

해류계 계류에 의한 해류관측: 천해계류

항상철* · 장경일 · 석문식 · 장영석
한국해양연구원 해양환경 · 기후연구본부

Moored Current Observation: Shallow-Water Mooring

SANG-CHUL HWANG, KYUNG-IL CHANG, MOON-SIK SUK AND YOUNG-SUK JANG
Marine Environment and Climate Change Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

한국해양연구원에서는 1978년 이래 해류계 계류에 의한 해류관측을 실시하였다. 본 단보에서는 한국 주변의 연안역과 대륙붕해역에서 시도하였던 계류 형태와 계류 실패 사례를 소개하고자 한다. 천해역에서는 U-type 계류와 트롤방지 해저 계류장치를 이용한 해류관측 방법이 주로 이용되었다. 천해역에서 계류 실패를 피하기 위해서는 (1) 어로활동을 포함한 계류현장의 환경을 고려하여 적절한 계류 계획을 세워야 하며 (2) 계류기간과 수심 및 기타 예기치 않게 계류선에 영향을 줄 수 있는 제반 요인 등을 고려하여 적절한 계류용품이 사용되어야 한다.

Korea Ocean Research and Development Institute (KORDI) has attempted moored current measurements since 1978. This note describes mooring types and failures of moorings deployed in coastal and continental shelf regions around Korea. Taut-wire U-type mooring lines and trawl-resistant bottom mounts have been mainly used in shallow seas. In order to avoid the failure of moorings in the shallow seas, it is needed to (1) design a proper mooring plan considering local mooring environments including fishing activities and (2) use adequate mooring equipments and parts considering mooring period, depth, and other factors that could affect the mooring unexpectedly.

Key words: Current measurements, U-type mooring, Trawl-resistant bottom mount, Mooring design, Mooring failure

서 론

해양현상은 시·공간적인 변동성이 크기 때문에 연구해역에 대한 정확한 자료의 수집은 가장 기본이 되는 필수조건이다. 이를 위해서는 현장에서의 정확한 관측과 분석을 위한 노력이 요구되며, 특히 연구의 목적과 현장조건에 알맞은 관측방법과 장비가 선정되어야 한다.

한국해양연구원에서는 1978년 9월부터 원자력발전소 건설지역 주변 해·조류와 해양특성 관측 등을 위해 자동기록 해양장비인 해류계(RCM: Recording Current Meter, Aanderaa Model 4)를 도입하여 해류계 계류에 의한 해류 관측을 시작하였다(전, 1981). 해류계 계류에 의한 해류 관측은 1980년대 초부터 본격적으로 실시되었으며 대체로 수심이 200 m 이하인 천해역에서 주로 U-type 계류형태가 대부분이었다. 최근에는 황해 및 남해의 천해역에서 트롤어선으로부터 보호될 수 있는 트롤방지 해저 계류장치(TRBM: Trawl-Resistant Bottom Mount, 한국해양연구소, 1999)에 초음파 해류계(ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler)를 장착하여 해류관측을 시도하고 있다(한국해양연구원, 2002).

다양한 해역에서 성공적인 해류관측을 위해서는 계류현장의 여건을 파악하여 적절한 방법으로 장비를 계류하여야 한다. 국내의 수중계류 기술도 경험이 거듭될수록 점차 향상되고는 있으나 계류장비의 회수율은 어로작업에 의한 인위적인 요인, 계류기술의 미비, 계류해역의 특이 환경 등으로 인하여 아직 만족스러운 수준은 아니다. 본 논문에서는 한국해양연구원에서 수행되었던 천해에서의 계류형태를 소개하고 계류장비 회수의 실패 원인을 분석하여 향후 귀중한 자료와 장비가 분실되는 것을 막기 위한 개선책을 제시하고자 한다.

계류형태 및 사례 소개

계류선에 의한 해류관측

천해에서의 해류관측은 전통적으로 대부분 계류선을 이용한 방법이 사용되어 왔다. 어로작업이 왕성한 천해역에서의 계류선에 의한 해류관측은 어로작업에 의해 계류선이 손상되어 해류관측이 실패하는 경우가 많은 편이므로 최근에는 계류선이 없는 TRBM-ADCP를 사용하여 장기관측이 시도되고 있지만, 계류선에 의한 해류관측은 아직까지 많이 이용되고 있다. 어로작업이 활발하고 조류가 강한 천해에서 계류선에 의한 해류관측의 경우 크게 두 가

*Corresponding author: schwang@kordi.re.kr

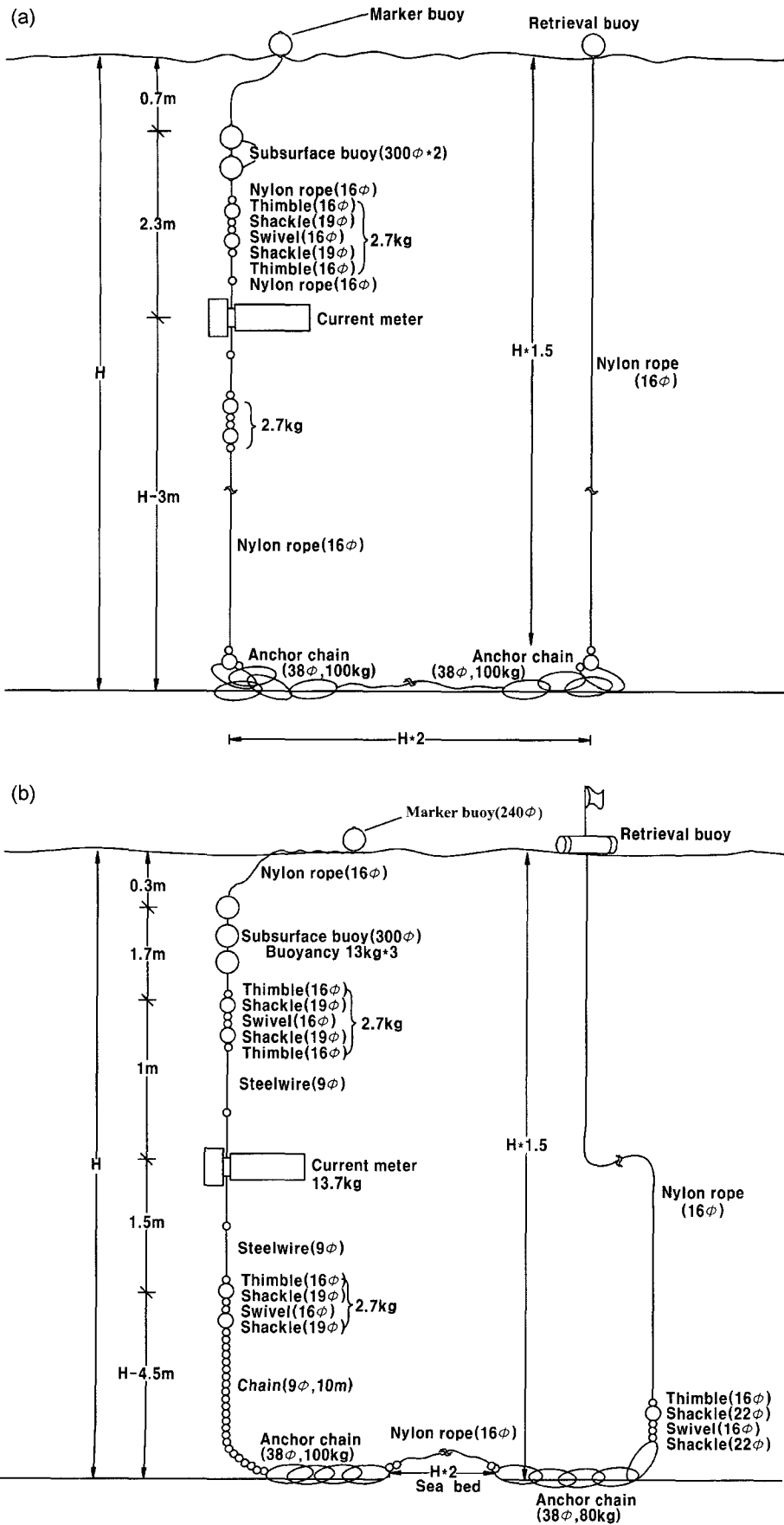


Fig. 1. (a, b) Examples of U-type mooring used in shallow seas.

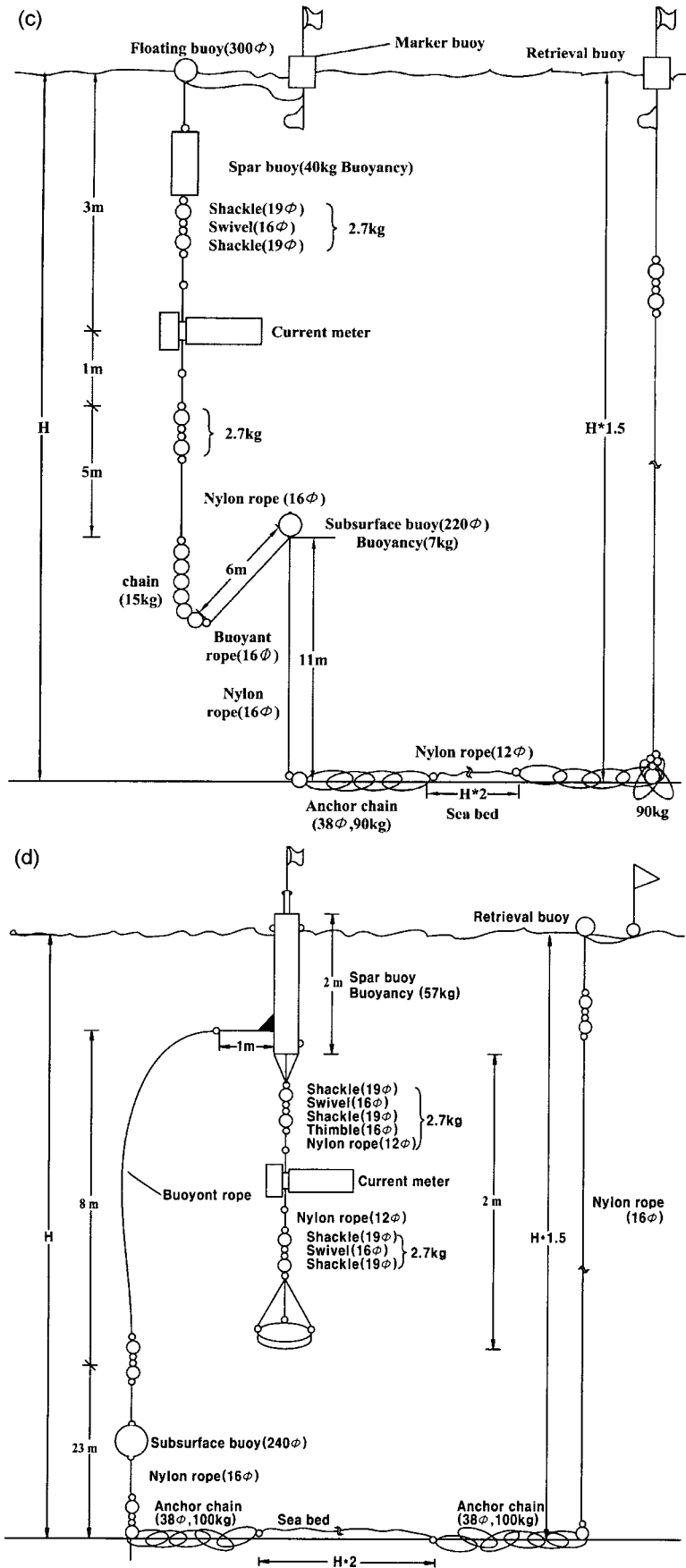


Fig. 1. (c, d) Contd.

