

## 수중 전자기탐사를 위한 수저면 밀착형 안테나 플랫폼의 현장 적용

이상희<sup>1</sup> · 김성보<sup>2</sup> · 정용화<sup>3</sup> · 이영현<sup>4</sup> · 김현도<sup>5</sup> · 김영현<sup>6</sup> · 김진후<sup>†</sup>

(Received April 29, 2019 ; Revised May 17, 2019 ; Accepted July 20, 2019)

### Field application of water bottom contact-type antenna platform for underwater electromagnetic exploration

Sang-Hee Lee<sup>1</sup> · Sung-Bo Kim<sup>2</sup> · Yong-Hwa Jung<sup>3</sup> · Young-Hyun Lee<sup>4</sup> · Hyun-Do Kim<sup>5</sup> · Young-Hyun Kim<sup>6</sup> · Jin-Hoo Kim<sup>†</sup>

**요약:** 수저면에 노출되어 있거나 매몰되어 있는 금속물체를 탐지하기 위해서는 자력탐사 또는 전자기탐사를 이용한다. 자력탐사의 경우 탐사 심도가 깊고 작업을 신속하게 수행할 수 있는 장점은 있으나 비철금속 물체를 탐지하지 못하는 단점이 있다. 비철금속 물체를 탐지하기 위하여 금속탐지기를 이용한 전자기탐사를 수행하는데, 이에 잠수부가 금속탐지기 본체와 안테나를 모두 휴대하는 방법(휴대식 금속탐사)과 금속탐지기 본체는 선상에 두고 안테나만 수중에서 예인하는 방법(예인식 금속탐사)이 있다. 전자의 경우 잠수부가 직접 수중에서 운용하기 때문에 안전에 취약하며, 작업환경 등의 문제로 작업시간이 오래 걸린다. 한편, 후자는 수심이 깊은 경우라도 안전하고, 신속하게 탐사할 수 있는 장점은 있으나, 안테나가 부력에 의해 수저면에서 많이 이격된 경우, 수저면에 노출 또는 매몰되어 있는 금속물체를 탐지하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 예인식 금속탐사를 수행할 때 나타나는 이러한 단점을 보완하고자 금속탐지기의 안테나를 수저면에 밀착시켜 예인할 수 있는 안테나 플랫폼을 개발하고 현장 적용성을 검토하였다. 개발된 안테나 플랫폼을 해양 및 내수면 지역에서 적용시킨 결과, 연구를 위해 수저면에 노출 또는 매몰한 슬과 청동화포 등 금속물체를 성공적으로 탐지할 수 있었다.

**주제어:** 금속탐지기, 비철금속, 안테나 플랫폼

**Abstract:** Magnetic or electromagnetic exploration are used to detect metallic objects that are exposed or buried under the water bed. In the case of magnetic exploration, it has advantage of performing underwater explorations quickly, but it has the disadvantage of not detecting nonferrous metal objects. In order to detect nonferrous metal objects, electromagnetic exploration using a metal detector is performed. In one method (portable metal exploration), the diver carries both the metal detector and antenna; in another method (towing metal exploration) the metal detector is placed on a ship and only the antenna is towed in the water. The former method can be dangerous for divers because it is conducted directly in the water, and can take a long time depending on the work environment. The latter method has the advantage of being able to conduct searches safely and quickly even in deep water. However, when the antenna is separated from the water bottom by buoyancy, the metal object might not be detected. In this study, to overcome the disadvantages of towing metal exploration, we developed an antenna platform that can be towed by attaching the antenna of the metal detector to bottom of the water, and examined its field applicability. Application of the developed antenna platform in the ocean and river showed that it successfully detected both exposed and buried metal objects underwater, such as iron pots and bronze cannons, for research.

