다 상태가 좋아도 1km 내외에 있는 랜더를 발견하는 것이 쉽지 않음. 쉬운 랜더 탐색을 위해, 깃발, 반사판, 음향신호기, VHF 방향 탐지기와 ARGOS 위성 신호기를 장착함. 이러한 회수 장치들은 적어도 12시간 이상 작동 할 수 있는 충분한 용량의 독립적인 전원공급이 있어야 함.
- 좁은 범위는 VHF 방향탐지기로 장비 탐색이 가능함. 그러나 넓은 범위의 탐색은 ARGOS 위성신호기(CLS: collecte localisation satellites), 프랑스; NACLS, 미국)가 효과적임 (표 8). 위성위치시스템은 언제 어디서나 장비가 수면 위에 상승하면 탐색이 가능해, 어선에 의해 끌려가거나, 퇴적물에 박혀 상승이 지연되어 한 달 또는 그 이상이 지나 수면위로 부상했을 경우에도 위성에 신호가 잡히면 회수가 가능함. 최근에는 다양한 인공위성 위치시스템이 개발되어 상용화되어 선택의 폭이 넓음.
- 랜더의 설치와 회수시 장비에 큰 파손이나 부상의 위험 가능성이 있

음. 장비를 선상에서 들어 올릴 때 장비가 흔들릴 수 있어 안정적인 이동이 매우 중요함. 성공적인 랜더 장비의 운용을 위해서는 장비 운영자가 안전을 고려해서 능숙하게 대처할 수 있도록 많은 경험을 갖고 있어야 하며 바다의 상태를 파악해야 함. 일부 랜더는 회수시 갑판과 크레인위에서 작업하던 갑판원 들간의 잘못된 의사소통으로 회수 도중 분실 또는 훼손되는 경우가 많음. 장비와 부이가 분리되어 떠오르게된 랜더의 경우 부이와 장비들 간의 연결거리는 적어도 2m 이상은 되어야 함. 길이가 30m이상이면 회수는 더욱 쉬어짐. 부이는 랜더 주변에 바람을 타고 펼쳐지듯이 떠오르는데, 이 때 배는 바람의 반대방향으로 다가가 장비와 부이의 연결선과 평행으로 위치하면 안전거리를 유지하며 쉽게 장비를 잡아 올릴 수 있음. 일단 연결선을 잡아 크레인 도르레에 걸고 나면 장비와 배의 거리가 좁혀지고 장비를 배 위로 끌어올리는 것이 가능해짐. 또한 배의 크레인에 랜더 프레임을 직접 연결할 수 있다면 좀 더 손쉬운 회수를 할 수 있음.

- 배 위로 장비를 올릴 때 선체의 움직임은 리프팅선에 매우 큰 응력을 발생시켜 선의 파손을 일으킬 수 있음. 해양에서 사용하는 선과 밧줄 등은 마찰과 강한 햇빛에 의해 점차 내구성이 감소함. 일부 *Kevlar* 와 *Spectra* 같은 선들은 초기에는 그 강도가 좋으나 사용할수록 고유의 물리적 성질을 잃을 수 있음. 또한 잘못된 사용으로 인해 파손이 급격히 발생할 수 있음. 이를 방지하기 위해 이런 제품들을 사용할 때는 적어도 지름 14mm이상의 제품을 2톤 이하의 랜더에 적용하기를 권장함.

## II-8. 개발시 고려사항

- 그동안 여러 학회에서 벤딕챔버 연구 관련 워크샵이 개최됨. 미국, 유럽, 일본등 선진해양과학기술 국가가 계획하고 있는 해저실험실과 같은 첨단 기술들도 함께 논의

- 벤틱랜더의 현장 연구는 그동안 큰 발전을 이루었으나 몇몇 분야에서는 아직 개발할 여지가 많이 있음. 특히, 심해저 장비의 경우 보다 진보된 기술의 도입이 요구됨.
- 최근 개발되어 상용화 된 다양한 센서의 활용은 벤틱랜더의 활용성을 극대화 할 수 있을 것으로 기대됨
- 기후변화, 오염 부하의 가중 등 벤틱랜더를 적용할 수 있는 연구분야가 점차 확대되고 있으며 요구에 적합한 벤틱랜더의 개발이 절대적으로 필요함
- 현장관측 장비의 효율적인 운영과 경제성 제고를 위하여 그동안 개발되어 단시간 사용되는 벤틱랜더 보다는 장기간 운영이 가능하며 능동적으로 이동이 가능한 벤틱랜더 또는 벤틱로버의 개발이 적극적으로 고려되어야 함. 최근 일부 연구에서는 1년이상의 장기 관측이 시도됨
- 벤틱랜더는 수층 관측장비, 시료채집장비 등 여러 종류의 장비가 유기적으로 함께 이용되는 것이 바람직하며, 이들을 서로 연결할 수 있는 과학 연구 콘텐츠 개발이 필요함. 더욱이 장비간 인터페이스 소프트웨어 개발이 이루어져야 함.