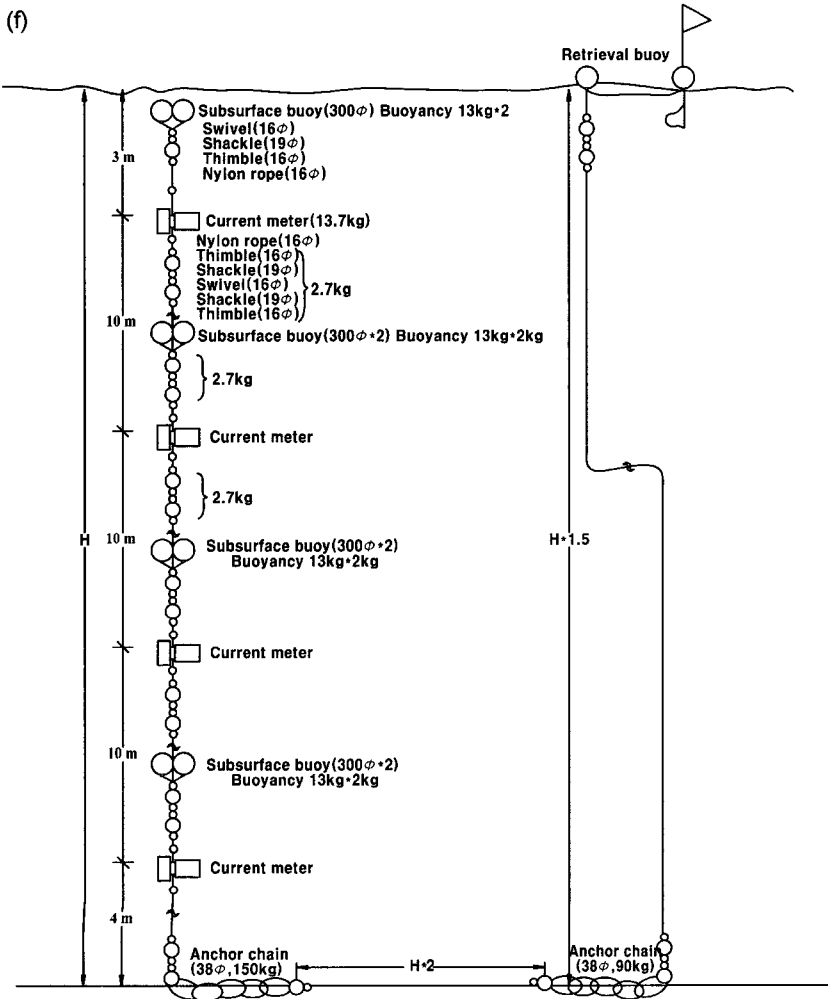
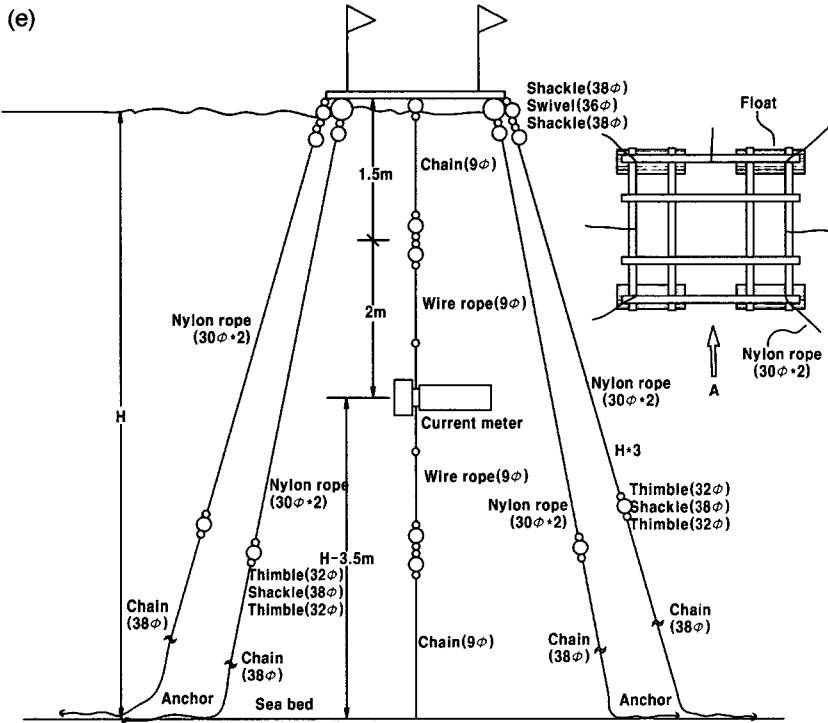


Fig. 1. (e, f) Contd.

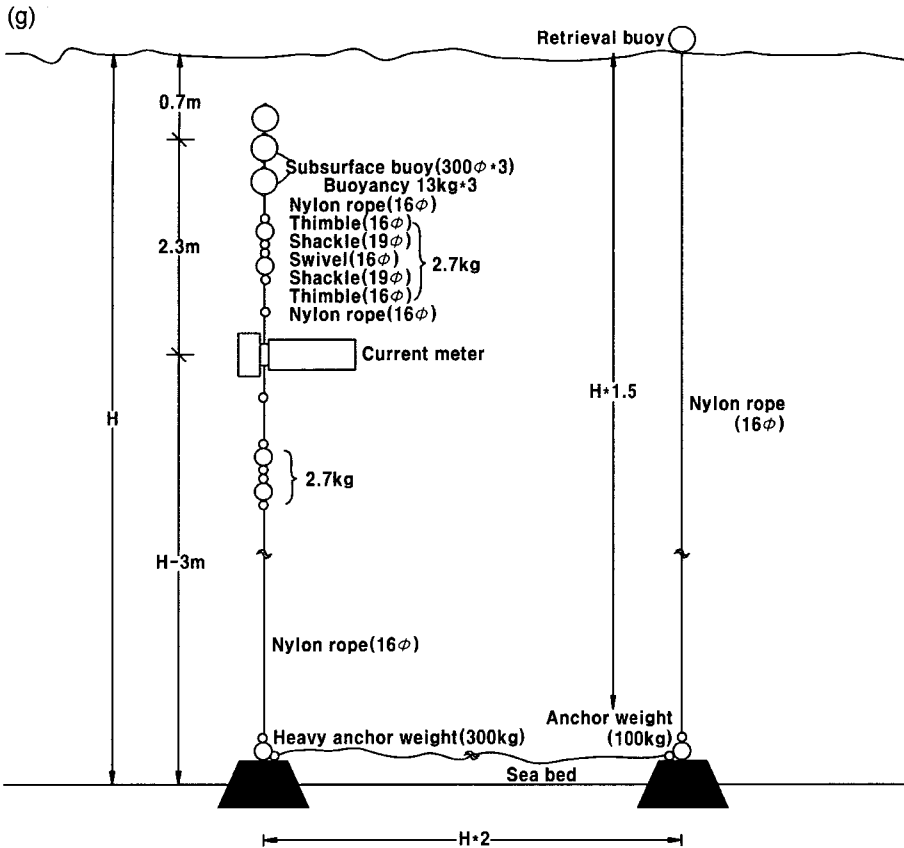


Fig. 1. (g) Contd.

지를 중요하게 고려하여야 한다. 첫째는 어로작업에 의한 계류선 손상을 방지하여야 하며, 둘째는 장기 계류의 경우 계류선이 관측 기간동안 안전하게 유지되어야 하고 계류선에 부착한 해류계의 수심변화가 최소화되도록 하여야 한다. 위의 두 가지를 고려하여 철심으로 보강된 굵은 로프와 큰 중량의 weight 및 대형 철제부이로 구성된 계류선을 사용하는 경우도 있으나, 이 경우 계류선 수중 설치를 위하여 대형선박이 동원되어야 하고 계류선 제작에 비용이 많이 들며 계류선 설치 및 회수가 용이하지 못하다. 대부분 천해계류에 있어 소형어선을 사용하는 경우가 많으므로 본 논문에서는 소형선박을 이용한 천해계류를 기본적으로 상정하였다. 이 경우 어로작업에 의한 계류선 손상은 계류선 설치 부근 해역의 조업현황을 파악하고 대어민 홍보 등을 통해 최소화 할 수 있을 것이다.

계류방법: 계류선을 이용하여 해류계를 수중에 계류하는 형태에는 U-type과 I-type이 있으며, U-type은 천해에 그리고 I-type은 심해에 적합한 계류형태이다(Berteaux, 1976). 한국해양연구원에서 두 가지 형태를 현장에 알맞게 선택하여 사용하여 왔으며, 천해역에서는 다양한 형태의 U-type 계류 방법을 주로 사용하였다.

1978년 고리 원자력발전소 후보지 주변조사를 시작으로 부구, 영광 등 수심이 얇은 연안에서 수행된 해류관측에서는 다양한 U-type 계류 방법이 사용되었다(Figs. 1a~1g). U-type은 관측장비가 부착된 주 계류선과 계류선 위치 표시와 회수를 위한 보조계류선으로 이루어져 있고 두 계류선은 해저면에 깔리는 바닥줄(ground rope)과 서로 연결된다. U-type 계류는 수심에 따라 현장에서 계류선 수정작업이 용이하고 음파분리기가 없이 회수가 가능하며 표

시 부이가 망실되는 경우에도 수색용 갈퀴(Fig. 2)를 이용한 수색 작업을 통해 해저면에 깔린 바닥줄을 걸어 장비를 회수하는 것이 가능하다.