**Keywords:** Metal detector, Nonferrous metal, Antenna platform

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1496-4532>): Professor, Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University, 37, Nakdong-dearo 550, Saha-gu, Busan, 49315, Korea, E-mail: [jkim@dau.ac.kr](mailto:jkim@dau.ac.kr), Tel: 051-200-7790

1 Researcher, Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University, E-mail: [lsh3314@naver.com](mailto:lsh3314@naver.com), Tel: 051-200-5550

2 Researcher, Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University, E-mail: [tamsabo@donga.ac.kr](mailto:tamsabo@donga.ac.kr), Tel: 051-200-5550

3 Research curator, National Research Institute of Maritime Cultural Heritage, E-mail: [pkm228@hanmail.net](mailto:pkm228@hanmail.net), Tel: 061-270-2079

4 Researcher, National Research Institute of Maritime Cultural Heritage, E-mail: [lyh2343@naver.com](mailto:lyh2343@naver.com), Tel: 061-270-2079

5 CEO, Geoview Co., Ltd, E-mail: [geokim@geoview.co.kr](mailto:geokim@geoview.co.kr), Tel: 051-294-1603

6 Manager, Geoview Co., Ltd, E-mail: [wave4003@geoview.co.kr](mailto:wave4003@geoview.co.kr), Tel: 051-294-1603

## 1. 서론

우리나라는 고대로부터 주변국과의 무역과 사신 방문, 문화교류가 활발하였고, 조선 시대부터 현대까지 많은 해상전투가 있어 다양한 유물들과 불발탄 등이 수저면에 매몰되어 있다. 수저면에 매몰되는 유물들은 도자기, 청동 화포, 금속제품, 목제품, 선상 생활용품 등으로 다양하며, 이러한 문화재들은 역사적 사실과 증거물로서 중요한 의미를 지니고 있다. 또한, 현대에는 전쟁으로 인하여 수저면에 불발탄 등이 노출되어 있거나 매몰되어 있어 안전사고로 이어질 수 있다. 그러므로, 본 연구에서는 물리탐사 기법을 활용하여 수저면에 노출되어 있거나, 매몰되어 있는 철금속 및 비철금속 제품들을 찾아보고자 한다.

수저면에 노출되어 있거나 매몰되어 있는 철금속 및 비철금속 제품을 찾기 위한 연구는 꾸준히 진행되었다. 국내의 연구에는 H. D. Kim *et al.* [1]이 수중유물 조사를 위한 지자기탐사 방법에 관한 연구를 하였으며, S. W. Kim *et al.* [2]과 S. B. Kim *et al.* [3]은 전기·전자기탐사 및 자력탐사를 이용하여 수중 이상체 탐지 가능성을 전산 모델링을 통해 평가하였다. 또한, I. S. Park *et al.* [4]은 UXO(Unexploded ordnance) 탐지를 위한 자력탐사 해석 방법에 관한 연구를 수행하였다. 국외에서는 E. Weiss *et al.* [5]은 얕은 해역 해저 아래에 묻혀있는 금속물체를 탐지하고 정확한 맵핑을 위해 자력탐사를 이용한 시스템을 개발하였고 S. Tripathi *et al.* [6]은 수중 금속탐지기와 안테나 예인형 금속탐지기를 통해 침몰된 난파선의 재질연구를 수행해왔다. 또한, 해양에서 UXO를 찾기 위해 S. Billings *et al.* [7]은 자기 및 전자기 유도 센서 방식에 대한 탐지 및 식별 요구 사항을 검토하였으며, H. H. Nelson *et al.* [8]은 MTADS(Multi-sensor Towed Array Detection System)을 개발하여 자기 이상체에 대한 연구들을 수행했다.

위의 국내외 연구를 살펴보면 수저면 또는 매몰된 철금속 및 비철금속을 찾기 위해 자력탐사와 전자기탐사를 활용하고 있다. 본 연구에서는 기존의 철금속 및 비철금속을 탐지하는데 사용되는 자력탐사와 전자기탐사의 단점을 보완하고자, 수저면에 밀착하여 운용 가능한 금속탐지기용 안테나 플랫폼을 개발하였고, 기존의 탐사 방법과 비교하여 Table 1에 나타내었으며, 안테나 플랫폼을 활용하여 충

남 태안, 경남 거제해역과 부산 낙동강 내수면 지역에서 장비의 적용성을 확인하였다.

