

## Data

## 소형선박용 착·탈식 ADCP 고정장치 개발

황상철\* · 전동철 · 강재훈 · 김철수

한국해양연구원 해양기후·환경연구본부  
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

## Development of a Fixing Apparatus Available to Mount-and-detach ADCP on a Small Vessel

Sang-Chul Hwang\*, Dongchull Jeon, Jae-Hoon Kang, and Cheol-Soo Kim

Ocean Climate and Environment Research Division, KORDI  
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

**Abstract** : A portable apparatus mounting Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP) to any small boat was developed to effectively measure currents in shallow and narrow coastal seas like the west coasts of Korea. Characteristics of the apparatus is that an underwater fish-shaped body protecting an ADCP is designed to reduce the drag during the cruise, which can be freely mounted and detached from a boat with a clamp. Several cruise outputs prove themselves that the apparatus is properly designed for the intended purpose, to minimize air bubbles and to control the submerged depth of the sensor.

**Key words** : 초음파 도플러 유속계(ADCP), 착탈식 ADCP(a portable apparatus mounting ADCP), 연안해류측정방법(measuring method of coastal currents)

## 1. 서 론

다양한 분야의 해양환경을 관측하기 위하여 첨단 전자 공학을 응용한 여러 종류의 장비가 개발되어 전 세계적으로 이용되고 있다. 그 중에서 해·조류를 관측하기 위한 초음파 도플러 유속계(Acoustic Doppler Current Profilers; ADCP)는 1970년대 후반에 미국에서 실용화 되었다. 이후 기술 진보에 힘입어 정밀도와 측정거리(range)가 크게 개선된 ADCP는 해류의 시·공간 분포를 측정할 수 있는 신세대 관측기로서의 기반을 확립하였다(Gordon *et al.* 1990). 1981년 설립된 미국의 RD-Instruments(RDI)사가 ADCP를 상용화 하면서 ADCP는 기존의 rotor 방식을 대체한 유속계로서 기반을 굳혔다고 볼 수 있다. 이와 같은 ADCP는 용도에 알맞게 사용할 수 있도록 다양한 종류가

생산되고 있다. ADCP의 종류는 운용하는 방법에 따라 선박장착형(hull-mounted type)과 계류형(moored type), 기록방식에 따라 직독형(direct-reading type)과 자기형(self-contained type)으로 구분할 수 있다(RDI 1989). 따라서 연구선이 조사를 수행하는 항적에 대한 유속을 관측하기 위해서는 선저에 ADCP를 고정시킨 선박 장착형을 이용하거나 선미에서 견인하며 RS-232C 또는 RS-422 케이블을 통해 선내에 설치된 컴퓨터로 자료를 실시간으로 전송할 수 있는 예인형으로 관측한다. 고정점에서 해저면 또는 수중의 유속변화를 관측하기 위해서는 ADCP를 계류하여 자료를 자체적으로 기록하는 계류형으로 관측해야 한다. 또한 유속을 관측과 동시에 직접 확인하면서 저장하려고 하면 직독형 ADCP를 운용하여야 하며, 수중에 계류한 후 나중에 일괄적으로 자료를 받아 처리하려면 자기형 ADCP를 사용한다. 따라서 관측하려는 해역과 목적에 따라 여러 가지 형태의 ADCP 중에서 가장 적합한 형태를

\*Corresponding author. E-mail : schwang@kordi.re.kr

선택하여 사용해야 한다.

우리나라 서해 연안해역은 수심이 얇고 섬들이 많아 수로가 협소하다. 이 같은 해역에 대한 해·조류 조사는 rotor식 유속계 또는 ADCP를 계류하여 고정점에서의 수직적인 관측 위주로 이루어 졌다. 그러나 연안해역은 어로 활동이 활발하여 저인망에 걸리지 않도록 고안된 해저계류용 틀(Trawl Resistant Bottom Mount; TRBM)과 같은 장치에 장착하여 ADCP를 계류하지 않으면 장비의 분실 확률이 상당히 높다. 뿐만 아니라 연안해역 대부분의 해저 퇴적물은 모래와 진흙으로 구성되어 있기 때문에 때로는 계류장비의 무게로 퇴적물에 묻혀 부상하지 않는 경우도 있었다.