Fig. 1a와 1b는 계류방법이 유사하며 Fig. 1a의 경우 보조계류선과 주 계류선 표층에 플라스틱 부이(Φ300)를 사용한 반면에 Fig. 1b에서는 회수선 상단에 플라스틱 부이를 연결하는 대신 300l 용 스티로폼 부이에 깃발을 달아 계류선의 식별을 보다 용이하게 하였다. 다른 차이점은 Fig. 1b에서 바닥줄로 사용된 Φ38 anchor chain과 주 계류선의 연결부분에 Φ9 chain을 사용한 점인데 이는 황해와 같이 조류가 강한 해역에서 바닥줄과 주 계류선의 연결부분이 마모되는 것을 방지하기 위해서이다. Fig. 1c와 1d 역시 계류형태가 유사하며 조차에 의해 수심이 변하더라도 해면으로부터 해류계의 수심이 일정하게 유지될 수 있도록 고안된 계류방법이다. 이를 위하여 그림에서와 같이 해류계가 연결된 주 계류선 상단과 하단 사이에 여분의 로프를 주는 관계로 바닥줄을 넉넉히 주지 않을 경우 계류선 상단 부분이 사방으로 움직이면서 주 계류선과 보조계류선이 엉킬 위험성이 있다. Fig. 1e는 어로작업 등으로 인하여 계류선의 손상이 클 것으로 우려되는 해역에서 통나무를 뗏목처럼 엮어 사방에 chain으로 고정하고 뗏목 형태의 중앙에 주 계류선을 설치하는 방법이다. 이 방법은 계류선 설치와 회수에 어려움이 있고 비용이 많이 드는 단점이 있는 반면에 계류선 손상의 위험은 다른 방법에 비해 적다. Fig. 1f와 1g는 천해 계류의 경우 사용되는 가장 일반적인 방법으로 해류계의 수심 변화를 최소화하기 위하여 주 계류선 상단의 부력재를 표층 아래에 위치하



Fig. 2. Various types of hooks used for searching for ground ropes when surface marker buoys are lost in U-type moorings.

도록 하는 방법이다. 이 방법은 주 계류선 부이가 해수면에 떠 있도록 고안된 다른 방법에 비해 자료의 질적인 향상을 꾀할 수 있지만 보조부이가 유실 될 경우 계류선 위치 파악은 상대적으로 어렵다. Fig. 1에 나타낸 방법 외에도 계류방법은 여러 형태로 변형이 가능하며, 어떠한 계류방법을 선정하는가의 결정은 조사지점의 조업현황, 해·조류의 세기나 계류 기간 및 계류지점의 수심 등을 고려하여 신중하게 결정하여야 한다.

계류선 부품의 선정: 1970년대 말부터 1980년대 해류관측 초창기에는 계류선으로 굵기가 $\Phi 18$ 인 나일론 로프를 주로 사용하였으나, 강한 장력에 견딜 수 있도록 굵은 로프를 사용할 경우 계류선에 작용하는 저항이 커지므로 유속이 강한 해역에서는 계류수심의 변화가 큰 단점이 있다. 1996년부터는 굵기가 얇아 수중

에서 저항을 덜 받고 인장력이 강하며 다루기 쉬운 미국 듀폰사의 phillystran 로프(혹은 kevlar 로프)를 일본 Matsumoto Kosan사에서 수입하여 사용한 경우도 있다. 천해에서 phillystran 로프를 사용할 경우 가격이 비싼 단점 외에 fish bite로 인하여 계류선이 절단될 수 있는 위험성이 있다. 최근에는 계류선으로 $\Phi 16$ - $\Phi 22$ 의 피피 로프(Polypropylene Rope)를 많이 사용하고 있으나 피피 로프의 경우 부식의 우려는 없지만 나일론 로프와 마찬가지로 해류가 강한 해역에서 계류선에 미치는 저항이 큰 단점이 있다. Steel wire는 부식에 약하지만 계류선에 미치는 저항을 줄이고 가격이 저렴하며 인장력이 큰 장점이 있다. 한국해양연구원에서는 주로 심해 계류의 경우 직경이 작은 steel wire($\Phi 8$)에 부식 방지를 위해 비닐코팅 처리된 것을 계류선으로 사용한다. 그러나 비닐코팅



Fig. 3. Surface marker buoys used in U-type moorings.

한 부위에 흠집이 생기면 steel wire가 쉽게 부식되므로, 선상에서 계류선을 다룰 때와 계류선을 설치할 때 로프가 꼬이거나 비틀리지 않도록 주의할 하여야 한다.

U-type 계류의 경우 장비의 분실을 최소화하고 계류선 회수와 계류위치 표시를 위하여 다양한 모양의 표시부이가 사용되었다 (Fig. 3). 보조계류선 상단에 부착되는 표시부이는 400 l용 스티로폼 부이가 주로 사용되었다. 표시부이로 사용되는 스티로폼 부이는 조업 시 사용하는 부이와 동일하여 때로는 조업활동에 의해 인위적으로 부이가 분실되거나 트롤어선의 어망에 걸려 계류선이 다른 장소로 이동됨으로써 장비를 회수하지 못한 경우가 종종 있었다. 또한 계류선의 길이가 충분치 않음으로 인하여 황해와 같이 조류가 강한 곳에서는 표시부이가 수중으로 끌려 들어감으로서 수압에 압축되어 표시부이 역할을 하지 못하는 경우도 있었다. 이러

한 문제점을 보완하기 위하여 Fig. 3(왼편 상단)의 사진에서와 같이 길게 생긴 공군 전투기 오일탱크를 개조하여 표시부이로 사용한 경우가 있다. 최근에는 외부충격으로 인하여 부이 자체에 구멍이 나더라도 가라앉지 않도록 하기 위하여 부이 내부에 부력재 (Urea Foam)를 주입한 팽이모양의 철제부이(Fig. 3의 왼편 하단)를 주문 제작하여 사용하고 있다. 운반과 설치가 용이한 팽이 모양의 철제부이 중앙에는 철봉을 끼워 깃발과 함께 야간에 어로작업 또는 항해하는 선박이 3마일 거리에서도 계류선을 식별할 수 있도록 약 5초 간격으로 점멸하는 깜박등을 장착한다.

수중에서 계류선을 수직으로 유지하기 위하여 사용되는 수중 부력제도 다양한 종류가 사용되었으며, 최근에는 $\Phi 300$ 국산플라 스틱 부이가 주로 사용되고 있다. 플라스틱 부이는 다수의 부이를 로프로 연결하거나 조립된 앵글에 부이를 고정하여 계류선에 연결한다.



Fig. 4. Various types of weights used in U-type moorings.

계류선을 고정점에 유지하는 weight는 통 쇠를 절단하여 육면체 모양으로 만들었으나 소형어선을 이용하여 현장에서 계류작업을 수행할 경우 선상에서 300 kg의 weight를 다루는 것이 매우 어려운 점이었다. 현재는 소형선박에서도 계류작업이 용이하도록 무게 50 kg정도로 절단한 $\Phi 38$ 체인 여러 개를 묶어 weight로 사용한다(Fig. 4). 유속이 강한 해역에서는 계류선이 측면으로 끌리는 것을 방지하기 위하여 약 20 kg 정도의 anchor를 weight와 함께 사용한다.

계류선과 장비를 연결하거나 짧은 계류선 다수를 연결할 때에 사용하는 shackle은 나사 핀 모양의 shackle을 주로 사용하였는데 이 경우 나사가 부식되어 핀이 빠진 경우가 있었다. 현재는 둥근 모양의 anchor shackle로 bolt-nut 끝단에 반드시 cotter pin이 있는 shackle을 사용한다. 일반적으로 심해보다 해·조류가 강한 천해에서 심한 부식으로 인하여 shackle의 bolt-nut가 빠져 해류관측이 실패할 경우가 많기 때문에 screw bolt를 사용하는 것이 안전하다고 알려져 있으나, screw bolt의 경우도 틈 사이가 심하게 부식되는 현상이 나타났다(Fig. 5). 계류선 연결부분에 shackle과 shackle을 연결할 경우 shackle의 부식으로 인한 계류선의 절단을 방지하기 위하여 반드시 동일한 재질의 shackle을 사용하고 bolt-nut 끝단에는 stainless steel 핀을 꽂아 나사가 마모되어 nut가 빠져나가지 못하게 하여야 한다. 한국해양연구원에서는 주로 미국 Crosby사의 shackle과 네덜란드 제품인 Green pin사의 shackle을 혼용하여 사용하고 있으며, 현장 경험과 시험 결과 Geenspin사의 shackle이 Crosby사의 shackle에 비해 부식 정도가 덜 하였다. 구입한 shackle은 아연도금(galvanized)을 하고 계류선 사용 전 테이핑을 하며, 순도가 높은 zink를 계류선의 shackle 주변에 달아 shackle의 부식을 최소화하도록 노력하여야 한다.

계류선의 서로 다른 두 부분 또는 그 이상이 하나의 축으로 연결되어 있지만 한 부분의 회전력이 다른 부분에 전달되지 않도록 하기 위하여 계류선 연결 부분에는 swivel을 달며, 이때 swivel은

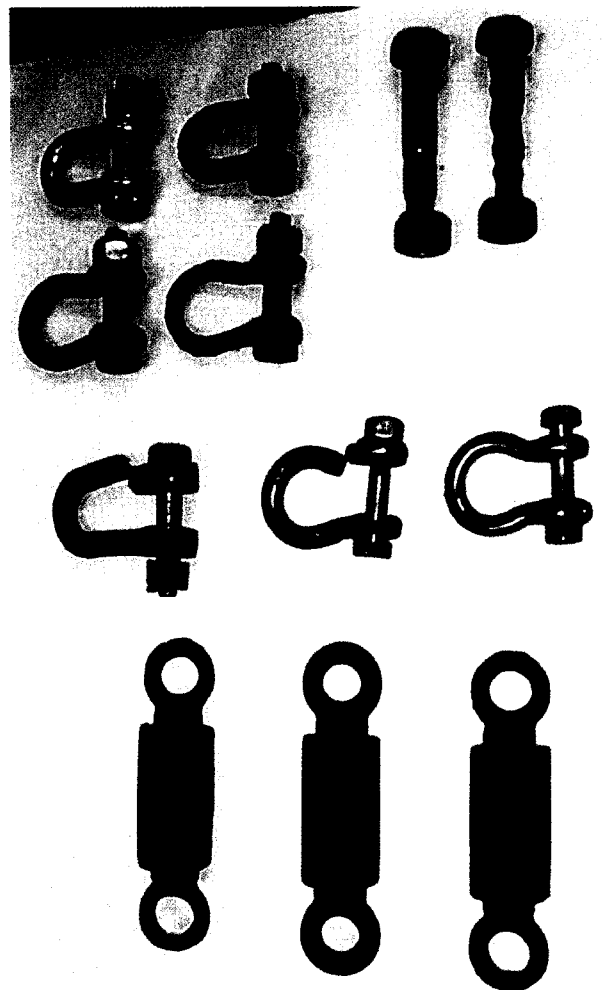


Fig. 5. Corroded chain, bolt, shackles, and swivels found after the recovery of mooring lines.