## 2. 본론

### 2.1 금속탐사 원리

물리탐사 기법 중 금속을 탐지하는 방법에는 자력탐사와 전자기탐사 등 크게 두 가지 방법이 있다. 자력탐사는 대자율과 지자기장의 곱으로 표현되는 자화 강도를 측정하고 그 분포 상황으로부터 지하의 지층구조를 추정하거나 자력 이상체를 탐지하는 방법이다[9]. 전자기탐사는 송신원으로부터 발생하는 전자기장이 배경 매질을 통해 전파하면서, 이상체와 배경 매질의 서로 다른 전기전도도 특성으로 인해 2차 전자기장이 유도되는 특성을 이용한다[2]. 본 연구에서는 전자기탐사 방식의 금속탐지기를 사용하여 수저면에 노출되거나 매몰되어 있는 철금속 및 비철금속을 탐지하고자 한다.

### 2.2 금속탐사 시스템의 구성

금속탐사 시스템은 Figure 1과 같이 크게 안테나를 수저면에 밀착되도록 만들어진 안테나 플랫폼과 안테나, 금속탐지기, DGPS로 구성되어 있으며, DGPS와 금속탐지기에서 수신되는 값을 실시간으로 PC를 통한 모니터링 및 저장 이 가능한 소프트웨어를 포함하고 있다.

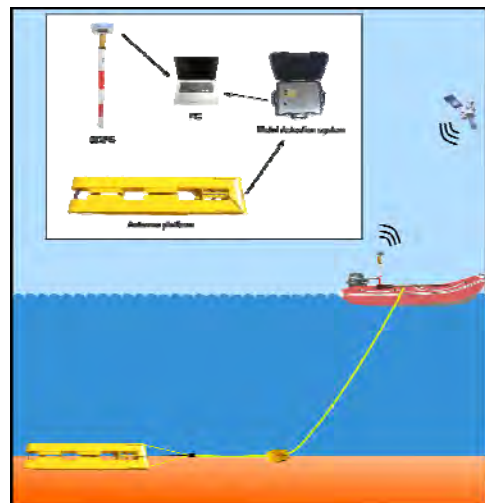


Figure 1: Metal detection system schematic

Table 1: Advantages and disadvantages of metal detection methods

Item	Magnetic survey	Portable metal detector	Towed metal detector	Antenna platform metal detector
Applicable metal	Ferrous metal	Ferrous and Nonferrous metal	Ferrous and Nonferrous metal	Ferrous and Nonferrous metal
Detection depth	Deep	Shallow	Shallow	Deep
Survey time	Fast	Slow	Fast	Fast
Safety risk	Low	High	Low	Low

### 2.2.1 금속탐지기

본 연구에 사용된 금속탐지기는 Pulse Induction 방식으로 송·수신 시간차를 이용하여 금속의 유무를 탐지하는 방식이다. 송신과 수신 시간대가 달라 하나의 안테나를 이용하여 금속을 탐지할 수 있으며, 금속탐지기와 금속 사이의 매체에 영향을 받지 않기 때문에 육지, 강 및 바다에서 똑같이 작동한다. 본래의 금속탐지 모듈은 계기판과 헤드셋의 소리를 통해 금속의 유무를 알려주기 때문에 DAQ(Data Acquisition)을 사용하여 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한 후 소프트웨어를 통해 PC에서 실시간 모니터링 및 저장 기능이 가능하도록 Figure 2와 같이 개량하였다. 또한, 부저를 부착하여 이상 신호 발생 시 즉각적으로 알 수 있도록 하였다. Figure 3은 금속탐지기의 간략한 회로도이다.