장비의 분실을 방지하고 넓은 해역의 해·조류를 조사하기 위해서는 ADCP가 장착된 중·대형의 조사선을 이용하는 것이 바람직하지만 우리나라 서해안에서는 수심이 얇고 수로가 협소하여 관측이 불가능하다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 소형 어선이나 ADCP가 장착되지 않은 소형 선박에 ADCP 장착과 분리를 쉽게 할 수 있는 장치를 개발할 필요성이 대두되어 개발하였다. 이 장치를 이용하면 소형선박의 운항이 가능한 해역은 어디든 관측할 수 있는 장점이 있으며, 이미 성공적인 관측이 연안해역에서 여러 차례 이루어졌다.

## 2. 고정장치의 설계와 제작

연안해역에서 ADCP를 소형선박에 장착하여 해·조류를 조사하는 경우 ADCP 고정 장치의 설계조건은 소형선박 어디에서도 편리하게 부착 또는 분리가 가능하며 운반이 쉽게 가볍고 견고해야 한다. 또한 관측 중 야기될 수 있는 자료의 질이 저하되지 않게 기포발생을 최소화 할 수 있는 모양으로 설계 되어야 한다. Fig. 1과 Fig. 2는 이러한 조건을 고려한 착·탈식 고정 장치의 설계도면이다. 각각의 설계도면에서 볼 수 있듯이 기본적으로 분해와 조립이 가능하며, ADCP를 감싸고 있는 수중몸체는 물고기나 잠수함과 같이 유선형으로 설계하여 흐름이 그 표면을 따라가도록 하여 유체의 저항을 최소화 하도록 하였다. 따라서 소용돌이 발생을 작게 하며 후미에 와류가 거의 발생하지 않는다(Brebbia and Ferrante 1983).

착·탈식 고정장치 대부분의 재질은 ADCP에 내장된 나침반에 영향을 주지 않으면서 해수에도 부식되지 않는 stainless steel 304종으로 제작하였다. ADCP를 밑면에서 고정해주는 원주모양의 어댑터(Fig. 3. 위)는 나침반에 영향을 주지 않으면서 가공이 쉬운 동(銅)을 사용하였다. 동의 링 주변에는 많은 나사로 조일 수 있도록 만들어 ADCP가 빠른 선속에서도 뒤틀어지지 않으며 쉽게 분해

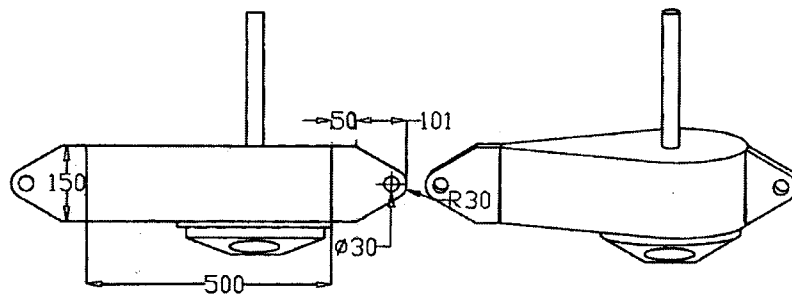


Fig. 1. Side view of the frame design of the free mount-and-detach ADCP system.

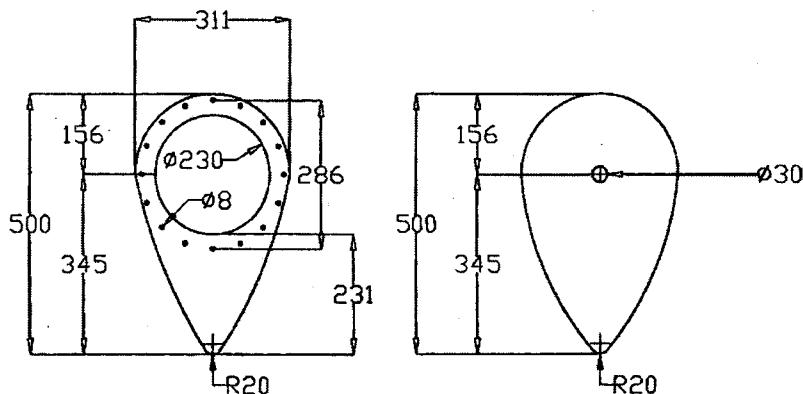


Fig. 2. Plane view of the frame design of the free mount-and-detach ADCP system.