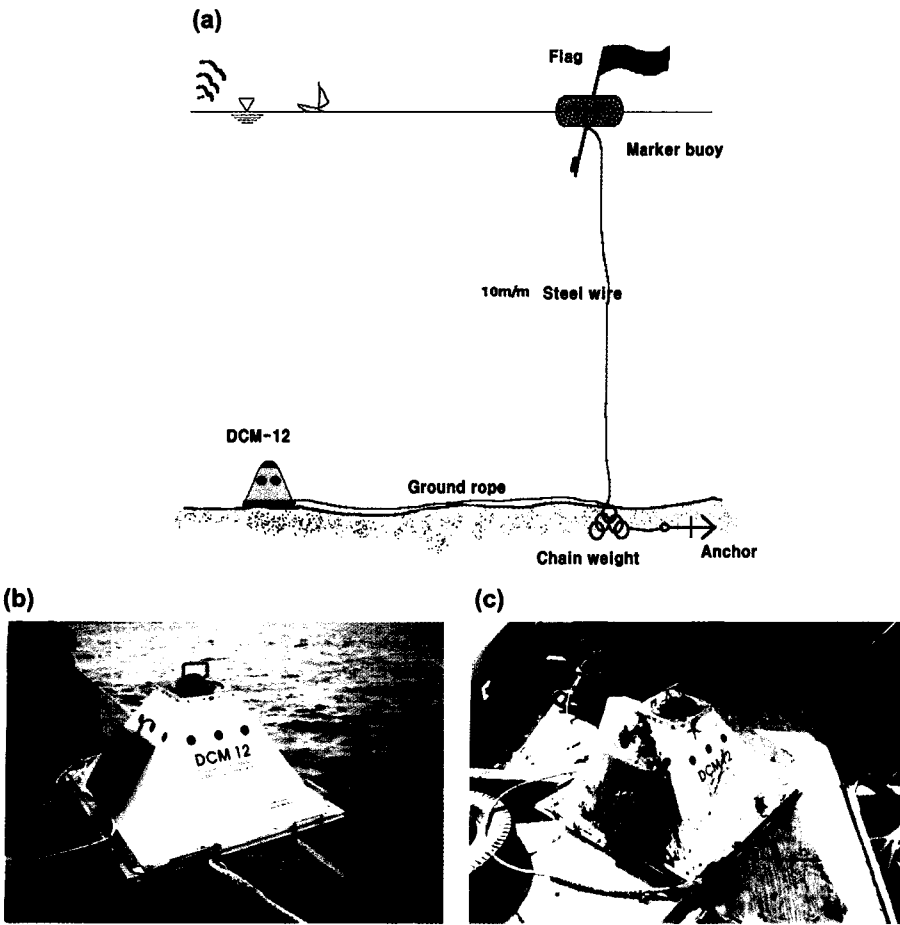


Fig. 6. (a) A mooring design for the deployment of DCM-12 and its frame. (b) DCM-12 and its frame before the deployment and (c) after the recovery.

계류선에 미치는 비틀림의 영향을 제거 또는 감소시킨다. 초창기에는 bearing이 들어 있지 않은 swivel을 사용하였는데 계류선이 짧았던 관계로 swivel이 얼마나 효과가 있었는지는 알 수가 없다. 현재는 oil이 채워져 있거나 bearing이 들어 있는 일본 RIGO사 제품을 수입하여 사용하고 있으나 가격이 비싸 차츰 국산으로 바뀌어 가고 있는 추세이다.

해류계의 선정: U-type 계류에 있어 계류선에 장착하는 해류계는 Doppler 효과를 이용한 음파식 해류계와 rotor와 vane을 이용하는 기계식 해류계의 두 가지가 있다. 국내에서 가장 많이 사용되는 Aanderaa사 해류계의 경우 기계식 해류계로는 RCM 7이 있으며 음파식 해류계로는 RCM 9이 있다. RCM 9은 한 층의 해류만을 측정하는 반면에 역시 음파식 해류계인 동사의 DCM 12는 조위, 파고와 함께 수직적으로 50 m 범위 내 6개의 층에서 해류 관측이 가능하다.

RCM 7과 RCM 9은 주 계류선에 연결하여 사용하는 반면에 DCM 12는 주 계류선 없이 DCM 12 계류를 위한 프레임에 사용하여 수중에 계류한다(Fig. 6). DCM 12를 위한 프레임은 피라미드 형태로 가로, 세로 0.96 m에 높이가 0.5 m이고 공기중에서의 무게는 약 32 kg이다. DCM 12의 계류는 일반적인 U-type 계류와 동일하게 프레임을 먼저 수중에 투하 후 바다줄을 깔고 표시부이 투하 후 최종적으로 보조 계류선에 부착된 weight를 수중에 투하한다. 계류 시에는 프레임이 수중에서 뒤집어지지 않도록 주의를

기울여야 하며, DCM 12는 프레임 상단 gimbal에 끼워 해류계가 수중에서 항상 수직상태를 유지할 수 있도록 하여야 한다.

Aanderaa사 해류계의 유속, 유향의 정밀도를 비교해보면 유향은 DCM 12가 비교적 정확하며 RCM 7과 RCM 9의 경우에는 측정된 유속과 계류선에 부착된 해류계 경사 정도에 따라 5~7.5°로 크다(Table 1). 유속의 경우에는 RCM 9이 비교적 정확하며, DCM 12의 정밀도가 가장 떨어진다. 참고로 유속이 150 cm/s인 해역에서의 정밀도는 RCM 7이 3 cm/s, RCM 9이 1.5 cm/s이며, DCM 12의 경우에는 측정수심 설정에 따라 최대 3 cm/s로 나타난다.

음파식 해류계는 vane과 rotor가 없는 관계로 기계식 해류계에 비해 상대적으로 다루기가 간편하며 유속의 정밀도가 높고 부착생물에 의한 영향이 적은 장점이 있다. 또한 기계식 해류계의 경우 유속이 미약한(<2 cm/s) 경우 측정범위를 벗어나는 반면에 음파식 해류계로는 정확한 측정이 가능하다. 현재 선진국에서는 음파식 해류계를 이용한 차세대 계류시스템 개발을 준비 중이다(Frye et al., 2002). DCM 12는 RCM 9에 비해 유속의 정밀도는 떨어지는 반면에 유향의 정밀도는 높으며, 유속 측정범위가 RCM 9에 비해 넓어 조류가 3 m/s 이상 5 m/s 미만인 천해역의 해류 관측의 경우에 유용하다. 또한 다층 해류관측이 가능한 장점이 있지만, 고가의 전용 건전지 pack이 필요하고 퇴적물이 DCM 12의 프레임 내에 집적됨으로써 해류관측에 지장을 초래할 수 있는 단점이 있다.

부착생물의 영향: 천해역에서 해양생물 성장이 왕성한 여름철

Table 1. Specifications of Aanderaa current meters

Current-meters	Methods	Speed		Direction	
		Range	Accuracy	Accuracy	
RCM 7	Rotor and vane	2~295 cm/s	± 1 cm/s or $\pm 2\%$ of actual speed	$\pm 5^\circ$ for speeds 5~100 cm/s, $\pm 7.5^\circ$ for speeds 2.5~5 cm/s and 100~200 cm/s	
RCM 9	Single-layer Doppler effect	0~300 cm/s	± 0.5 cm/s or $\pm 1\%$ of actual speed	$\pm 5^\circ$ for tilts 0~15°, $\pm 7.5^\circ$ for tilts 15~35°	
DCM 12	Multi-layer Doppler effect	0~500 cm/s	± 1.5 ~ ± 3 cm/s or $\pm 1\%$ of actual speed	± 2 depending on depth setting	

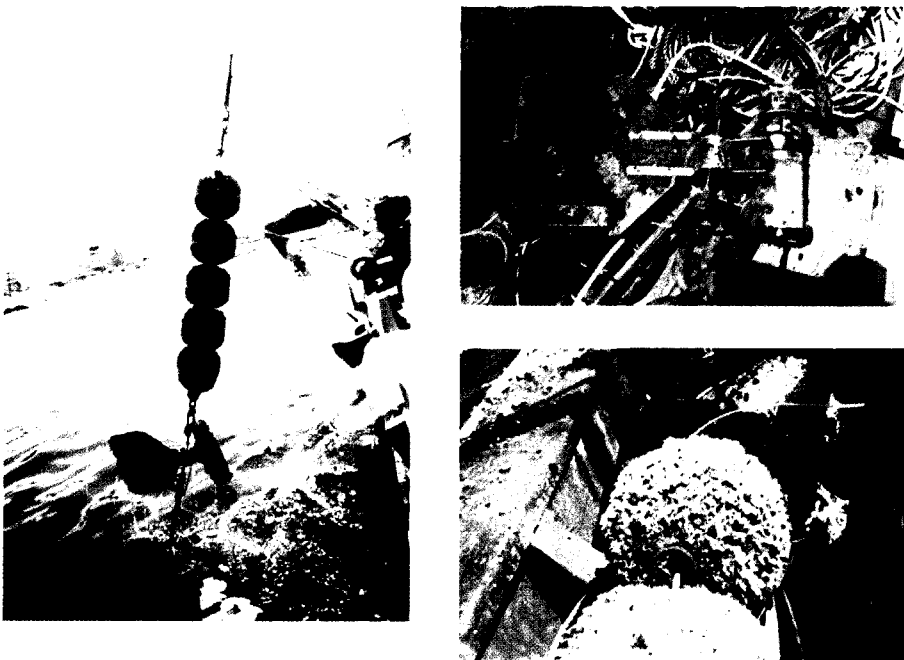


Fig. 7. Current meter and plastic buoys covered by marine organisms.

에 rotor와 vane을 이용하는 기계식 해류계를 U-type으로 계류하는 경우 부착생물에(biofouling) 의해 rotor의 회전이 중지됨으로써 해류관측이 예정 기간 동안 이루어질 수 없는 경우가 있다.

황해 천수만 보령화력 발전소 근해 수심 약 25 m인 해역에 두 대의 기계식 해류계를 수심 10 m와 19 m에 달아 1998년 7월 16일부터 8월 22일까지 U-type 계류에 의한 해류관측을 실시하였으며(한국해양연구소, 2000), 계류선 회수 후 확인 결과 하층 해류계와 해류계 상단에 연결한 plastic 부이에 부착생물이 많이 붙어 있었고 이로 인하여 해류계 rotor가 작동치 않는 상태였다(Fig. 7). 자료 분석 결과 상층 해류계는 회수 직전까지 자료가 양호하게 기록된 반면 부착생물이 많이 붙었던 하층 해류계는 관측 실시 후 25일째부터 유속 기록이 중단되었다.

음파식 해류계의 경우 기계식 해류계에 비해 부착생물에 의한 영향이 적은 것이 확인되었다. Fig. 7의 경우와 동일한 천수만 해역에서 기계식 해류계를 사용한 같은 기간 중 음파식 해류계(DCM 12)를 이용한 경우에는 36일에 걸친 계류 관측 후 계류선을 회수하여 점검한 결과 해류계 transducer의 표면에 부착생물이 붙어있지 않았으며(Fig. 6), 기록된 자료를 분석한 결과 전 관측기간 동안 6개의 층에서 양질의 자료가 기록되었다(한국해양연구소, 2000). 그러나 DCM 12 프레임 내부에 펄이 프레임의 중간 부위까지 차

있었으며, 보다 장기간에 걸친 계류를 하였을 경우 프레임 전체가 펄에 파묻혔을 가능성이 있다.

부착생물에 의한 영향을 최소화하거나 방지하기 위하여 환경친화적인 유기독성 계열의 antifouling 페인트를 사용하거나 방수 왁스를 사용하는 방법이 있다. 한국해양연구소에서는 antifouling 페인트나 왁스 등을 사용한 경우는 없었으며, 이러한 페인트나 왁스를 기계식 해류계의 rotor와 vane 혹은 음파식 해류계의 transducer에 사용할 경우 이로 인한 측정 오차가 발생하는지의 여부를 시험할 필요가 있다.