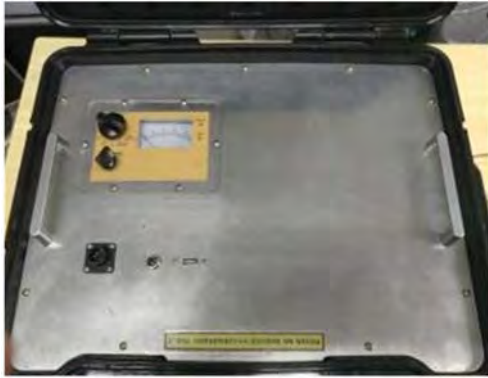


Figure 2: Metal detector

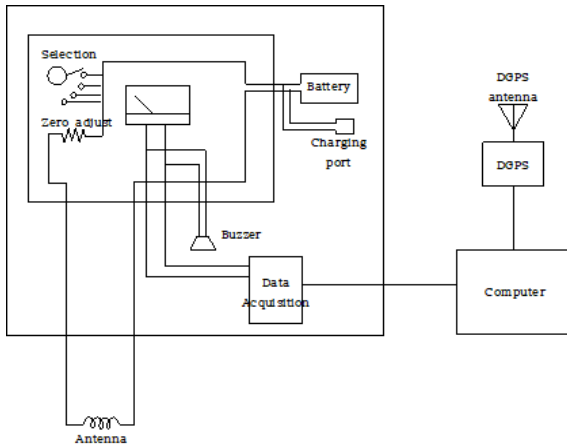


Figure 3: Metal detector circuit diagram

### 2.2.2 DGPS

탐사선의 항적을 확인하기 위해 DGPS를 사용하였다. DGPS는 2대 이상의 GPS 수신기를 이용하여 위치 오차를 줄여주며, 사용된 DGPS(Figure 4)의 경우 50 cm 이내의 오차를 가지고 있다.



Figure 4: DGPS (AKNB(T), Ascen Korea)

### 2.2.3 안테나

Figure 5는 안테나 플랫폼에 장착된 안테나로서 Table 2와 같은 제원을 가지고 있다.



Figure 5: Metal detector antenna

Table 2: Antenna specification

Item	Value
Width and length	20 cm × 110 cm
Cable length	30 m
Resistance	1.75Ω
Inductance	189 μH
Detection depth	240 cm

### 2.2.4 소프트웨어

Figure 6은 금속탐지기에서 들어오는 신호와 DGPS의 위치 정보를 기록할 수 있는 소프트웨어로서 실시간으로 위치 및 금속탐지기의 신호를 표시하며, 저장되도록 제작되었다[10].

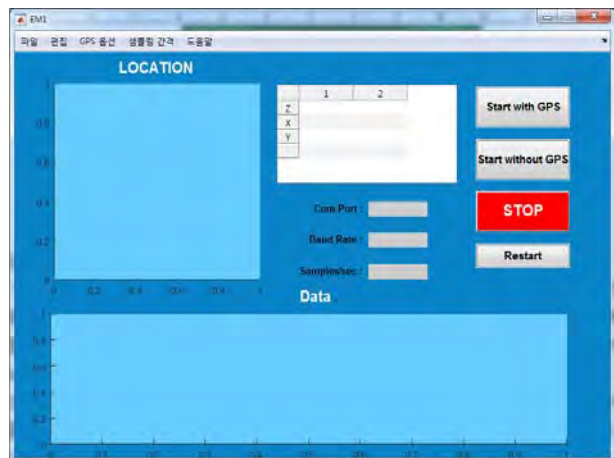


Figure 6: Metal detection system software

### 2.3 안테나 플랫폼

기존의 예인식 금속탐사 방법은 안테나가 수저면에서 부상되어 깊이 매몰되어 있는 금속을 탐지하는데 어려움이 있어 이를 개선하고자 안테나가 수저면에 밀착할 수 있도록 도와주는 안테나 플랫폼을 제작하였다.