가 가능하도록 하였다. 착·탈식 고정장치를 연결하는 파이프는 선박의 크기(높이)에 따라 파이프를 여러 개 연결하여 길이를 연장 할 수 있게 하였으며, ADCP 수심을 조절하여 조사선박에 의해 발생하는 포발에 의한 음파손실을 덜 받도록 하였다. 착·탈식 고정장치 앞뒤로 별도의 고리를 만들어 선수와 선미 쪽으로 로프로 묶을 수 있도록 하였다. 이것은 착·탈식 ADCP 고정장치의 정면과 선수 방향을 일치시키고, 아울러 나중에 정밀속도로 환산하는데 필요로 한 ADCP의 피칭과 롤링 센서가 정확하게 배의 움직임을 측정토록 하기 위함이다. 또한 로프는 관측 중 파이프가 휘거나 파손되었을 때도 장비의 분실을 막을 수 있는 2중의 장치가 되는 것이다. 착·탈식 고정장치 몸체 위로 수직하게 연결된 파이프는 10 knot 이상의 선속에서도 휘지 않도록  $30\phi \times 3$  mm의 스테인레스 스틸 파이프를 사용하였다. Fig. 3 아래 사진에서 볼 수 있듯이 착·탈식 ADCP 고정장치를 선박의 현에 고정하는 클램프는 일자형 두 개를 적당한 간격으로 용접하여 만들었다. Fig. 3 아래 사진 오른쪽 가운데에 파이프를 끼우고 4곳

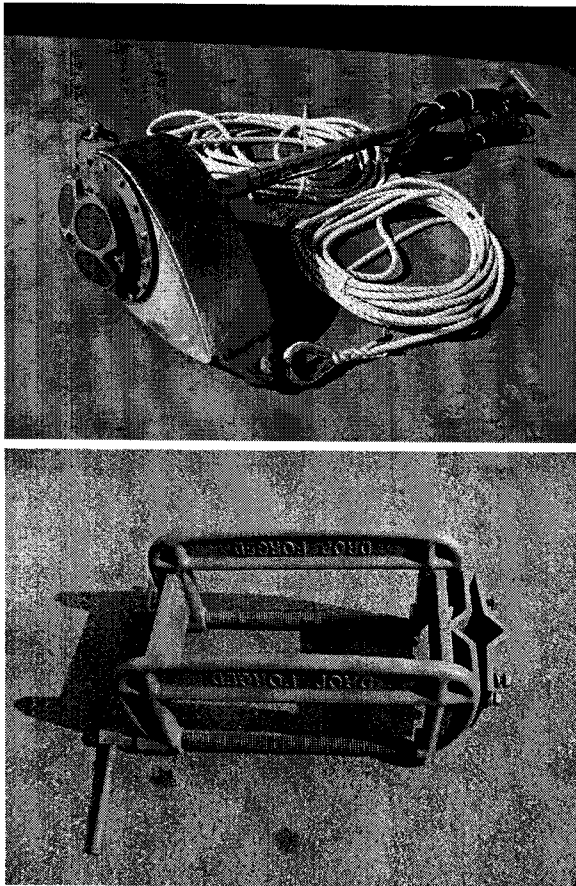


Fig. 3. The free mount-and-detach ADCP system developed in this experiment (upper panel) and the clamp to fix the system on a ship's side (lower panel).

에 볼트로 조인 후 클램프의 좌하단에 붙어있는 두개의 긴 볼트를 관측선 현(舷) 안쪽에서 조이면 착·탈식 고정장치는 단단히 고정된다. 주의해야 할 점은 FRP(Fiber-glass Reinforced Plastic)로 건조된 선박에 고정할 때에는 10 cm×10 cm×40 cm 정도의 각목을 긴 볼트 안쪽에 대고 조이면 선박의 파손을 막을 수 있다.