트롤방지 해저 계류장치(TRBM)에 의한 해류관측

1997년부터 한국해양연구원에서는 천해에서 계류선 없이 해류를 측정 할 수 있는 TRBM-ADCP를 사용하기 시작하였다. TRBM-ADCP는 초음파를 이용하여 다층에서의 해류를 측정하는 ADCP와 ADCP를 장착하는 반구형 또는 피라미드 모양의 TRBM으로 이루어져 있다(Fig. 8). 트롤피해 방지를 위한 TRBM은 기본적으로 부력재(pop-up 부이) 부분과 weight 부분으로 이루어져 있으며, 두 부분은 TRBM내에서 회수선에 의해 연결된다. 부력재 부분에는 장비 회수 시 부이와 weight를 분리시켜 주는 역할을 하는 AR (Acoustic Release)이 장착된다. TRBM은 계류 시 자체의 하중으

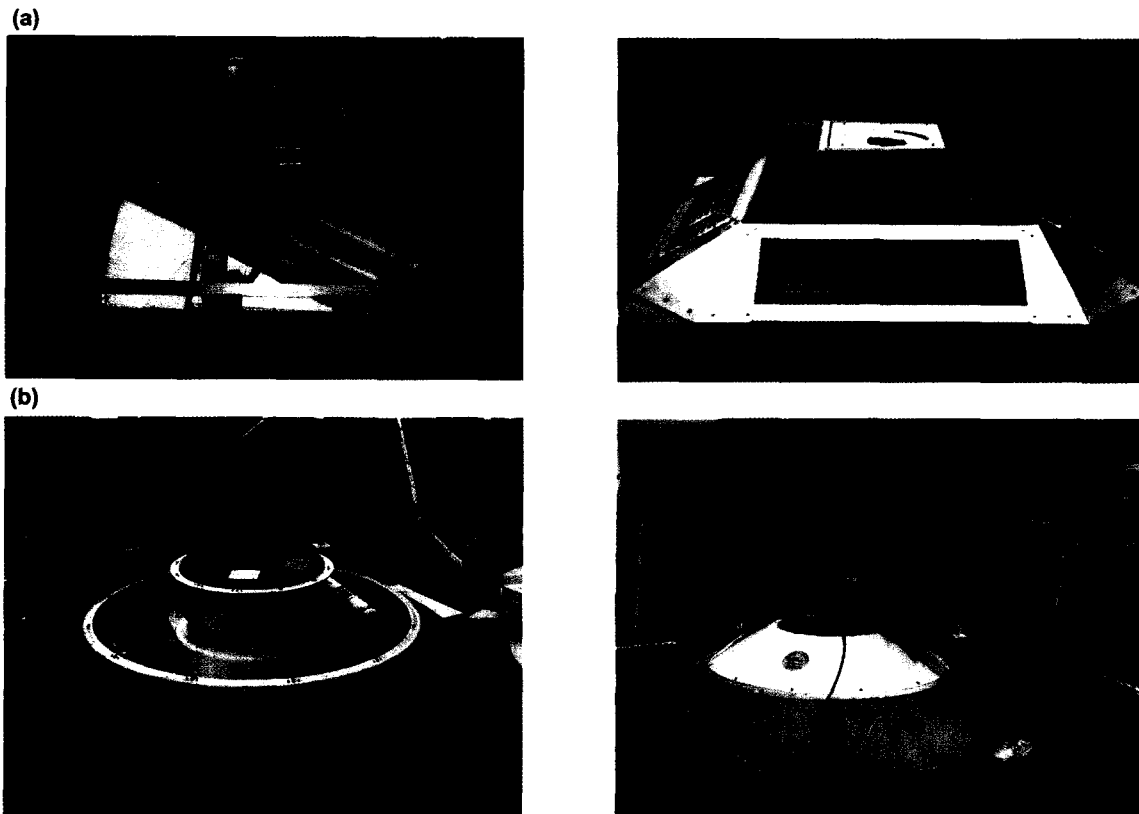


Fig. 8. (a) TRBM made by Flotation Technology, and (b) Barny TRBM of PRO.TE.C.O.SUB.

로 인해 해저면에 가라앉으며, 회수 시에는 AR 신호에 의해 부력재와 weight가 분리되면서 weight와 연결된 회수선과 함께 부력재가 표면으로 상승하고 해저면에 남게 되는 weight는 회수선을 이용하여 회수한다. 한국해양연구원에서는 TRBM에 장착하여 해류를 측정하는 ADCP로서 RDI사의 WHS 모델을 주로 사용하였다. RDI사의 WHS ADCP는 3종류(1200 kHz, 600 kHz, 300 kHz)가 있으며 한국해양연구원에서는 최대 관측수심이 126 m인 300 kHz를 주로 사용하고 있다. 300 kHz ADCP의 경우 최대 128개 층의 유속을 동시에 측정할 수가 있다.

국내에서는 TRBM을 최초 미국(Mooring Systems Inc. & Flotation Technologies, Inc.)에서 도입하여 사용하기 시작하였다. Flotation Tech사의 TRBM은 상부가 평평한 피라미드 형태이며 (Fig. 8a) 부력재 내에 ADCP와 AR이 장착되고 계류 시 선상에서 TRBM을 자유낙하 시켜도 부력재의 부력으로 인하여 해저면에 정상적으로 착저하는 장점이 있다. 그러나 TRBM을 설치할 때 충격으로 인하여 weight 역할을 하는 사각형 프레임이 약간이라도 찌그러질 경우 AR이 작동하더라도 부력재가 weight로부터 분리되지 않는 단점이 있다. AR은 통상 2개를 장착할 수 있게 되어 있으며, 두 AR 모두 부력재와 weight를 분리시키는 역할을 한다.

Table 2는 한국 주변해역에서 일부 보고된 Flotation Tech사의 TRBM 운용 결과를 보여준다. 총 13회 중 6회에 걸쳐 장비 회수에 실패하였으며 2회만이 정상적으로 AR을 이용하여 TRBM-ADCP가 회수되었다. 13회 중 2회는 AR의 release가 작동치 않아 ROV(Remotely Operated Vehicle)나 side scan sonar로 장비 위치

확인 후 잠수부에 의해 장비가 회수되었고 1회는 Fig. 6과 같이 U-type으로 계류하여 AR 작동이 아닌 회수선에 의해 장비가 회수되었으며 2회는 ADCP와 AR이 내장된 부력재만 회수되고 TRBM 본체는 회수하지 못하였다. 장비 회수의 실패 요인은 1) 해상상태가 좋지 않았을 때 회수 도중 회수선의 절단, 2) AR의 작동문제, 3) TRBM 계류 시 충격으로 인한 프레임의 일그러짐 및 4) TRBM 내부의 퇴적물 집적으로 인한 작동 불량 등이었다. 위의 요인 중 1), 3), 4) 항목은 해상상태가 좋은 상황에서 장비를 회수하고, TRBM을 설치할 때 프레임에 충격이 가해지지 않도록 유의하며 TRBM을 설치하기 전에 해저퇴적물 상태를 확인하는 등의 노력으로 문제점을 해결할 수 있으며 2)의 경우는 장비 선정에 있어 신중해야 함을 교훈으로 남겼다.

관측 종료 후 장비 회수를 위하여 TRBM 내에 장착하는 AR로는 초창기부터 최근까지 미국 EdgeTech사에서 개발한 천해용 AR인 AM 모델(AM-200과 AMTR-200)을 사용하였으나, Table 2에서 나타난 바와 같이 AR 작동불량으로 인하여 장비를 회수하지 못한 경우가 다수 발생하였다. 특히 AM 모델은 실험실에서의 사전 시험에서도 release 되었다는 신호는 발신하지만 실제로 release 되지 않는 경우가 여러 번 관찰되어 매우 불안정한 작동 상태를 보였으며, 수중에서 장기간 사용할 때 부품이 부식되는 문제점이 노출되었다(Fig. 9). AM 모델의 이와 같은 문제점은 한국해양연구원을 비롯한 국내의 연구기관과 미국의 연구기관에서 제기되었다. 최근에 EdgeTech사는 문제점이 제기된 AM 모델의 생산을 중단하고, 성능 개선과 문제점이 보완된 천해용 AR인 CART(Coastal

Table 2. Summary of operation results of trawl-resistant bottom mount made by Flotation Technologies

Cases	Deployment periods	Deployment location	Total depth	Number of ARs used	Recovery	Reason for the failure	Remarks
1	'97/6/9-97/8/	34°29.98N, 124°30.01'E		AM #1	failure	unidentified	
2	'97/6/9-97/8/	33°01.20N, 125°35.00'E		AM #1	failure	unidentified	
3	'98/4/24-98/4/ 29	33°33.17N, 125°39.17'E		AM #2	Only pop-up buoy recovered	Recovery line cut during the recovery	Rough sea state during the recovery.
4	'98/8/15-98/9/	34°14.10N, 124°52.10'E		AM #2	failure	unidentified	Aluminium frame made by KORDI, AR communication was successful, but pop-up did not surface.
5	'98/8/15-98/9/	34°14.10N, 124°52.10'E		AM #2	failure	unidentified	Aluminium frame made by KORDI, AR communication was successful, but pop-up did not surface.
6	'98/9/98/10/ (15 days)	Cheju Strait	102 m	AM #1	success		
7	'99/3/14-99/6/8 -00/1/10	33°38.15N, 126°30.23'E	124 m	AM #1, AMTR #1	Only pop-up buoy recovered later	AM found to be released but AMTR did not work, sediments (fine sands) filled up	AR communication was successful and got 'released' signal, but pop-up did not surface. Later, the pop-up buoy was recovered on a beach by a local fisherman. The pop-up surfaced at some time due to the corrosion of AR connection parts.
8	'99/6/8-99// -00/3/24	Korea Strait	>100m	AM #2	success	AMs did not work.	TRBM-ADCP of Pukyung University, AR communication was successful, but pop-up did not surface. Later, recovered by ROV on board R/V Roger Revelle. 3 times of position changes occurred. Cement frame made by KORDI.
9	'99/7/24-99/8/	36°50.10N, 125°19.02'E		AM#2	failure	unidentified	
10	'00/2/17-00/3/3	35°07.90N, 126°08.98'E	20 m	AM #1, AMTR #1	success	Test on deck: AM released, AMTR did not work.	U-type mooring, recovered by a surface recovery buoy.
11	'00/2/26-00/3/ 31	36°52.72N, 125°29.94'E		AM #2	failure	unidentified	AR communication was successful and got 'released' signal, but pop-up did not surface.
12	'00/3/8-00/4/13 -01//	36°52.52N, 125°53.58'E	~30 m	AM #2	success	AMs worked, AR connections trouble.	TRBM-ADCP of Geosystem Res. Co. AR communication was successful and got 'released' signal, but pop-up did not surface. Later, found by a side scan sonar and recovered by divers.
13	'00/7/1-00// (15 days)	West of Taean Peninsula	50 m	AM #1	success		

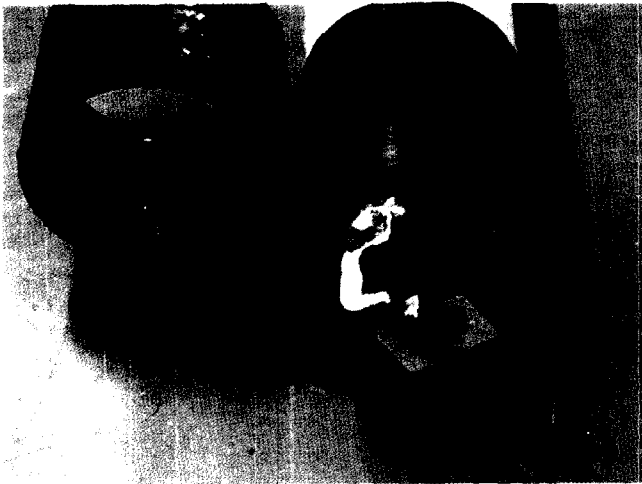


Fig. 9. Corrosion on a pin of AMTR acoustic release found after the recovery of a TRBM-ADCP. The TRBM package was in water about 9 months.