표 8. 신호체계, 부이사향, 양성부력, 상승속도, 무게추부분리장치, 수색장비 사양비교

	챔버 랜더	신호체계	부이사향; 종류; 총 양성부력(수면); 장착방법	양성 부력 (kg)	상승 속도 (m/min)	1. 주장치; 2. 무게추 분리장치	수색 장비
1	FVR	음향신호	10개의 유리구; 254kg; 볼트	86	52	1. 음향신호 2. Burn-wire	플래쉬 & VHF 방향탐색기
2	FVGR-1/ FVGR-2	음향신호	10개의 유리구; 254kg; 볼트	217 /203	47 /55	1. 음향신호; 2. Burn-wire	플래쉬 & VHF 방향탐색기
3	HINGA	음향신호	Mooring용 기반으로 제작	-	-	1. 음향신호 & Burn-wire	-
4	MANOP	음향신호	10개의 유리구; 350kg; 볼트	100	40	1. 음향신호	플래쉬; VHF 방향탐색기
5	DEVOL	-	10개의 유리구; 350kg; 볼트	90	40	1 & 2. Burn-wire; 3. 마그네슘 볼트	플래쉬 & VHF 방향탐색기
6	USC	음향신호	5개의 대형, 2개의 소형 유리구; 130kg; 줄로 묶음	45	30	1 & 2. Burn-wire	플래쉬 & VHF 방향탐색기
7	EAWAG	Pinger	-	-	-	-	표면 부이
8	GOMEX	음향신호	6개의 유리구; 150kg; 볼트	50	30	1. 음향신호; 2. Burn-wire; 3. 마그네슘 볼트	플래쉬 & VHF 방향탐색기
9	ROLAID	음향신호	인공기포강화플라스틱; 500kg; 볼트	145kg	55-60	1. 음향신호; 2. 음향신호	플래쉬; ARGOS; VHF 방향탐색기; VHF 위치탐색기
10	BECl	음향신호	8개의 유리구; 181.6kg; 볼트	91	40	1 & 2. Burn-wire; 3. 마그네슘 볼트	플래쉬 & VHF 방향탐색기
11	IHF	음향신호	20개의 유리구; 508kg; 볼트	180	60	1. 음향신호; 2. 음향신호	플래쉬 & VHF 방향탐색기
12	BOLAS	음향신호	20개의 유리구; 508kg; 볼트	150	50	1. 음향신호; 2. 음향신호	플래쉬 & VHF 방향탐색기
13	BFSO	음향신호	비자동, 발포고무	-	-	-	표면 부이
14	ELINOR	음향신호	9개의 유리구; 229kg; 볼트	75	30	1. Burn-wire; 2. 마그네슘 볼트; 3. 음향신호	플래쉬 & VHF 방향탐색기
15	RAP 2	음향신호	인공기포강화플라스틱; 볼트	140	43	1. 음향신호; 2. 음향신호	플래쉬 & VHF 방향탐색기
16	BANYULS	음향신호	인공기포강화플라스틱; 471kg; 볼트	151	50	1. 음향신호; 2. Burn-wire; 3. 마그네슘 볼트	플래쉬; ARGOS; VHF 방향탐색기
17	GÖTEBORG	음향신호	72개의 유리구; 700kg; 볼트	250	75	1. 음향신호; 2. Burn-wire; 3. 마그네슘 볼트	플래쉬; ARGOS; VHF 방향탐색기
19	IDRONAUT/CI SE	-	인공기포강화플라스틱; 225kg; 볼트	-	-	1. 전동기; 2. Burn-wire	플래쉬 & VHF 방향탐색기
20	BIO-C-FLUX	음향신호	15개의 유리구; 381kg; 볼트	80	60	1. 음향신호; 2. 음향신호	플래쉬 & VHF 방향탐색기
21	BIOSTABLE	음향신호	인공기포강화플라스틱; 408kg; 외골격에 장착하지 않음	200	30	1. 음향신호; 2. 음향신호	표면 부이
22	REIMERS	-	7개의 유리구; 178kg; 볼트	136	65	1. Burn-wire; 2. 마그네슘 볼트	플래쉬 & VHF 방향탐색기
23	UW PROFLER	-	8개의 유리구; 182kg; 볼트	45	50	1. Burn-wire; 2. 마그네슘 볼트	-
24	PROFILUREN	Pinger & 음향신호	6개의 유리구; 152kg; 볼트	60-70	33	1. 음향신호; 2. Burn-wire; 3. 마그네슘 볼트	플래쉬 & VHF 방향탐색기
25	TROL	음향신호	8개의 유리구; 203kg; 볼트	63	70	1. 음향신호 2. Burn-wire	플래쉬 & VHF 방향탐색기
26	BOTTY	음향신호	9개의 유리구; 229kg; 볼트	75	60	1. 음향신호 2. Burn-wire	플래쉬; VHF 방향탐색기; 생물학적 방법
27	SAHAMI	-	-	-	-	-	표면 부이
28	Belcl-II	음향신호	인공기포강화플라스틱; 300kg; 볼트	80	30	1. 음향신호 2. 음향신호	플래쉬 & 이리듐

○ 최근 해양연구는 물질 순환과 생지화학적 반응의 과정을 전지구적 차원으로 이해하고자 시도되고 있음. 현장에서 관측된 심해 해저면의 생지화학적 물질교환율은 이 연구 내용에 필수적으로 요구됨. 이들 결과는 벤틱 랜더 실험으로 얻어지고 있으나 아직 생산된 자료는 전 해양을 이해하기에는 부족함이 있음 (표 9). 특히, 장기간의 시계열 자료가 거의 전무한 상태임. 따라서 첨단 기술을 기반으로 하는 학제간의 새로운 아이디어는 주요 환경 문제들 이해하는데 필요함. 아래의 제시된 예는 향후 벤틱랜더 개발과 같이 수행되어야 할 내용들임.

- 1) 접근이 용이한 지역의 경우 1년 이내의 주기를 갖고 장기간의 모니터링이 필요
- 2) 지구적 변화를 일으키는 주요 관심지역의 10년 이상의 모니터링이 필요
- 3) 인간 활동에 영향을 받는 지역은 장기 모니터링 (예, 심해 쓰레기 투기나 채굴 지역)을 통해 환경평가 가능
- 4) 불규칙한 이벤트가 일어나는 해저에서 물질이송에 따른 상호작용연구 (예, 퇴적속도 측정, 시료의 생지화학적 반응율)가 요구됨
- 5) 또한 다양한 빈도로 수집된 시료의 시간에 따른 기록이 수반되어야 함
- 6) 인공위성으로 데이터 전송이 가능해야 함
- 7) 벤틱랜더 투하 지점 선택, 조종(조작), 실험을 위한 장비(예, 비디오, 이미지 광섬유케이블)의 초기 상황 파악 필요

○ 일반적으로 개발은 개발 과정에서 순차적으로 단계적으로 목표를 설정-달성하는 것이 추천됨

- 1) 단기간의 벤틱랜더 설치와 측정을 목표로 할 경우, 상대적으로 간단한 설계와 저렴한 예산의 요구되는 랜더를 개발할 필요가 있음
- 2) 심해에서 장기 모니터링과 실험은 연구목적에 적합한 부가적인 기능, 센서 및 실험 장비 등을 추가 설치할 수 있음. 또한 수면 부상후 자동 데이터 전송은 시스템의 유연성을 극대화 할 수 있음. 이를 위해 많은 경우에서 연구목적에 따라 벤틱랜더에 장착할 수 있는 모듈 구조의 장비가 개발되어 시스템에 적용됨. 그러나 이러한 시스템은 전력공급, 연결부, 데이터 저장과 전달에 있어 반드시 국제표준에 맞춰져야 함. 한편, 장비설치 및 운영상의 위험요소는 사전에 배제할 수 있도록 심각히 다루어져야 함.
- 3) 현장관측시의 문제점들은 전문가와 경험자의 조언에 해결한 후 장비를 운용해야 함. 경우에 따라 ROV등 벤틱랜더 실험에 도움이 될 수 있는 장비가 있을 경우 적극적으로 공동 활용을 고려해 볼 필요가 있음.