### 3. 관측장비의 특성과 설치방법

미국 RDI사에서 제작하여 시판하고 있는 Workhorse (WH) ADCP는 4가지의 모델(WH Monitor, WH Sentinel, WH Rio Grande, WH Mariner)이 있고 사용하려는 수심 범위에 따라 각각 300 kHz, 600 kHz, 1200 kHz 등 다양한 주파수로 고정되어 생산되고 있으며(높은 주파수일수록 측정 가능한 최대수심이 알아진다). 이번에 개발한 착·탈식 고정장치에 내장되는 WH Mariner 모델은 선박 장착형 ADCP이다. 주로 관측선 선저에 부착하여 관측해역의 바닥을 감지하고 정확한 선속의 계산을 통해 단시간 내에 넓은 해역의 절대유속을 실시간으로 수집하는 첨단 장비이다. Fig. 3의 상부는 설계도면에 따라서 제작된 고정 장치에 ADCP가 장착된 모습이다. ADCP의 지름은 20.7 cm, 물 속에서의 무게는 2.7 kg이며 주파수가 307.2 kHz로서 유속 평균치를 계산하는 층 두께(bin size)를 8 m로 설정할 때에 약 138~175 m까지 관측된다(RDI 2001). 층 두께에 따른 유속의 측정개수(number of bins)는 128 개 범위 내에서 임의로 층 두께를 선택하여 관측할 수가 있다. 원통형의 장비 한쪽 끝으로는 4개의 송·수신기(transducer)가 원통형 단면의 중심에 대해 각각 20°씩 바깥으로 기울어져 부착되어 해저면을 향해 음파 빔(beam)을 발사하도록 되어 있다. 이들 4개의 송·수신기로 수신된 반사음파로부터 도플러효과를 이용한 수평 및 수직 유속의 층별 평균값이 계산된다. ADCP를 고정장치에 부착함에 있어 특별히 주의해야 할 점은 이들 4개의 송·수신기 중에 3번 송·수신기를 고정장치의 앞면(선수방향)에 위치하도록 하여야만 된다. 이것은 유속 환산 시에 관측선의 정확한 피칭과 롤링센서의 값을 줄 수 있기 때문이다. 4개의 송·수신기 한 가운데에는 온도센서가 부착되어 센서 수심의 온도를 측정할 수가 있다. 전원은 외부전원으로 12-60 V DC 또는 110-220 V AC도 가능하나 실험관측을 행할 때에는 RDI사에서 권장하는 220 V AC를 사용하였다.

Fig. 4는 설계된 착·탈식 ADCP 고정 장치를 소형선박의 현에 설치하여 관측을 수행하는 모습을 보여주는 개략도이다. PC와 ADCP deck unit, DGPS 분배기는 선실에 설치하고, DGPS 수신안테나는 작고 가벼워 선박의 상단 기둥 어느 곳에도 케이블 타이로 두 군데 정도만 묶는다.

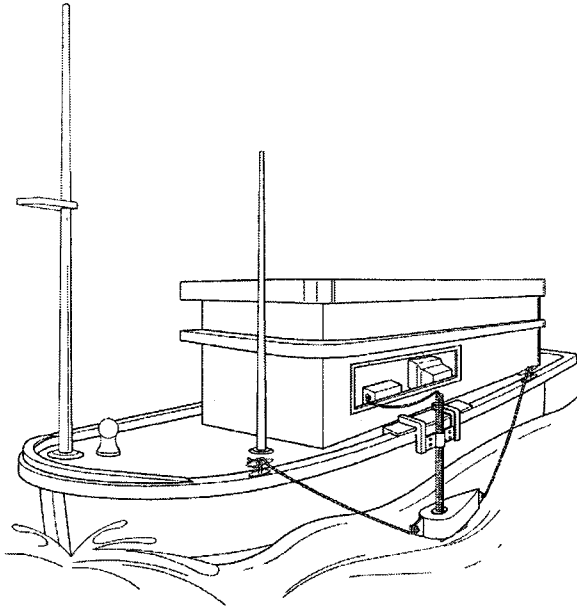


Fig. 4. Schematic figure of the mounted shape of ADCP on a boat.