Release/Transponder)를 생산하기 시작하였다. 현재 EdgeTech사는 AM 모델을 보유한 사용자를 대상으로 AM 모델을 CART로 교체하여 주고 있으나, 이전의 경험으로 미루어 최신 모델의 사용에 있어 충분한 사전 시험 등 장비 사용에 있어 신중을 기해야 할 것이다.

최근에 이태리의 PRO.TE.C.O.SUB에서 개발하여 시판 중인 Barny TRBM(Perkins *et al.*, 2000a)은 장비 회수율을 높이기 위하여 Flotation Tech의 TRBM과 달리 2단계로 분리될 수 있도록 고안되었으며, 트롤조업에 의한 피해를 보다 최소화하기 위해 원형의 따개비(barnacle) 형태를 갖는다(Fig. 8b). Barny TRBM은 다른 제작회사 TRBM과 동일하게 부력재 부분과 weight부분으로 나뉘어져 있지만, 부력재 부분이 다시 1단계 분리장치(pop-up releasing)와 2단계 분리장치(ballast releasing)의 2부분으로 나뉘어져 있는 것이 특징이다. 두 분리장치 모두 weight로 사용되는 콘크리트 프레임 내부에 장착되는데, 콘크리트 구조물의 무게는 440 kg이며 Barny TRBM의 전체 무게는 640 kg이다. 계류나 이동 시 충격에 의한 파손을 방지하기 위하여 콘크리트 내부에는 직경 6 mm의 stainless steel 봉이 십자형태로 삽입되어 있다.

1단계 분리장치인 부력재는 weight와 회수선(DYNEMA 로프)에 의해 연결되어 있으며 ADCP를 장착할 수 있도록 중앙에 원형의 구멍이 나있고(Fig. 8b 상단 중앙부의 적색 원통형), AR에 의하여 weight와 분리되면 자체 부력으로 인하여 회수선과 함께 수면으로 부상한다. 1단계 분리장치가 성공적으로 수면에 부상하면 ADCP를 제외한 기타 장비가 내장된 2단계 분리장치와 weight는 회수선을 이용하여 회수한다. 1단계 분리장치의 부력재는 요소수지의 일종인 Urea Foam을 압축, 가공하였으며 생물의 부착을 방지하고 외부충격에 의한 파손을 방지하기 위하여 표면은 FRP(Fiber Reinforced Plastic)에 에폭시를 코팅하여 강도를 높였다.

2단계 분리장치는 Fig. 8b에서 중앙부의 적색부분을 둘러싸고 있는 부분이며, 재질은 FRP이고 분리장치 내부에는 AR과 Wave/Tide Gauge 등 관측 장비를 장착할 수 있는 틀이 있다. 2단계 분리장치에는 여러 조각의 부력재가 하나의 FRP 틀 속에 채워져 있으며, 내부에는 pop-up releasing과 ballast releasing을 위한 2대의

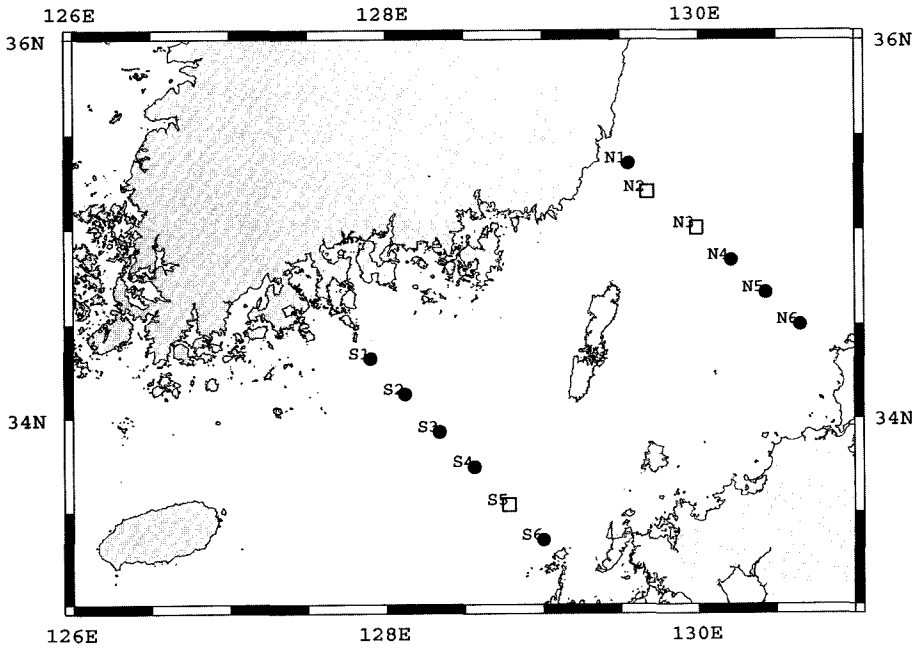
AR을 장착한다. 원통 모양의 2단계 분리장치는 4개의 pin에 의해 weight인 콘크리트 프레임과 연결되어 있으며, 2단계 분리 시 8개의 고무 스프링 작용에 의해 pin이 2단계 분리장치 안쪽으로 trigger되면서 weight와 분리되도록 되어있다. 2단계 분리장치의 중앙부에는 직경 약 10 mm의 DYNEMA 로프가 로프 bag에 가지런하게 정렬되어 중앙부 1단계 부력재와 연결되어 있으며, 이 로프는 1단계 부력재가 본체와 분리되어 수면에 부상한 후 바닥에 남아있는 2단계 부력재와 weight로 사용되는 콘크리트 프레임을 회수하기 위한 용도이다.

1, 2단계 분리를 위하여 Barny TRBM은 다른 TRBM에 비해 복잡한 구조를 갖고 있으므로 현장 계류 전에 연결부위나 나사의 조임 상태 등을 세밀하게 점검 할 필요가 있다. Barny TRBM은 자유낙하 형식이 아니므로 계류할 때 TRBM 상단에 계류모니터링 시스템, 부이, 계류용 AR을 연결하여 TRBM이 뒤집히지 않고 해저면에 안착될 수 있도록 하여야 하는데, Barny TRBM 제작사가 option으로 제공하는 계류 모니터링 시스템을 이용할 경우 Barny TRBM이 놓인 해저면의 경사도와 수심을 선상에서 점검함으로써 적절한 계류지점에 TRBM을 안착시킬 수 있다. TRBM이 해저면에 안착하면 TRBM 상단에 연결된 계류모니터링 시스템과 부이 및 계류용 AR은 계류용 AR의 작동에 의해 모두 수면에 부상하도록 고안되어 있다. 계류된 Barny TRBM은 현장 상황에 따라 2단계로 설계된 계류장치의 회수 여부를 결정하게 되는데, 해상상태가 양호할 경우 먼저 ADCP가 장착된 1단계 분리장치를 회수한 후 2단계 분리장치를 포함한 weight를 회수하며, 해상상태가 좋지 않거나 1단계 분리장치에 의해 부력재가 수면에 부상하지 않을 경우에는 2단계 분리로 FRP 부분만을 회수한 후 콘크리트 프레임은 해저에 버리게 된다.

대한해협에서의 해·조류관측: 미국 해군연구소(NRL: Naval Research Laboratory)에서는 TRBM-ADCP를 이용하여 대한해협에서(Fig. 10) 약 10개월간에 걸친 다층 해류관측을 성공적으로 수행하였다(Perkins *et al.*, 2000b). 대한해협에서의 관측을 위하여 대마도 남서쪽과 북서쪽의 두 단면에 TRBM-ADCP 12대를 계류하였으며, 1999년 5월에 1차 계류한 장비를 동년 10월에 회수한 후(Leg 1) 현장에서 자료를 추출하고 재 계류하여 2000년 3월에 관측을 종료하였다(Leg 2). Leg 1 기간의 12개 위치 중 9개 위치에 Barny TRBM을 계류하였으며, 3개 위치에는 미국 Naval Oceanographic Office(NAVOCEANO)에서 제작한 대형의 4각형 모양의 TRBM을 사용하였다. 미국 NRL에서 사용한 Barny TRBM에는 2단계 분리를 위하여 EdgeTech사의 심해용 AR(모델 8202) 2대가 장착되었으며, NAVOCEANO의 TRBM에는 동일 모델의 AR 1대가 장착되었다.

Leg 1 기간에 계류된 장비 중 한국 근해의 NI를 제외하고는 모든 장비가 성공적으로 회수되었다. NI의 경우 회수할 때 AR 교신에 의해 1단계 분리가 되지 않는다는 신호가 포착된 관계로 2단계 분리 신호를 보냈으며, 2단계 분리장치는 분리되었다는 신호가 수신되었으나 장비가 수면으로 부상치 않아 회수에 실패하였다. NRL측에서는 Barny가 계류 위치에 있지만 뿔 등에 묻혀 있어 부상치 않는 것으로 판단하고 무인잠수정(ROV)를 이용한 수중 수색을 시도하였으나 장비를 발견하는데 실패하였다. 관측점 N4, N5, N6 및 S4에서는 1단계 분리가 작동되지 않은 관계로 2

(A) LINKS (May~Oct. 1999)



(B) LINKS (Oct. 1999~March 2000)

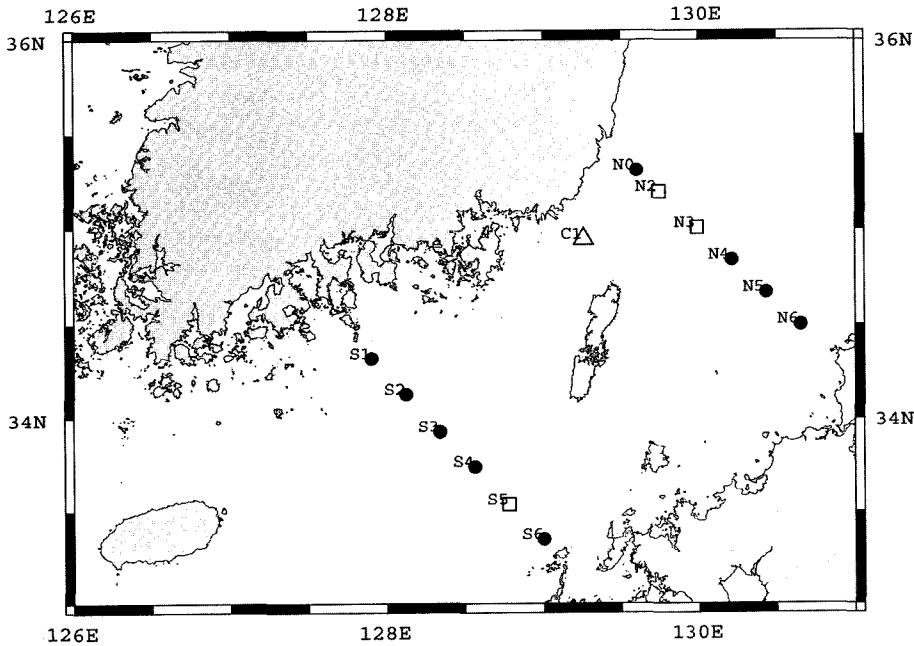


Fig. 10. TRBM mooring stations during LINKS observations.