표 9 벤치랜더로 실험한 해역의 목록

	챔버 랜더	설치 장소
1	FVR	북서대서양
2	FVGR-1/ FVGR-2	북태평양 (San Diego-Patton 사면); 북서대서양; 중앙북태평양
3	HINGA	북태평양 (적도-38° N)
4	MANOP	동태평양; 북태평양
5	DEVOL	알래스카 (Skan Bay); Tres Marias depression, Mexican봉/사면계; Mazatlan; Santa Catalina 분지; Washington 대륙봉/사면
6	USC	중앙/남부 캘리포니아 대륙변계 (대륙봉/대륙사면/대륙대); 중앙/동적도태평양
7	EAWAG	스위스 (Luzern 호수, Sempach, Zug, Baldegg와 Alpnach)
8	GOMEX	Gulf of Mexico; 동그린랜드 봉; 동캐나다 (Conception Bay); 동부아메리카의 중앙대서양 만
9	ROLAI <sup>2</sup> D	버뮤다 (대서양 time-series)
10	BECI	St. Moniea 분지; 캘리포니아 borderland; 페루 변계; 북서대서양 (Cape Hatteras region); 서적도태평양; 북동대서양; 서적도대서양
11	IHF	북대서양 (북 Azores; 동 Biscaye; Madeira 주변)
12	BOLAS	북대서양; Adriatic해와 그 외 지중해지역; 인디안해 (케냐외곽, 소말리아, 오만)
13	BFSO	San Diego (Shelter섬 분지); San Diego만; 워싱턴주 (Sinclair Inlet)
14	ELINOR	북동 북해 (Skagerrak, Kattegat); 남대서양 (Namibia 외곽); 남대서양 (브라질 외곽); 칠레 용승지역; 덴마크 (Limfjorden); 독일만
15	RAP 2	북동대서양; 적도대서양
16	BANYULS	북동지중해
18	GÖTEBORG	북동북해 (Skagerrak); 서부 스웨덴 (Gullmar Fjord)
19	IDRONAUT/CISE	이탈리아 (베니스 석호, Orta 호수); Ligurian해 (La spezia 항)
20	BIO-C-FLUX	북 발트해
21	BIOSTABLE	아라비안해
22	REIMERS	Santa Catalina만; San Clemente만; Patton 경사면; 중앙 캘리포니아 사면/대; Santa Barbara만; Cesta대; 중앙북태평양; 북서아프리카 사면
23	UW PROFILER	멕시코 대륙봉; 워싱턴봉/사면; 적도대서양; 북서대서양; 서적도대서양; 서적도태평양; Ceara대
24	PROFILUREN	북동북해 (Skagerrak, Kattegat); 남대서양; 버뮤다; 서태평양; 덴마크 (Aarhus만); 캘리포리아만
25	TROL	북동대서양; Adriatic해 외 지중해 지역; 인도양 (케냐외곽,소말리아,오만); OMEX 프로그램지역
26	BOTTY	극전선역의 남해; Amundsen해; Bellinghausen해
27	SAHAMI	캐나다 서남부주의 Coastal fjords와 inlets
28	Belcl-II	동해 남부, 울릉분지, 동중국해, 제주도 남부
29	Belpl-II	동해 남부, 울릉분지, 동중국해, 제주도 남부

### Ⅲ. 벤틱랜더의 표준운영지침서 및 운영방법



### Ⅲ. 벤틱랜더의 표준운영지침서 및 운영방법

#### Ⅲ-1. 벤틱랜더 표준운영지침서(예)

##### 심해저 벤틱랜더 표준 운영지침서

###### 1.0 개요

###### 1.1 목적

이 운영지침은 현장관측장비인 벤틱랜더의 운영지침서 이다. 벤틱랜더는 연구 목적에 따라 다양한 운영이 가능하며, 이 부분에서는 퇴적물 표면에서 교환되는 물질의 플럭스 및 유기탄소의 생지화학적 순환과정을 정량하는 방법이다.

###### 1.2 적용범위

한국해양과학기술에서 개발한 벤틱랜더 (BelcI & BelpI, KIOST BelcII & BelpII, KIOST BelcII-6000 & BelpII-6000)에 이용한다.

##### 2. 용어정의

###### 2.1 벤틱랜더

수면에서 수중으로 자유 낙하시켜 해저면에 설치한 후 연구자가 설정한 명령에 따라 자동으로 측정, 분석 또는 시료채집을 하는 현장관측장비이다.

###### 2.2 벤틱챔버

해저면에 사전에 부피 및 높이(퇴적층에서부터 뚜껑까지위 높이)를 알고 있는 용기를 설치한 후 챔버내 물을 일정시간동안 배양하면서 배양수내의 농도변화를 측정하는 장비로 저층/퇴적물 경계면에서 물질 교환율 (플럭스)를 아래의 식으로 계산한다.

$$Benthic\ flux\ (mmol\ m^{-2}d^{-1}) = \frac{dC}{dt} \times \frac{V}{A}$$

식에서,  $dC/dt$ 는 배양시간동안 물질의 변화율( $mmol\ m^{-3}\ d^{-1}$ ),  $V$ 는 배양수가 있는 챔버의 부피( $m^3$ ),  $A$  챔버의 면적 ( $m^2$ )이다.

## 2.3 마이크로 프로파일러

센서크기가 1mm이하인 마이크로센서를 이용하여 퇴적물/해수 경계면과 퇴적물 공극수의 물질의 농도를 고해상도로 측정하는 벤틱랜더 중 하나이다.

## 2.4 퇴적물 산소 소모율

퇴적층에서 유기물 분해의 영향에 따라 산소가 소비된다. 시간 증가에 따른 산소의 감소 기울기는 전 유기물 분해율 표현할 수 있다.

## 3. 기구 및 재료

### 3.1 벤틱랜더용 공구

※ 현장 상황에 적합한 공구를 선정 후 별도의 공구함을 구성한다. 공구의 기본 장비는 일반 공구의 사양에 따른다.

## 4. 시약

“내용 없음“

## 5. 운영절차

벤틱랜더의 운영절차는 부록 1~3에 따른다. 벤틱랜더의 운영은 선상에서 이루어짐으로 안전상의 고려사항은 선박의 운항 지침에 따른다. 또한 벤틱랜더의 무게는 수백 kg이상으로 안전상 특별히 주의할 필요가 있다.