ADCP의 시그널 케이블은 고정된 파이프를 통하여 deck unit와 연결할 수 있어 빠른 선속에서도 케이블은 전혀 손상을 입지 않도록 하였다. ADCP로 연결된 송·수신 케이블은 선실에 설치되는 교신용 통제장치(deck unit)에 연결된다. 함께 연결된 노트북 컴퓨터의 명령(RD-Instruments : VmDas Software, Version 1.3)에 의해 최대 2 Hz 해상도를 갖는 원시자료와 함께 다양한 시간간격과 수심 층에서의 자료를 동시에 실시간으로 수집하게 된다. 연안해역은 매우 협소하고 해저지형이 복잡하기 때문에 움직이는 관측선의 위치를 실시간으로 정밀하게 추적하는 DGPS(Differential Global Position System) 수신기가 절대적으로 필요하다. 수신 안테나는 DGPS 분배기를 통하여 교신용 통제장치와 연결되고, 관측선박의 정확한 위치는 실시간으로 유속 관측시간과 일치하여 입력된다. 본 DGPS 모델(JRC DGPS212)은 최대 12개 위성을 수신할 수 있으며 수신위성 수에 따라 GPS 측위(側衛)는 약 15 m, DGPS 측위는 약 1~5 m의 오차를 가지며 측위 갱신량(更新量)은 통상 1초이다(JRC 2000).

DGPS 분배기는 국내에서 제작한 것으로 300 g 정도 무게의 소형 제어기다(Fig. 5). 본 DGPS 분배기 우측전면 액정화면에는 관측위치, 관측시간 등의 정보가 표시된다. 용도에 따라서는 상단에 부착된 8개의 port로 다른 PC나 장비에 신호를 보낼 수 있어 동시에 여러 곳에서도 관측위치 등의 정보를 한 눈에 알 수가 있게 하였다. 이 뿐만 아니라 자이로 콤파스에도 연결할 수 있도록 제작하였고 관측선박의 진행방향도 DGPS 분배기 좌측전면에 전시

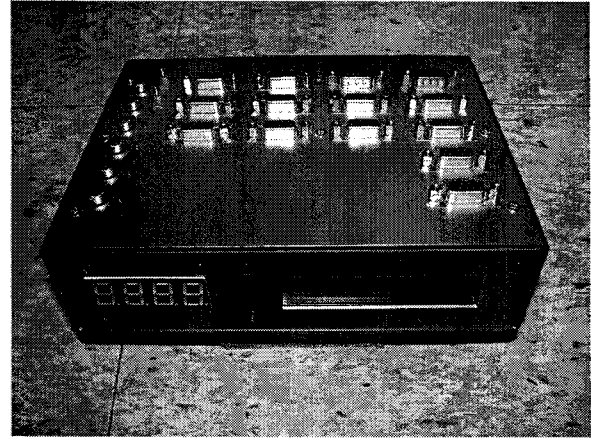


Fig. 5. A Picture of the DGPS Distributor.

(display)되도록 하였다. 이것 또한 4대를 한꺼번에 연결하여 어느 곳에서도 선박 진행방위를 알 수가 있도록 하였다.