단계 분리장치를 이용하여 장비를 회수하였다. Barny TRBM내에 장착한 AR은 심해용으로써 통상 계류선에 수직으로 세워 음파 triggering 장치에 의해 AR 하단에 연결된 큰 하중의 weight 무게로 AR의 고리가 쉽게 찢혀짐으로서 weight와 분리된다. Barny TRBM내에 AR은 수평으로 장착되며 이 경우 AR의 고리에 적은 하중이 걸리므로 퇴적물이 조금만 끼거나 하더라도 AR을 수직으로 사용할 경우에 비해 덜 효율적으로 찢혀질 수 있다. 이로 인하여 Leg 1 기간 중 4개 위치에서는 1단계 분리가 작동하지 않은 것으로 판

단되었다. 재계류 시에는 Fig. 11과 같이 AR 고리가 보다 쉽게 작동되도록 변형하고 고리 부분에 방수 grease를 발랐으며, Leg 2 기간 후 전 장비를 1단계 분리장치에 의해 회수할 수 있었다.

Leg 2 기간 중에는 Leg 1에서와 동일하게 9개 위치에서 Barny TRBM이 사용되었으며 3개 위치에서는 NAVOCEANO의 TRBM이 사용되었고 관측점 C1에서는 Mooring Systems사의 또 다른 형태의 TRBM이 사용되었다. Leg 2 기간 중 Barny TRBM은 1단계 분리장치에 의해 모두 회수되었으며, NAVOCEANO의 TRBM

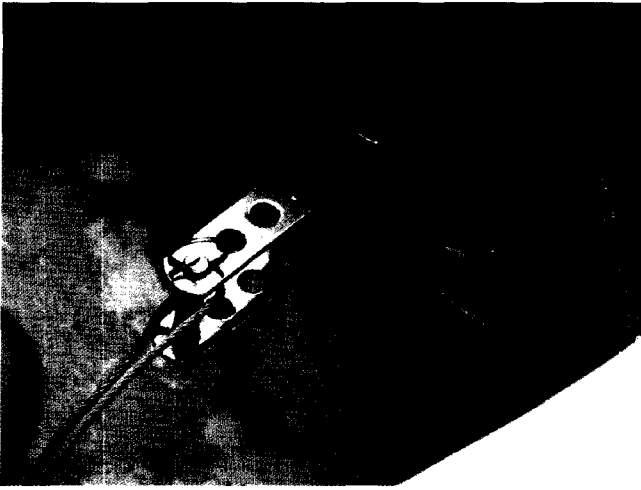


Fig. 11. The “U” clip that attaches the release cable of Barny TRBM is bolted to the face of the release lever to increase the release torque on the lever and to remove the possibility of binding.

중 S5에 계류한 TRBM은 계류시의 문제로 인하여 ADCP와 AR은 회수하지 못하고 ROV에 의해 TRBM만이 회수되었다. C1에 계류한 TRBM은 건전지 소모로 인하여 AR과 교신은 되지 않았으나 성공적으로 release되어 장비를 회수하였다.

LINKS 조사에 있어 Barny TRBM의 부품들이 장기간 사용 후 부식되는 것이 발견되어 이 후 제작사측에서 부식이 안되는 재질로 일부 부품을 교체하였다. 장비 회수 후에는 반드시 모든 부품을 철저히 점검하여 부식되거나 손상된 부품은 교체함으로써 다음의 장비 사용에 대비하여야 할 것이다.

서해연안역에서의 해·조류관측: 한국해양연구원에서도 2000~2001년 사이에 한국 서해안 연안역에서 Barny TRBM을 이용한 다층 해류관측을 시도하였다(Table 3). 총 6회에 걸친 Barny TRBM 운용 중 4회는 장비를 성공적으로 회수함으로써 Flotation Tech사의 TRBM 운용 실적에 비해 회수율이 좋았는데, 이는 주로 보다 안정적인 AR을 사용했기 때문이다. 회수에 실패한 2회 중 1회는 전체 장비 회수에 실패하였으며, 1회는 1단계 분리장치인 pop-up 부이는 회수치 못하고 2단계 분리장치와 weight만을 회수하는데 성공하였다.

최초 사용된 Barny TRBM에는(Table 3의 Case 1) 1, 2단계 분리장치를 위해 2대의 AMTR AR을 사용하였다. 경기만 북수도 조사의 경우 1단계 분리장치의 작동에 의해 장비를 성공적으로 회수할 수 있었지만, 회수 후 선상에서의 시험 결과 2단계 분리장치를 위한 AMTR AR이 작동되지 않았으며, Barny TRBM의 장비 setting에도 문제가 있었던 관계로 설정 AR이 작동되었더라도 2단계 분리장치와 weight가 분리되지 않는 문제점이 발견되었다. 이후에는 1단계 분리를 위해 AM 모델에 비해 보다 신뢰성 있는 EdgeTech사의 심해용 AR 모델인 8242XS를 그리고 2단계 분리를 위해서는 AMTR AR을 사용하였으며, 장비 setting 시 보다 주의 기울이게 되었다.

영흥도 남방에서 관측한 경우(Table 3의 Case 3) Barny TRBM을 2000년 8월 8일 계류하였고, 9월 4일에 최초 회수를 시도할 때

1단계 분리장치를 분리하는 8242XS AR이 분리되었다는 신호음을 보냈으나 분리장치가 수면에 부상치 않았으며, 2단계 분리장치를 작동시킨 결과 2단계 분리장치도 분리되었다는 신호음을 보냈지만 2단계도 수면에 부상하지 않았다. 이 후 11월 14일 계류지점 근처에서 조업 중인 어선에 의해 수면에 떠있는 1단계 분리장치가 발견되어 분리장치의 표면에 기재된 한국해양연구원 연락처로 신고되었으며, 연구팀에서는 회수선에 조업용 부이를 연결하여 수중에 있는 2단계 분리장치와 weight의 위치 표시를 한 후 회수선을 잘라 1단계 분리장치를 회수하도록 어선에 부탁하였다. 11월 14일 입항하는 어선으로부터 회수된 1단계 분리장치와 ADCP를 전달받았으며, 11월 15일 2단계 분리장치와 weight를 회수하기 위하여 현장에 도착하여 장비를 회수하는 도중 회수선이 절단되어 회수하지 못하였다. 2단계 분리장치와 weight는 12월 22일~23일에 걸친 잠수부 수색에 의해 발견되어 회수되었다. 회수한 뒤에 점검한 결과 2단계 분리장치용 AMTR AR은 분리되었지만 AR 분리 후 AR pin이 통과하는 AR 지지대의 홈이 좁아서 pin과 홈이 일치하지 않음으로 인하여 release가 되지 않는 문제점이 발견되었으며, 이 후 지지대 홈을 넓혀 문제점을 해결하였다. 1단계 분리장치가 분리 신호 후 상당 기간이 지난 다음에 수면에 부상하는 원인 규명은 확실하게 이루어지지 않았다.

경기만 북부 신도 서방(Table 3의 Case 6)에서도 1단계 분리장치가 분리신호 후 곧바로 수면에 부상치 않고 후에 부상되어 조업중인 어선에 의해 절단된 것으로 사료되고 2단계 분리장치와 weight는 잠수부 수색에 의해 발견, 회수하였다. 잠수부가 수중에서 관찰한 바에 의하면 TRBM 전체가 퇴적물에 덮여 있었고 TRBM 상단 표면만이 육안으로 식별할 수 있었다. TRBM 회수 후 점검 결과 2대의 AR은 모두 분리된 상태였으며, 2단계 분리장치가 작동되었음에도 수면에 부상치 않은 것은 Barny TRBM이 퇴적물에 덮여 있었기 때문인 것으로 사료된다.

계류조사 실패의 원인과 개선방안

해양조사 연구의 다양화로 인하여 해가 거듭될수록 수중계류에 의한 관측횟수가 증가하면서 계류기술 또한 향상되고 있으나 장비 회수율은 여전히 만족스럽지 못한 편이다. 1989년의 경우는 동해의 수심 200 m 보다 얕은 11개 위치에서 해류계 계류 직후 태풍 썰마호가 계류해역을 통과함으로써 무려 14대의 해류계를 한꺼번에 분실하기도 하였다.

천해계류에 있어 장비 회수 실패의 원인으로는 U-type 계류의 경우 (1) 태풍이나 해일 등 천재지변으로 인한 불가항력적 손실이 있었고, (2) 조업중인 어선이나 항해하는 선박에 의해 계류선이 훼손되거나 분실되는 경우 및 (3) 계류선에 사용되는 재질의 부적절한 선택으로 장기간 계류할 때 shackle등이 부식되어 계류선이 절단 분리되는 경우가 있었으며, (4) rotor와 vane을 이용하는 기계식 해류계를 장기간 계류할 경우 부착생물에 의해 해류관측이 계획된 기간동안 이루어지지 못한 경우가 있었다. TRBM-ADCP를 이용한 해류관측의 경우에는 (1) AR의 작동 불량으로 장비를 회수하지 못한 경우, (2) 해저퇴적물이 TRBM 프레임내에 집적됨으로써 장비를 회수하지 못한 경우 및 (3) 장비 회수 도중 회수선의 절단으로 인하여 장비의 일부를 회수하지 못한 경우가 있었다. Barny TRBM의 경우 빨이 아닌 해역에서 AR이 정상 작동되어 1

Table 3. Summary of operation results of barnacle-shaped trawl-resistant bottom mount made by PRO-TE.C.O.SUB

Cases	Deployment period	Deployment location	Total depth	AR models used	Recovery	Reason for the failure	Remarks
1	00/3/10-00/4/2	37°16.82N 125°53.93'E	20 m	EdgeTech AMTR #2	success		Test on deck: 1 AMTR did not work and one of the rubber springs was jammed under the central star.
2	00/7/21-00/7/24	33°38.15N, 126°30.23'E	124 m	EdgeTech 8242XS #1, AMTR #1	success		
3	00/8/8-00/9/4 -00/11/14- '00/12/22	37°09.30N 126°27.47'E	40 m	EdgeTech 8242XS #1, AMTR #1	success	8242XS released but pop-up did not surface at the time of recovery (not known). AMTR released but the ballast did not surface due to the mismatch of pin hole on the AR guide with the AR pin.	Later, the package was recovered by divers after an accurate positioning with ranging deck box.
4	00/11/1-00/12/4	34°8.60N, 128°7.12'E	23 m	EdgeTech 8242XS #1, AMTR #1	success		
5	01/4/26-	35°9.43N, 125°41.01'E	31 m	EdgeTech 8242XS #1, AMTR #1	failure	Unidentified, but the package might be sunken into the mud.	AR communication was successful and got 'released' signal for both ARs, but both pop-up buoy and ballast did not surface (01/6/11).
6	01/8/14-01/9/25	37°27.8N, 125°55.0'E	18 m	EdgeTech 8242XS #1, Benthos 866A/P #1	Pop-up lost, Both ARs released. The ballast ring was nearly ballast ring sunken into sticky muds in water, and found to be recovered filled with muds on deck.		Both ARs responded to release, but both the pop-up and ballast did not surface at the time of recovery ('01/9/7). Later, pop-up was found to surface by a local fisherman before 9/25. The pop-up seemed to be cut and lost. Ballast ring was recovered by divers on 9/25 and found to be filled with sticky muds.