먼저, 안테나 플랫폼의 부상 방지 및 안정적인 주행이 가능한 안테나 플랫폼의 형태를 결정하기 위하여 나비에-스토크스 방정식을 사용하여 CFD(Computational Fluid Dynamics) 분석을 수행하였다. CFD 분석을 위해서는 유체의 점도와 유속이 필요한데, 점도는 2018년 평균 해수 온도인 약 16 ℃ (국립해양조사원)를 기준으로 약 1.12 cP를 사용하였으며, 유속의 경우 탐사선의 평균 운행속도인 1 m/s를 사용하였다. CFD 분석에 사용된 형태는 (a)무한궤도형, (b)날개형, (c)반타원형과 같이 총 3가지 모델에 사용하였고, 유체의 흐름에 따른 모델들의 상하부의 압력과 유속을 Figure 7에 나타내었다. 무한궤도형(a)의 경우 상부에서 유속이 빠르고 하부에는 유속이 매우 느리게 흐르며, 상부와 하부의 압력의 차이가 크지 않으며, 상부와 하부가 대칭인 형태라 예인중 전복되어도 상하부 유속 및 압력이 변하지 않는다. 또한, 수저면에 접촉되는 면이 넓어 안정적인 주행이 가능하다. 날개형(b)과 반타원형(c)의 경우 평평한 면이 수저면에 있을 때는 상부 유속이 빠르고, 하부 유속이 느리게 흐르며, 상부와 하부의 압력 차이가 크지 않아 안정적인 주행이 가능하나 수중 장애물에 의해 전복되면 상부와 하부의 유속 차이가 줄어들며, 예인되는 방향의 전면 하부 압력이 상부보다 높아 부상 가능성이 있다. 또한, 수저면에 접촉하는 면적이 좁아 안전정적인 주행을 기대하기 힘들다.

위의 결과를 토대로 본 연구에서는 플랫폼의 상부와 하부가 대칭을 이루며 수중 장애물에 의해 전복되어도 안정적으로 주행하여 지속적인 탐사가 가능한 (a)무한궤도형을 선택해 제작하였다.

Figure 8은 안테나가 장착되어있는 안테나 플랫폼으로서 크기는 약 47.5 cm × 135 cm × 16.5 cm이며 무게는 약 15 kg이다. 안테나 플랫폼의 재질은 PVC(Poly Vinyl Chloride)로서 PVC 용접을 통해 제작해 금속이 포함되어 있지 않아 금속탐지기의 성능에는 영향을 주지 않는다. 또한, 수저면에 안전하게 착지시키기 위해 안테나 플랫폼의 가운데에 통수부를 두어 하강 시 물속에서 흔들림 없이 안전하게 착지하도록 유도하였다.

Figure 9는 케이블의 부력을 잡아주기 위해 만들어진 케이블 중량체로 금속을 포함하고 있어 금속탐지기의 탐지범위 밖인 5 m 떨어진 위치에 설치하였다.

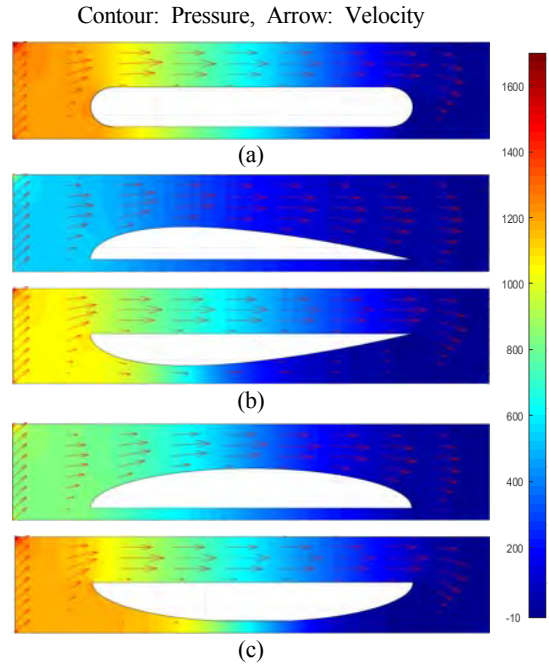


Figure 7: CFD analysis results of caterpillar(a), winged(b) and semi-elliptical(c) models.