#### 4. 관측시험

기상조건이 양호한 2002년 5월 13일 착·탈식 ADCP 고정장치를 소형선박에 장착하여 평택항 근처의 수심 30 m 미만의 수로를 가로지르는 두 정선(A, B lines)에서 실험관측이 수행되었다(Fig. 6). Fig. 7은 A라인에 대한 관측선박의 상태를 보여주는데 선속은 7~10 노트, 배의 방향은 240°로 비교적 일정한 선속과 방향으로 관측되었음을 알 수 있고 피칭과 롤링은 각각 3°와 5° 정도의 비교적 작은 변화를 보였다. 한편 수온은 약 0.4°C의 변화를 보인다. Kosro(1985)는 이러한 선박 장착형 ADCP의 피칭과 롤링값에 대한 유속보정은 자료의 질에 크게 영향을 주지 않으며 파고가 높은 경우에 보정이 필요하다고 하였다. 다만 ADCP 음파의 질을 오염시키는 주요 원인으로서 해파(海波)의 운동에 의한 배의 가속도가 관련됨을 증명했다. 따라서 Fig. 7은 조사 당시의 선박운동이 ADCP 음파의 질에 미치는 영향이 작았다는 것을 의미한다. Fig. 8은 착·탈식 ADCP 고정장치 시스템을 선박에 장착한 모습으로 이 같은 장착방법으로 7~10 노트의 운항에서도 문제점이 없었다.

Fig. 9는 1 m 수심 간격으로 해저추적 모드에 의해 수집된 시험관측 원시자료에서 결측 자료만을 제외하여 그린 절대유속 벡터도이다. 그림에 나타난 바와 같이 별도의 처리기법 없이 결측 자료만 제거해도 매우 양호한 자료를 보여준다. 유속은 최대 1.2 m/s이고 남동쪽의 수로 방향을 따르는 창조류로서 기존에 이 지역에서 관측한 자료와 잘 부합한다. 한편 해저부근에는 유속자료가 없는 구간이 나

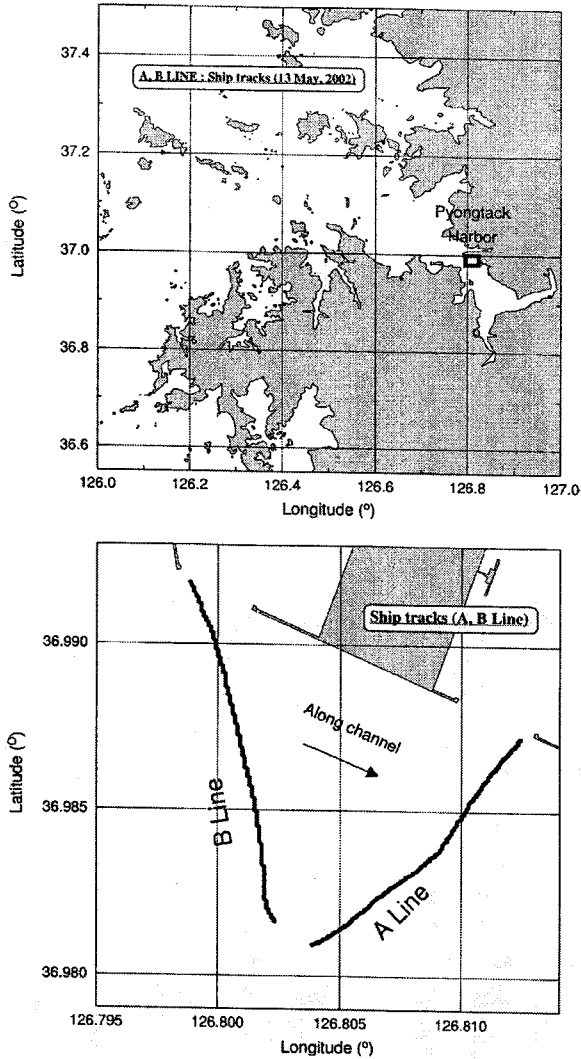


Fig. 6. Location map of the experiment with a free mount-and-detach ADCP (up), and the ship tracks (A, B lines) for data processing (down).

타났다. 이것은 ADCP의 송수신 센서에서 방사한 음파의 부엽신호(Side lobe signal)가 주엽신호(Main lobe signal)보다 해저면에서 먼저 반사하여 송수신 센서에 도달하여 음향신호가 오염되기 때문이다(RDI 1989). Fig. 10과 같이 전체수심을  $H$ , 연직으로부터 음파 빔 축의 경사를  $\theta$ 라 고 하면 측정 불가능한 구간  $H_b$ 는 다음 식과 같다.