### 5.1 투하 전 절차

#### 5.1.1

투하 지역에 도착하기 약 30분 전에 인공위성 위치 송신기(WABO)의 스위치를 켜다. 또한 점별등을 켜 후 전원의 상태를 2회 이상 점검한다. WABO는 위치신호가 이메일로 수신되는지 점검한다.



### 5.1.2

마이크로프로파일러에 작동절차를 입력 한다.

### 5.1.3

센서를 장착한 후 신호를 확인한다.

### 5.1.4

센서의 높이를 일반적인 퇴적물의 경우 약 3~4cm, 부드러운 퇴적물의 경우 약 7~8cm로 조절 한다

### 5.1.5

채수기 1번에는 BaCl<sub>2</sub> 용액 50mL를 충전하고 나머지에는 50ml 주사기를 장착한다.

### 5.1.6

채수기 커버를 장착한 후 고무줄로 고정한다.

### 5.1.7

랜더 프레임에 웨이트를 균형있게 장착한다.

※ 장착하는 웨이트 무게는 현장 출장전에 수조에서 양성부력 60~80 kg에 해당하는 무게를 파악한 해야한다.

※ 웨이트 장착시에 반드시 2인이 1조가 되어서 웨이트를 장착한다.

### 5.1.8

Burn-wire의 작동시간을 설정한 후 전원을 켜다

### 5.1.9

Acoustic release의 스위치를 “Armed/On“에 위치시킨다.

Deck unit와 통신 여부를 확인한다.

※ Acoustic release와 Deck unit의 통신 확인은 랜더 조립시 할 수 있다.

### 5.1.10

벤틱랜더 투하전 챔버, 프로파일러, burn-wire의 스위치를 연결한다.

### 5.1.11

벤틱랜더 양 옆에 2인 이상이 랜더 잡고 “A-frame“을 이용하여 랜더를 투하한다.

## 5.2 장비 회수 후 절차

### 5.2.1

투하지점에 도착 후 AR deck-unit로 벤틱랜더의 유무 및 거리를 확인한다.

### 5.2.2

AR을 작동시켜 웨이트를 벤틱랜더 프레임에서 탈착시킨 후 벤틱랜더의 상승을 계속 모니터링 한다. 선상에서는 사방에 2인 이상이 벤틱랜더의 부상을 육안으로 확인한다.

### 5.2.3

선상으로 회수된 벤틱랜더는 육안으로 챔버, 프로파일러, 채수기상태등의 이상유무를 확인한다

### 5.2.4

WABO, 점멸등, AR의 전원을 끈다.

### 5.2.5

센서자료 및 관측자료를 다운로드 한다

### 5.2.6.

시료 전처리를 한 후 민물로 세척한다.

## 6. 시료 채취 및 관리

### 6.1

회수된 챔버의 채수기에서 주사기를 순차적으로 뺀다.

### 6.2

주사기 입구에 공극 0.45  $\mu\text{m}$  박막 주사기 여과지를 연결한 후 조심스럽게 여과하여 산으로 미리 세척한 25 또는 50 ml 용기에 넣는다.

※ 알칼리도를 분석할 경우 50 ml 주사기 시료 중 일부 약 25 ml는 공기를 밀봉할 수 있는 용기에 넣고 나머지를 여과하여 영양염 분석에 이용한다. 알칼리 분석용 시료에는 포화된  $\text{HgCl}_2$  용액 20  $\mu\text{l}$ 를 넣어 보관한다.

### 6.3

시료는 전처리 즉시 영양염 분석용은 냉동, 알칼리분석용 시료는 냉장 보관한다.

## 7. 센서 Calibration 및 보관

### 7.1 센서 Calibration

용존산소 센서 보정은 Two-point calibration을 원칙으로 한다.

#### 7.1.1

센서 보정을 위해 현장 온도로 맞추어진 현장 저층수를 보정용 챔버에 주입한다.

#### 7.1.2

보정을 필요로 하는 센서를 보정 챔버에 넣은 후 공기 주입기를 이용하여 10분 이상 공기를 주입시켜 공기 포화도가 100%으로 한 후 센서에서 출력되는 신호를 기록한다.

※ 상용 옵토드의 경우 제작사에서 제공하는 보정 매뉴얼에 따라 보정한다.

#### 7.1.3

질소가스를 10분 동안 보정 챔버에 주입하여 공기 포화도가 0%인 해수의 센서 신호를 기록한다.

#### 7.1.4

공기 포화도 0%과 100%에서의 전류값을 세 번 이상 반복 측정하고 센서 신호에 따른 산소의 농도의 회귀 직선식을 만든다.

※ 상용 옵토드의 경우 농도 자체를 RS-232 통신을 통해 랜더 데이터로거에 기록됨으로 7.4항이 필요치 않다.

### 7.1.5

저층수의 용존산소 농도를 측정하기 위해 선상에서 B.O.D. 병으로 채취·고정한 시료를 용존산소-적정법에 따라 분석한다(수질오염공정시험기준).

## 7. 2. 센서 보관

장기간의 센서 보관 및 유지보수는 제작사의 지침에 따른다.

### 7.2.1

사용이 끝난 센서는 챔버 및 프로파일러에서 분리한 후 증류수로 3회 이상 세척한다.

### 7.2.2

세척된 센서는 광센서의 경우 센싱 포일이 파손되지 않게 부드러운 면봉이다 휴지로 물기를 완전히 제거한다. 마이크로센서는 자연 건조될 수 있도록 수직으로 세워 보관한다.

### 7.2.3

보관된 센서는 주기적으로 공기 포화도 0%, 100%에서 신호를 검점하며, 두 농도 구간의 기울기가 현저히 작아지면 광센서의 경우 센싱 포일을 교체한다.

### 7.2.4

마이크로센서는 사용에 따라 센싱 전극의 감도가 떨어질 경우가 있음으로 이 경우는 뜨거운 물, 또는 무산소 물에 담가 신호가 정상상태로 회복되는지 점검한다.