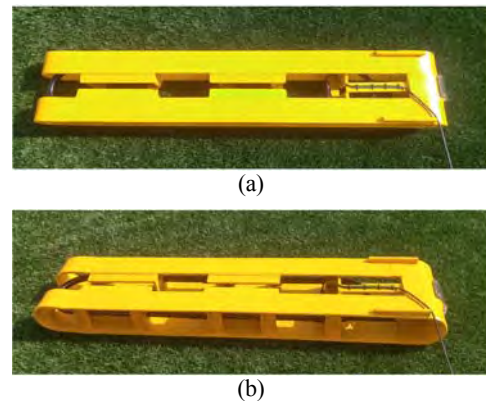


Figure 8: Antenna platform top view (a), side view (b)



Figure 9: Cable weight attached at the towing cable

## 2.4 현장자료 취득 및 처리

### 2.4.1 현장 실험

자료의 취득에 있어서 전자기적 잡음을 최소화하기 위하여 고무보트를 활용하였으며, 안테나 플랫폼에 발하는 항력을 줄이기 위하여 탐사선의 속도를 4 km/h 이하로 설정하고 현장 실험을 수행하였다. **Figure 10**은 충남 태안해역과 경남 거제해역의 100 m × 100 m 크기의 연구지역과 매몰된 시료의 위치를 나타내며, 낙동강 내수면 지역의 200 m × 50 m 크기의 연구지역과 매몰된 시료의 위치를 나타내었다.

### 2.4.2 자료처리

현장 실험에서 얻어진 자료를 처리하기 위해 우선 DC 편향 제거를 수행한다. 금속탐지기에서 넘어오는 원시 자료가 종종 DC 편향을 보이는 경우가 있는데 이를, 고주파 통과 필터를 사용해 효과적으로 제거할 수 있다.

고주파 통과 필터는 지정한 cut-off 주파수 미만의 성분을 제거하고 그 이상의 고주파 대역을 통과시키는 필터로, 본 연구에서는 0.1 Hz의 cut-off 주파수를 지정하여 DC 편향을 제거하였다. **Figure 11**은 DC 편향 제거 전 신호와 이를 제거한 후 신호를 나타낸다.