$$H_b = H(1 - \cos\theta)$$

여기서 본 ADCP 장비의  $\theta$  값은  $20^\circ$ 이므로  $H=15$  m일 때  $H_b$ 는 약 1 m 정도이므로 Fig. 10에서 해저로부터 약 1 m 정도 공백 구간은 이러한 원인에 의한 것임을 알 수 있다. 그러나 해저기복과 송수신기의 동요 때문에 측정 불

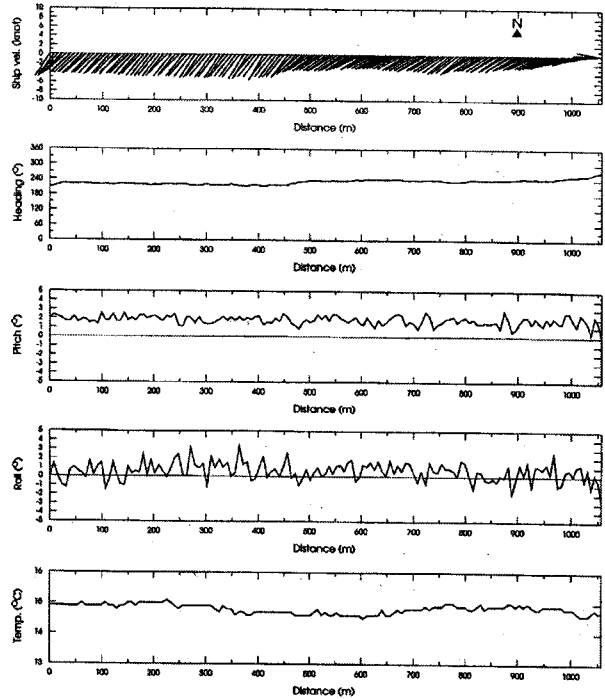


Fig. 7. ADCP status in water along A line.

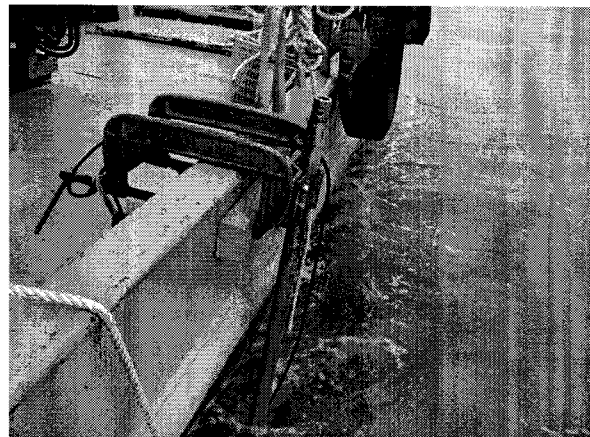


Fig. 8. A fixed shape of the ADCP system with the clamp on a boat at the sea.

가능한 구역이 증대될 수도 있다.

### 5. 결 론

초음파 도플러 유속계인 ADCP는 해·조류를 관측하기 위하여 개발된 유속계 중에서 가장 효율성이 뛰어난 것으로 알려진 첨단장비로서 크게 대형 해양관측선의 선저에 장비를 고정시키거나 선미에서 예인하며 케이블을 통하여 자료를 실시간으로 전송할 수 있는 선박 장착형과 해저면