### III-2. 교차 확인서 및 설정 시간표

#### Benthic lander Cross-check sheet

일시 및 시간: 20    -    /

정 점(위경도) 및 수심:

설치시간 및 계류시간: 20    /    / -    /    / / (    시간)

순서	내 용	확 인 자	
<b>설 치 전 준 비</b>			
1	<b>WABO ON</b> - 설치 30분전 전원을 키고, 신호 수신 확인 - 장 신호: off, 단 신호3회: on	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<b>Light power on</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<b>프로파일러</b> - 센서 장착 및 신호확인 - 높이 조정 (일반: 3~4 cm, 소프트: 7~8 cm) - 작동 조건 설정	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<b>챔버뚜껑 조정</b> - 약 1분 20초 작동 - 작동 조건 설정	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<b>채수기 확인 및 주사기 장착</b> - 1번 채수기: BaCl <sub>2</sub> 용액 50 mL - 주사기 커버 장착(반드시 볼트 고정)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<b>웨이트 장착</b> - 무게확인	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<b>Burn-wire 설정</b> - burn-wire 설정시간 설정	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	<b>AR 확인 및 작동</b> - 스위치 Armed/on 위치 - Deck unit와 통신 여부 확인	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	<b>파워 연결 및 스위치 장착</b> - 챔버 및 프로파일러	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Benthic lander Cross-check sheet

회수시간 및 계류시간: 20 / / - / / / (      시간)

정 점:

수 심:

순서	내 용	확 인 자	
<b>회 수 후 처 리</b>			
1	<b>이상유무 파악</b> - 챔버, 프로파일러, 채수기 상태 파악	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<b>WABO, Light power off</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<b>프로파일러</b> - 센서 보호 튜브 장착 - 스위치 제거 및 더미 연결	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<b>챔버</b> - 스위치 제거 및 더미 연결 - 작동 조건 설정	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<b>채수 전처리</b> - Alk. 분석용 시료는 HgCl <sub>2</sub> 용액(20uL) 첨가 - 영양염 분석용은 여과	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<b>담수 세척 및 보관</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Timer setting

	Coastal sea (연안)			Deep sea (수심 >1000m)		
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
Waiting 1	60	60	60	60	120	120
Waiting 1	60	60	60	120	120	120
Injection	2	2	2	2	2	2
Sample 1	3	3	3	3	3	3
Sample 2	45	60	90	100	100	120
Sample 3	45	60	90	100	100	120
Sample 4	45	60	90	100	100	120
Sample 5	45	60	90	100	100	120
Sample 6	45	60	90	100	100	120
Sample 7	45	60	90	100	100	120
Sample 8	45	60	90	100	100	120
Sample 9	45	60	90	100	100	120
Sample 10	45	60	90	100	100	120
Sample 11	45	60	90	100	100	120
After	0	0	0	0	0	0
Total min	575	725	1,025	1,185	1,245	1,445
Total hr	9.6	12.1	17.1	19.8	20.1	24.1
Release time*	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>25</b>

\* Release time은 AR을 작동하는 최소 시간.





## IV. 연구개발결과의 활용방안 및 기대 효과



## IV. 연구개발결과의 활용방안 및 기대 효과

### IV-1. 활용방안

- 이사부호 장착용 장비로 활용
  - 전 지구적 이산화탄소의 생지화학적 순환 연구 중 수층-퇴적물 경계면에서 유기탄소의 분해경로 연구에 활용하여 대양에서 탄소 수지 정량화에 활용
  - 각종 센서 및 촬영장비를 장착하여 저층 경계면에서 유용광물의 탐사 및 장기간 모니터링 장비로 활용
  - 심해저 생물의 배양 장비로 해양생물의 생리생태 연구에 활용
  - 축적된 운영기술을 기반으로 다양한 연구목적의 현장 배양 장비 시스템 구축
- 심해저 탐사 및 장비 이동체로의 활용
  - 심해저 장기 모니터링 이동체 및 향후 개발될 각종 벤딕로버의 모션으로 활용
  - 열수광산등 심해저 지각 활동 지역에 장기간 촬영 장비로 활용

### IV-2. 기대효과

- 이사부호의 활용가치 극대화 및 생산자료의 독창성 확보
- 심해저 관측장비 개발기술 노하우 축적과 고부가가치 해양과학기술 산업발전에 기여
- 수입대체 및 고용효과 증대
- 연구과제 개발에 새로운 패러다임 부여로 새로운 현상규명을 위한 관측자료 생산
- 산업과 기술간 융합으로 새로운 시장 개척 및 성장동력 창출로 해양과학기술 분야 선도
- 첨단 장비 활용 가능으로 대학, 연구소, 민간기업간의 공동연구 활성화

를 유도하여 산학연의 협력 생태계 체계 구축

## 참고문헌



## 참고문헌

ALLER, R.C., P.O.J. HALL and P.D. RUDE (1987) Solute distributions and flux estimates in bioturbated sediments of the Panama Basin. EOS, 68, 1749.

ANDREWS, D. and A. BENNETT (1981) Measurements of diffusivity near the sediment- water interface with a finescale resistivity probe. Geochimica et Cosmochimica Acta, 45, 2169-2175.

ARCHER, D. and A. DEVOL (1992) Benthic oxygen fluxes on the Washington shelf and slope: A comparison of insitu microelectrode and chamber flux measurements. Limnology and Oceanography, 37, 614-629.

ARCHER, D., S. EMERSON and C.E. REIMERS (1989b) Dissolution of calcite in deep-sea sediments: pH and  $O_2$  microelectrode results. Geochimica et Cosmochimica Acta, 53, 2831-2845.

ARCHER, D., S. EMERSON and C.R. SMITH (1989a) Direct measurements of the diffusive sublayer at the deep sea floor using microelectrodes. Nature, 340, 623-626.

ARMSTRONG, J.D., P.M. BAGLEY and I.G. PRIEDE (1992) Tracking deep sea fish using ingestible transmitters and an autonomous sea-floor instrument package. In: Wildlife Telemetry, I.G. PRIEDE and S.M. SWIFT, editors, Ellis Horwood, Chichester, pp 376-386.

BALZER, W. (1978) Untersuchungen tiber Abbau organischer Materie und Nahrstoff-Freisetzung am Boden der Kieler Bucht beim Ubergang vom oxischen zum anoxischen Milieu. Ph.D. dissertation, University of Kiel, Germany, pp 129.

BARBANTI, A., R. BONIFORTI, G. CICERI, W. MARTINOTTI and T. VIRTANEN (1992) BIMS-Benthic Instrumentation and Monitoring System for investigating the properties of the water-sediment interface. In: Proceedings of "Oceanology International 1992, The Global Ocean" Conference, Brighton.