단계 분리장치가 release 되었음에도 불구하고 pop-up 부이가 표면에 바로 부상하지 않고 일정 시간이 경과 후 부상하는 경우가 있었으며 이에 대한 원인은 아직 명확하게 밝히지 못하였다.

해류계 계류에 의한 천해역에서의 성공적인 해류관측을 위해서는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

(1) 해저 저질이 빨이 아닌 해역에서의 해류관측은 TRBM-ADCP를 이용하는 것이 조업에 의한 훼손 없이 장기간 그리고 전 층에 걸쳐 해류구조를 파악할 수 있으므로 좋은 방법으로 판단된다. 최초 투하 후 제주해협에서의 10개월간에 걸친 관측과(Table 2의 Case 7) LINKS에 있어 대한해협에서 5개월간의 관측 성공 사례가 이를 입증한다.

(2) TRBM-ADCP를 사용할 경우 현장 계류 이전에 실험실 등에서 AR과 TRBM이 원활히 작동되는가에 대한 충분한 사전 시험과 점검이 요구된다. 국내에서 주로 사용되어 왔던 두 모델의 TRBM 중 Flotation Tech사의 사각형 모양의 TRBM에 비해 원형의 Barny TRBM 회수율이 좋았으며, 이는 주로 Flotation Tech사의 TRBM 운용 시 사용되었던 AR의 작동 불량으로 사료되며 Barny TRBM의 운용에 있어서는 보다 안정적인 심해용 AR이 주로 사용되었다.

(3) 사각형 모양을 가지면서 자유낙하 시켜 계류할 수 있는 Flotation사의 TRBM은 사각형 모양의 프레임이 충격 등으로 인하여 조금이라도 일그러지면 프레임으로부터 부력체가 빠지지 않을 가능성이 있으므로 자유 낙하 형태라 하더라도 계류 시 주의를 기울여야 하며, 프레임 운반 시에도 충격에 의해 프레임이 변형되지 않도록 충분한 주의를 기울여야 한다.

(4) 해류관측 해역의 저질 상태가 빨이고 장기간 해류관측의 필요성이 있을 경우에는 U-type의 계류선에 의한 해류관측 방법을 이용하는 것이 보다 안전하다. U-type 계류의 경우 계류선의 안전과 관측 자료의 질을 높이기 위하여 계류해역의 유속, 파랑, 수심과 해저 저질상태 등을 고려하여 weight와 부이의 형태 및 종류, 계류선을 구성하는 부품의 재질과 굵기를 선택하여 설계해야 할 것이다. 계류선의 설계는 계류수심과 계류기간 및 계류형태(표층, 중층, 저층 계류 등)에 따라 달라지며 안전하고 효율적인 계류를 위해서는 계류선을 구성하는 제 부품의 재질 선택을 신중히 하고, 계류하고자 하는 해역과 수심에 알맞은 계류선을 고안하며, 계류선 회수시의 안전성을 고려하여야 한다.

(5) U-type 계류선의 연결 부위에는 반드시 동일한 재질의 용품을 사용하며, 특히 shackle은 안정성이 입증되고 안전핀을 달 수 있는 제품을 구입 후 아연도금을 하고 비닐테이프를 감아 장기 계류 시 부식에 의한 마모를 방지하도록 한다.

(6) U-type 계류에서 사용되는 해류계는 부착생물에 의한 영향이 적고 다루기 쉬우며 정밀도가 높은 음파식 유속계를 사용하는 것이 바람직하며, 기계식 유속계를 사용할 경우 부착생물에 의한 영향을 줄이기 위해 antifouling 페인트나 방수 왁스를 사용하는 것이 바람직하다.

(7) U-type 계류에 있어 경계부이나 표식부이를 설치하는 것도 중요하지만 사전에 관측해역을 대상으로 통상적인 어로 작업을 하는 지역어민들에게 충분한 홍보와 협조를 구함으로써, 조업에 의한 계류선 훼손을 최소화하도록 노력하여야 한다.

이밖에 새로운 장비를 사용할 경우에는 신중을 기하여야 하며 다양한 경로를 통해 국내외적으로 사용 실적이 많고 충분히 검증

된 장비를 사용하여야 한다. 또한 장비 회수 후에는 모든 부품들을 세밀하게 점검하여 부식된 부품은 새 것으로 교체하여 다음의 계류에 대비하여야 한다.

제 언

본 논문에서는 수심 200 m 미만인 천해역에서 계류선을 이용하거나 TRBM 프레임에 이용한 해류관측 방법과 몇 가지 중요한 사례를 통해 해류관측이 실패한 경우를 소개하고 이에 관한 원인 분석과 개선방안을 제시하였다. 해류관측 계획을 수립할 때 대상해역의 조업현황이나 선박 항행 현황 등에 관한 정보 및 관측 예정위치의 해저 퇴적물 분포를 파악하여 U-type 계류 방법이나 TRBM을 이용한 방법을 결정하여야 할 것이다. 조업이나 선박 통행이 빈번한 해역에서 U-type을 사용할 경우 관측기간이 길어질수록 장비 회수율은 줄어들 것이다. 이 경우 만약 퇴적물이 무른 빨이 아니라면 TRBM을 이용한 해류관측이 보다 성공적일 수 있다. TRBM을 이용할 경우에는 해저 퇴적물 파악과 함께 현장 계류 전 AR 및 TRBM의 작동이 원활한지를 충분한 사전 시험을 통해 확인하여야 한다.

U-type 계류에 있어 계류선의 설치와 회수에 있어서 어려움이 수반되지만 항행 중인 선박이나 조업 중인 어선의 어망에 걸리더라도 계류선이 끊어지거나 어선에서 끌어올릴 수 없도록 계류선을 튼튼하게 제작하는 방법도 있으며, 실제 국립해양조사원에서 1개월에 걸친 연안역 해·조류 관측 시 이와 같은 방법을 사용하고 있다. U-type 계류에 있어 장비 회수율을 높이기 위해서는 계류선의 고안뿐 아니라 대어민 홍보와 항로고시 등도 간과하여서는 안 될 것이다.

바닥줄을 이용하는 U-type 계류의 경우 표시 부이가 실종된 경우에 갈고리 등을 이용하여 수색 및 계류선 회수가 가능하며, 해류계에 beacon이 부착되어 있는 경우에는 수색이 보다 용이하다. TRBM의 경우에 AR에 의해 장비 회수가 안되면 실령 TRBM이 수중에 있는 것이 확인될지라도 수색 및 회수가 U-type 계류에 비해 상대적으로 어렵다. TRBM이 정상적으로 AR에 의해 회수가 안 되었을 경우 side scan sonar를 이용하거나 ranging이 가능한 deck unit를 이용하면 AR 신호음을 이용하여 TRBM의 정확한 위치를 파악할 수 있고 수심이 깊지 않은 경우에는 잠수부에 의한 회수가 가능하다. 해류관측을 위해 음파식이나 기계식 등 다양한 종류가 사용되고 있으며 종류가 다른 해류계를 혼용하여 사용할 경우 해류계간의 상호 비교도 간과하여서는 안 될 것이다. 국내에서는 다양한 종류의 해류계를 서로 비교한 경우가 없지만 Frye et al. (2002)나 <http://www.whoi.edu/science/ultramoor>를 참고하면 해류계간 상호 비교한 결과에 관한 정보를 얻을 수 있다. 해류계를 비롯하여 해류계 계류에 사용되는 장비 중 신제품을 사용할 경우에는 여러 경로를 통하여 세계적으로 사용실적이 많으면서 제품의 질이 검증된 장비를 선택하여야 할 것이다.

감사의 글

논문을 심사해 주시고 조언을 해 주신 부경대학교 이재철 교수님, 군산대학교 최현용 교수님께 감사드립니다. 본 연구는 한국해

양연구원에서 수행된 “한국 서해안 3차원 연안류 재현과 검증 연구”, “수중계류용 장비사용자 그룹연구회” 및 “동해 기후변동 예측 연구(BSPE82500)”의 일환으로 수행되었으며, 해양환경·기후 연구본부 물리분야 직원 여러분들의 격려와 배려에 감사드립니다. 현장 조사 시 협조를 아끼지 않았던 R/V 이어도호 선장님 이하 승조원들과 서해 연안역에서 TRBM-ADCP 관측 시 조사선을 공동으로 활용하게 배려해 주신 국립해양조사원 여러분들과 바다로 3호 선장님을 비롯한 승조원 여러분들께 감사드립니다. 대한해협에서의 해류관측 실적을 제공해 준 미국 해군연구소의 Henry Perkins 박사에게도 감사드립니다.

참고문헌

전호경, 1981. 천해에서 해류계 계류실험 및 분석. *해양연구*, **3**(1): 43-52.
 한국해양연구소, 1999. 트롤피해방지용 해류계 계류장치 개발. BSPE 98719-00-1156-1.

한국해양연구소, 2000. 보령화력발전소 주변해역 온배수 영향조사. BSPI 98254-00-1263-3.
 한국해양연구원, 2002. 한국 서해안 3차원 연안류 재현과 검증 연구. BSPE 821-00-1397-1.
 Berteaux, H.O., 1976. *Buoy Engineering*. John Wiley & Sons, New York, 314 pp.
 Frye, D., N. Hogg, and C. Wunch, 2002. New-generation mooring system allows longer deployment. *EOS*, **83**: 365, 370-371.
 Perkins, H., F. de Strobel, and L. Gualdesi, 2000a. The Barny sentinel trawl-resistant ADCP bottom mount: Design, testing, and application. *IEEE J. Oceanic Eng.*, **25**: 430-436.
 Perkins, H., W.J. Teague, G.A. Jacobs, K.-I. Chang, and M.-S. Suk, 2000b. Currents in Korea-Tsushima Strait during summer 1999. *Geophys. Res. Lett.*, **27**(19): 3033-3066.

2002년 7월 25일 원고접수
 2002년 10월 25일 수정본채택
 담당편집위원: 이재학