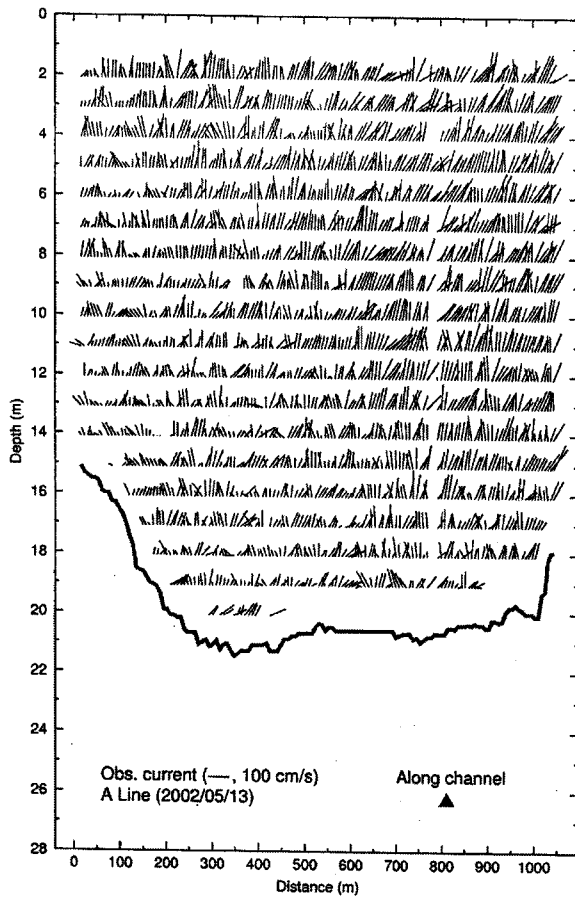


Fig. 9. Velocity profiles of currents by ADCP measurement along A line.

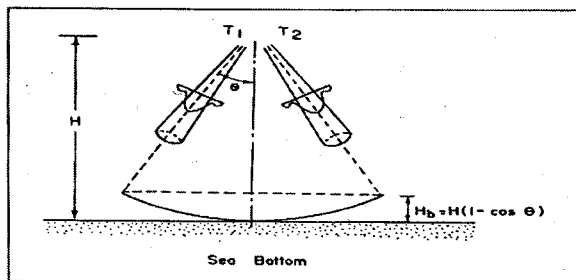


Fig. 10. Schematic diagram for beaming near bottom.

또는 수중에 고정 계류하여 자료를 자체적으로 기록하는 계류형으로 구분된다. 그러나 우리나라 서해 연안해역은 대부분 수심이 얇고, 섬들이 많아 수로가 협소하여 해·조류 조사는 계류형 ADCP를 이용하여 부분적으로는 이루

어졌으나, 선박 장착형 ADCP의 경우는 중·대형 해양 조사선을 이용하기가 쉽지 않기 때문에 현재까지 관측은 전무한 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 어선과 같은 소형선박에서도 쉽게 ADCP 장착과 분리가 용이한 착·탈식 ADCP 고정장치를 개발하였다. 이 장치를 이용하여 여러 차례 성공적인 관측이 이루어졌으며 연안의 천해에서도 조사선의 항적에 따라 해수유동을 파악할 수가 있게 되었다. 개발된 착·탈식 ADCP 고정장치는 적은 비용으로 제작할 수 있으나 조금 무거운 것이 단점이다. 이후 보다 가볍고 견고한 재질을 이용하면 더욱 향상된 제품을 만들 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 한국해양연구원에서 수행된 '02-해양특성조사' 및 '연안역 통합관리를 위한 해양환경규명' 사업의 일환으로 수행되었으며, 해양기후·환경연구본부 물리분야 직원 여러분들의 격려와 배려에 감사드립니다. 현장관측에 적극적인 협조를 해주신 수덕호 김광진 선장님과 고정장치를 제작하여 주신 어영상 사장님께도 감사드립니다.

## 참고문헌

- Brebbia, C.C.A. and A. Ferrante. 1983. Computational hydraulics. Butterworths Press, 288 p.
- Gordon, R.L., A.V. Brezutski, A. Kaneko, C. Stocchino, and R. Weisberg. 1990. A review of interesting results obtained with Acoustic Doppler Current Profilers. *Proc. 4th IEEE Work. Conf. on Current Measurement*. Clinton, Maryland.
- JRC. 2000. DGPS 受信機 DGPS212 取扱説明書. 日本無線株式会社, 32 p.
- Kosro, P.M. 1985. Shipboard acoustic current profiling during the coastal ocean dynamics experiment. Scripps Institution of Oceanography, Ref. 85-8. 119 p.
- RD-Instruments. 1989. Principles of operation: A practical primer. 36 p.
- RD-Instruments. 2001. Acoustic Doppler Current Profiler technical manual, P/N 957-6150-00.

Received Mar. 16, 2004

Revised Jul. 12, 2004

Accepted Sep. 10, 2004