BARNETT, P.R.O., J. WATSON and D. CONNELLY (1984) A multiple corer for taking virtually undisturbed samples from shelf, bathyal and abyssal sediments. *Oceanologica Acta*, 7, 399-408.

BENDER, M., W. MARTIN, J. HESS, F. SAYLES, L. BALL and C. LAMBERT (1987) A whole core squeezer for interfacial pore water sampling. *Limnology and Oceanography*, 32, 1214-1225.

BERELSON, W.M., D.E. HAMMOND, J. McMANUS and T.E. KILLOORE (1994) Dissolution kinetics of calcium carbonate in equatorial Pacific sediments. *Global Biogeochemical Cycles*, 2, 219-235.

BERELSON, W.M. and D.E. HAMMOND (1986) The calibration of a new free-vehicle benthic flux chamber for use in the deep sea. *Deep-Sea Research*, 33, 1439-1454.

BERELSON, W.M., D.E. HAMMOND, K.L. SMITH JR., R.A. JAHNKE, A.H. DEVOL, K.R. HINGA, G.T. ROWE and F. SAYLES (1987) In-situ benthic flux measurement devices: bottom lander technology. *Marine Technology Society*, 21, 26-32.

BETT, B.J., A. VANREUSEL, M. VINCX, T. SOLTWEDEL, O. PFANNKUCHE, P.J.D. LAMBSHEAD, A.J. GOODAY, T. FERRERO and A. DINET (1994) Sampler bias in the quantitative study of deep-sea meiobenthos. *Marine Ecology Progress Series*, 104, 197-203.



- BILLETT, D.S.M., R.S. LAMPITT, A.L. RICE and R.C.F. MANTOURA (1983) Seasonal sedimentation of phytoplankton to the deep-sea benthos. *Nature*, 302, 520-522.
- BIRD, A.R. and L.F. MOCKROS (1986) Measured fluid forces on an accelerated/decelerated circular cylinder. 18<sup>th</sup> Annual Offshore Technology Conference, Houston, Texas, pp157-163.
- BLOMQUIST, S. (1991) Quantitative sampling of soft-bottom sediments: problems and solutions. *Marine Ecology Progress Series*, 72, 295-304.
- DE BOVEE, F., A. TENGBERG, P.O.J. HALL, Y. BARSOUTY, H. LE BELLER, B. BRILLOIT and L. LANDEN (1995) A new free-vehicle benthic chamber lander. (In preparation).
- BROSTRÖM, G. (1995) The effect of rotation in benthic flux chamber experiments. *Deep-Sea Research*, (Submitted).
- BUCHHOLTZ-TEN BRINK, M.R., G. GUST and C. CHAVIS (1989) Calibration of a stirred benthic growth chamber. *Deep-Sea Research*, 36, 1083-1101.
- BURKE, J.C. (1968) A sediment coring device of 21 cm diameter with a sphincter core retainer. *Limnology and Oceanography*, 13, 714-718.
- CALLENDER, E. and D.E. HAMMOND (1982) Nutrient exchange across the sediment-water interface in the Potomac river estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 15, 395-413.
- CAI, W.-J. and C.E. REIMERS (1993) The development of pH and pCO<sub>2</sub> microelectrodes for studying the carbonate chemistry of pore waters near the sediment-water interface. *Limnology and Oceanography*, 38, 1776-1778.

CHADWICK, D.B., S.D. STANLEY and S.H. LIEBERMAN (1993) A benthic flux chamber for monitoring pollution exchange rates at the sediment-water interface. MTS'93 Technology Requirements in the Nineties, Marine Technology Society Conference Proceedings, Long Beach, California, 11 pp.

CHRISTENSEN, P.B., L.P. NIELSEN, J. SØRENSEN and N.P. REVSBECH (1990) Denitrification in nitrate rich streams: Diurnal and seasonal variation related to benthic oxygen metabolism. *Limnology and Oceanography*, 35, 640-651.

CICERI, G., S. MARAN, W. MARTINOTFI and G. QUEIRAZZA (1992) Geochemical cycling of heavy metals in a marine coastal area: benthic flux determination from pore water profiles and in situ measurements using benthic chambers. *Hydrobiologia*, 235/236, 501-517.

CRAMER, A. (1989) A common artefact in estimates of benthic community respiration caused by the use of stainless steel. *Netherlands Journal of Sea Research*, 23, 1-6.

DEVOL, A.H. (1987) Verification of flux measurements made with in situ benthic chambers. *Deep-Sea Research*, 34, 1007-1026.

DEVOL, A.H. and J.P. CHRISTENSEN (1993) Benthic fluxes and nitrogen cycling in the sediments of the continental margin of the eastern North Pacific. *Journal of Marine Research*, 51, 345-372.

DICKINSON, W. and F.L. SAYLES (1992) A benthic chamber with electric stirrer mixing. Technical Report WHOI-92-09, Woods Hole Oceanographic Institution, USA, 17 pp.

EPPING, E. and W. HELDER (1995) In-situ oxygen microprofiles and their modelling. Results from the northern Adriatic Sea. Marine Ecology Progress Series, (Submitted).

GLUD, R.N., J.K. GUNDERSEN, N.P. REVSBECH, and B.B. JØRGENSEN (1994) Effects on the benthic diffusive boundary layer imposed by microelectrodes, Limnology and Oceanography, 39, 462-467.

GLUD, R.N., J.K. GUNDERSEN, N.P. REVSBECH, B.B. JØRGENSEN and M. HETTEL (1995) Calibration and performance of the stirred flux chamber from the benthic lander ELINOR. Deep-Sea Research, (in press).

GLUD, R.N., J.K. GUNDERSEN, B.B. JØRGENSEN, N.P. REVSBECH and H.D. SCHOLZ (1994) Diffusive and total oxygen uptake of deep-sea sediments in the eastern South Atlantic Ocean: in situ and laboratory measurements. Deep-Sea Research, 41, 1767-1788.

GUNDERSEN, J.K. and B.B. JØRGENSEN (1990) Microstructure of diffusive boundary layers and the oxygen uptake of the sea floor. Nature London, 345, 604-607.

GUNDERSEN, J.K. and B.B. JØRGENSEN (1991) Fine-scale in situ measurements of oxygen distribution in marine sediments. Kieler Meeresforschungen, 8, 367-380.

GUNDERSEN, J.K., B.B. JØRGENSEN, E. LARSEN and H.W. JANNASCH (1992) Mats of giant sulphur bacteria on deepsea sediments due to fluctuating hydrothermal flow. Nature, London, 360, 454-455.

GUST, G. (1988) Skin friction probes for field applications. Journal of Geophysical Research, 93, 121-132.

GUST, G. (1990) United States Patent, Patent number, 4,973,165. Nov. 27.

HALES, B., S. EMERSON and D. ARCHER (1994) Respiration and dissolution in the sediments of the western North Atlantic: estimates from models of in situ microelectrode measurements of porewater oxygen and pH. *Deep-Sea Research*, 41, 695-719.

HALL, P.O.J. (1984) Chemical fluxes at the sediment-seawater interface; In-situ investigations with benthic chambers. Ph.D. dissertation, University of Göteborg, Sweden, pp. 1-183.

HALL, P.O.J., L.G. ANDERSON, M.M. RUTGERS VAN DER LOEIJ, B. SUNDBY and S.F.G. WESTERLUND (1989) Oxygen uptake kinetics in the benthic boundary layer. *Limnology and Oceanography*, 34, 734-746.

HALLBERG, R.O., L.E. BAGANDER, A.-G. ENGVALL and F.A. SH~PEL (1972) Method for studying geochemistry of sediment-water interface. *Ambio*, 1, 71-72.

HAMMOND, D.E., H.J. SIMPSON and G. MATHIEU (1977) Radon-222 distribution and transport across the sediment water interface in the Hudson River Estuary. *Journal of Geophysical Research*, 82, 3913-3920.

HELDER, W. and J.F. BAKKER (1985) Shipboard comparison of micro- and minielectrodes for measuring oxygen distribution in marine sediments. *Limnology and Oceanography*, 30, 1106-1109.

HENDRICKS, P.J. and G. RODENBUSH (1981) Interpretation of velocity profiles measured by freely sinking probes. *Deep-Sea Research*, 28 A, 1199-1213.

HINGA, K.R., J. McN. SIEBURTH and G.R. HEATH (1979) The supply and use of organic material at the deep-sea floor. *Journal of Marine Research*, 37, 557-579.

HüETTEL, M. and G. GUST (1992) Solute release mechanisms from confined sediment cores in stirred benthic chambers and flume flows. *Marine Ecology Progress Series*, 82, 187-197.

ISAACS, J.D. and R.A. SCHWARTZLOZE (1975) Active animals of the deep-sea floor. *Scientific American*, 233, 84-91.

JAHNKE, R.A. and M.B. CHRISTIANSEN (1989) A free-vehicle benthic chamber instrument for sea floor studies. *Deep-Sea Research*, 36, 625-637.

KIRK, R.E., J.J. LANGFORD and R.B. WHITMARSH (1982) A three-component ocean-bottom seismograph for controlled source seismology. *Marine Geophysical Researches*, 5, 327-341.

KIRSTEN, O.H. and R.A. JAHNKE (1985) The lander: Recent developments in free vehicle platform design. *Ocean 85 Conference Record*, Marine Technology Society and Institute of Electrical and Electronics Engineers 12-14 November 1985, San Diego, California, USA.

KROM, M.D., P. DAVISON, H. ZHANG and W. DAVISON (1994) High-resolution pore-water sampling with a gel sampler. *Limnology and Oceanography*, 39, 1967-1972.

LALLI, C.M., editor (1990) *Enclosed Experimental Marine Ecosystems: A Review and Recommendations*, Coastal and Estuarine Studies 37, Springer-Verlag.

LAMPITT, R.S. (1985) Evidence for the seasonal deposition of detritus to the deep-sea floor and its subsequent resuspension. *Deep-Sea Research*, 32, 885-897.

DE LANGE, G.J., R.E. CRANSTON, D.H. HYDES and D. BOUST (1992) Extraction of pore water from marine sediments: A review of possible artefacts with pertinent examples from the North Atlantic. *Marine Geology*, 109, 53-76.

LINKE, P., E. SUESS, M. TORRES, V. MARTENS, W.D. RUGH, W. ZIEBIS and L.D. KULM (1994) In-situ measurements of fluid flow from cold seeps at active continental margins. *Deep-Sea Research*, 41, 721-739.

MORTENSEN, A.C. and R.E. LANGE (1976) Design consideration of wing stabilized free-fall vehicles. *Deep-Sea Research*, 23, 1231-1240.

NABATOV, V.N. and V.A. RAZZHIVIN (1986) The motion of a free falling probe in a shear flow. *Oceanology*, 26, 637-640.

NIELSEN, L.P., P.B. CHRISTENSEN, N.P. REVSBECH and J. S/ERENSEN (1990) Denitrification and photosynthesis in stream sediment studied with microsensor and whole-core techniques. *Limnology and Oceanography*, 35, 1135-1144.

NIXON, W.S., C.A. OVIATT and S.S. HALE (1976) Nitrogen regeneration and the metabolism of coastal bottom communities. In: *The Role of Terrestrial and Aquatic Organisms in Decomposition Processes*, J.M. ANDERSON and A. MACFAYDEN, editors, Blackwell Science Publishers, pp. 269-283.

OPDYKE, B.N., G. GUST and J.R. LEDWELL (1987) Mass transfer from smooth alabaster surfaces in turbulent flows. *Geophysical Research Letters*, 14, 1131-1134.

PAMATMAT, M.M. and K. BANSE (1969) Oxygen consumption by the seabed. II. In situ measurements to a depth of 180 m. *Limnology and Oceanography*, 14, 250-259.

PAMATMAT, M.M. and D. FENTON (1968) An instrument for measuring subtidal benthic metabolism in situ. *Limnology and Oceanography*, 13, 537-540.

PFANNKUCHE, O. (1992) Organic carbon flux through the benthic community in the temperate abyssal Northeast Atlantic. In: *Deep-Sea Food Chains and the Global Carbon Cycle*, G. T. ROWE and V. PARIENTE, editors, Kluwer Academic Publishers, pp. 183-198.

PFANNKUCHE, O. (1993) Benthic response to the sedimentation of particulate organic matter at the BIOTRANS station, 47°N, 20°W. *Deep-Sea Research* 11, 40, 135-149.

PHILLIPS, G.R. (1980) The IOS acoustic command and monitoring system; Part I - operating principles and practices. Report 96, Institute of Oceanographic Sciences, UK.

REIMERS, C.E. (1987) An in-situ microprofiling instrument for measuring interfacial pore water gradients: methods and oxygen profiles from the North Pacific Ocean. *Deep-Sea Research*, 34, 2019-2035.

REIMERS, C.E., R.A. JAHNKE and D.C. McCORKLE (1992) Carbon fluxes and burial rates over the continental slope and rise offcentral California with implications for the global carbon cycle. *GlobalBiogeochemical Cycles*, 6, 199-224.

REVSBECH, N.P., B.B. JORGENSEN and T.H. BLACKBURN (1980a) Oxygen in the sea bottom measured with a microelectrode. *Science*, 207, 1355-1356.

REVSBECH, N.P., J. SORENSEN, T.H. BLACKBURN and J.P. LOMHOLT (1980b) Distribution of oxygen in marine sediments measured with microelectrodes, *Limnology and Oceanography*, 25, 403-411.

REVSBECH, N.P. (1989) An oxygen microsensor with a guard cathode. *Limnology and Oceanography*, 34, 474-478. RICE, A.L., M.H. THURSTON and B.J. BETT (1994) The IOSDL DEEPSEAS programme: photographic evidence for the presence and absence of a seasonal input of phytodetritus at contrasting abyssal sites in the northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research*, 41, 1305-1320.

ROWE, G., G. BOLAND, W. PHOEL, R. ANDERSON and P. BISCAYE (1995) Deep sea-floor respiration as an indication of lateral input of biogenic detritus from continental margins. *Deep-Sea Research* (in press).

RUTGERS VAN DER LOEFF, M.M., L.G. ANDERSON, P.O.J. HALL, /~. IVERFELDT, A.B. JOSEV-SON, B. SUNDBY and S.F.G. WESTERLUND (1984) The asphyxiation technique: An approach to distinguishing between molecular diffusion and biologically mediated transport at the sediment-water interface, *Limnology and Oceanography*, 29, 675-686.

SANTSCHI, P.H., P. BOWER, U.P. NYFFELER, A. AZEVEDO and W.S. BROECKER (1983) Estimates of the resistance to chemical transport posed by the deep-sea boundary layer. *Limnology and Oceanography*, 28, 899-912.

SANTSCHI, P.H., P. HOHENER, G. BENOIT and M. BUCHHOLTZ-TEN BRINK (1990) Chemical processes at the sediment-water interface. *Marine Chemistry*, 30, 269-315.

SANTSCHI, P.H., U.P. N~R, P. O'HARA, M. BUCHHOLTZ and W.S. BROECKER (1984) Radiotracer uptake on the sea floor: results from the MANOP chamber deployments in the eastern Pacific. *Deep-Sea Research* 31, 451-468.



SAYLES, F.L. (1979) The composition and diagenesis of interstitial solutions: 1. Fluxes across the seawater-sediment interface in the Atlantic Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43, 527-545.

SAYLES, F.L. and W.H. DICKINSON ( 1991 ) The ROLAI2D lander: a benthic lander for the study of exchange across the sediment-water interface. *Deep-Sea Research*, 38. 505-529.

SMITH, K.L. JR. (1978) Benthic community respiration in the NW. Atlantic Ocean: In situ measurements from 40 to 5200m. *Marine Biology*, 47, 337-347.

SMITH, K.L. JR. (1987) Food energy supply and demand: A discrepancy between particulate organic carbon flux and sediment community oxygen consumption in the deep ocean. *Limnology and Oceanography*, 32, 201 - 220.

SMITH, K.L. JR. and R.J. BALDWIN (1983) Deep-sea respirometry: In situ techniques. In: *Polarographic Oxygen Sensors*, Gnaiger and Forstner, editors, Springer-Verlag, Berlin, pp. 298-319.

SMITH, K.L. JR., C.H. CLIFFORD, A.H. ELIASON, B. WALDEN, G.T. ROWE and J.M. TEAL (1976) A free vehicle for measuring benthic community metabolism. *Limnology and Oceanography*, 21, 164-170.

SMITH, K.L. JR. and J.M. TEAL (1973) Deep-sea benthic community respiration: An in-situ study at 1850 meters. *Science*, 179, 282-283.

SMITH, K.L. JR., G.A. WHITE and M.B. LAVER (1979) Oxygen uptake and nutrient exchange of sediments measured in-situ using a free vehicle grab respirometer. *Deep-Sea Research*, 26, 337-346.

SPENCER, R., P.R. FODEN and J.M. VASSIE (1994) Development of a Multi-Year Deep Sea Bottom Pressure Recorder. In: Electronic Engineering in Oceanography, IEE Conferance Publication, 394.

STACHIW, J.D., R.P. JOHNSON and R.R. KURKCHUBASCHE (1993) Ceramics show promise in deep submergence housings. Sea Technology, 12, 35-41.

THIEL, H., K.-O. KIRSTEIN, C. LUTH, U. LUTH, G. LUTHER, L.-A. MEYER-REIL, O. PFANNKUCHE and M. WEYDERT (1994) Scientific requirements for an abyssal benthic laboratory. Journal of Marine Systems, 4, 421-439.

Tengber, A., Almroth, E., Hall, P. (2003). Resuspension and its effects on organic carbon recycling and nutrient exchange in coastal sediments: in situ measurements using new experimental technology. Journal of Experimental Marien Biology and Ecology 285-286, 119-142.

THOMSEN, L., G. GRAF, V. MARTENS and E. STEEN (1994) An instrument for sampling water from the benthic boundary layer. Continental Shelf Research, 14, 871-882.

VANGRIESHEIM, A. and A. KHRIPOUNOFF (1990) Near-bottom particle concentration and flux: temporal variations observed with sediment traps and nephelometer on the Meriadzek Terrace, Bay of Biscay. Progress in Oceanography, 24, 103-116.

WEHRLI, B., C. DINKEL and N. URBAN (1994) Benthic flux chamber measurements of boundary layer mineralization in an eutrophic lake. Aquatic Sciences, (submitted).

WEISS, R.F., O.H. KIRSTEN and R. ACKERMAN (1977) Free vehicle instrumentation for the in-situ measurements of processes controlling the formation of deep-sea ferromanganese nodules. Oceans'77 Conference

Record, 44D, Marine Technology Society and Institute of Electrical and Electronics Engineers.

VAN DEN VLEHBERT, H.H. and N.F. DE ROOIJ (1988) ISFET, Ion Sensitive Field Effect Transistor for pH measurements. Design, fabrication and characterisation. Analysis, 16, 110-119.

ZETIZSCHEL, B. and J.M. DAVIS (1978) Benthic growth chambers. Rapport P.-V. Reunion Conseil International pour Exploration de la Mer, 173, 31-42.