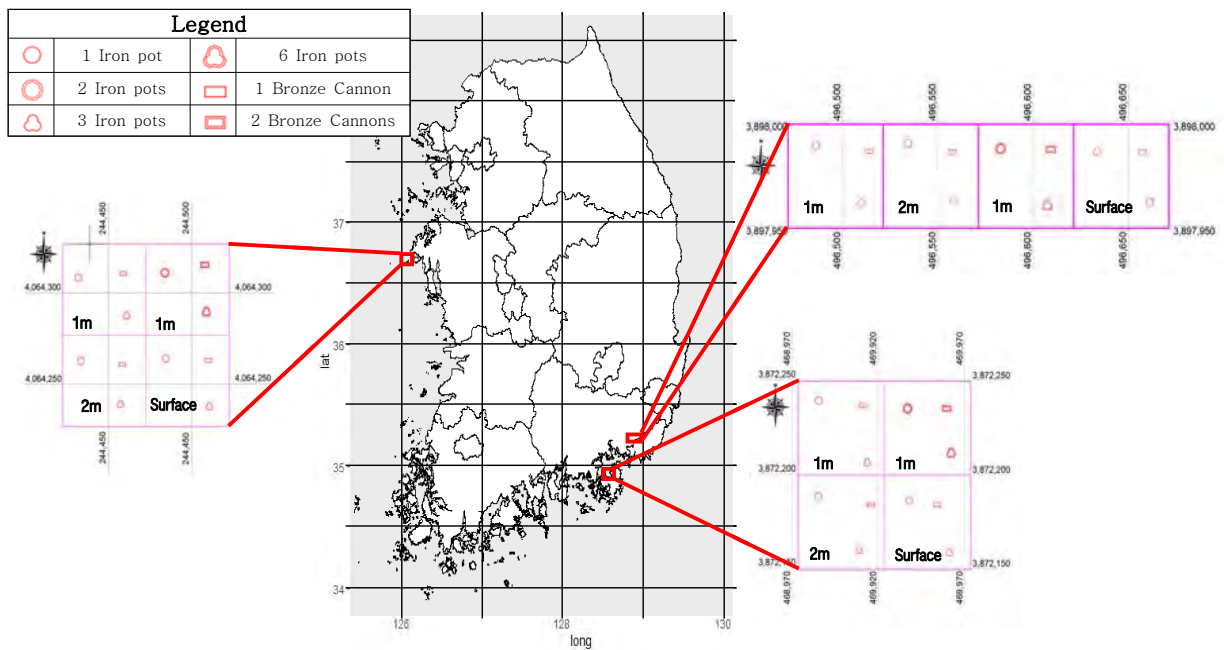


Figure 10: Research area and buried position

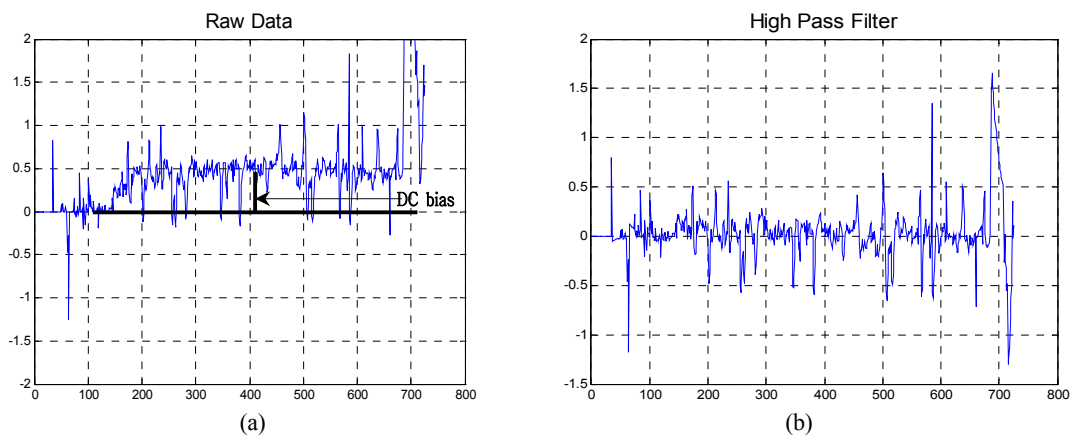


Figure 11: (a) before DC bias removal and (b) after DC bias removal

### 3. 결과

충남 태안, 경남 거제, 낙동강 내수면에서 수행된 현장 실험 중 일부 라인의 기전력 프로파일 결과를 현장별로 나누어 결과를 나타내었다.

#### 3.1 충남 태안해역

Table 3은 충남 태안해역에서 얻은 기전력 값을 프로파일 분석한 결과이다. T-line 1은 1m 매몰된 청동 화포 1개, 철제 숯 3개와 2m 매몰된 청동 화포 1개, 철제 숯 3개를 남북으로 지나는 측선으로 동서 방향에서 측정한 기전력 값보다 시료 위치에서 뚜렷한 반응이 나타나며, 2m 매몰보다 1m 매몰에서 높은 기전력 값이 나타난다. T-line 2는 1m 매몰된 철제 숯 2개와 표층에 놓인 철제 숯 1개를 지나는 측선으로, 표층에 놓인 철제 숯 1개를 지나갈 때 기전력 값이 약 0.8 V로 나타났고, 1m 매몰된 철제 숯 2개는 약 0.6 V를 보인다. T-line 3은 1m 매몰된 철제 숯 1개, 청동 화포 1개, 철제 숯 2개, 청동 화포 2개를 동서로 지나는 측

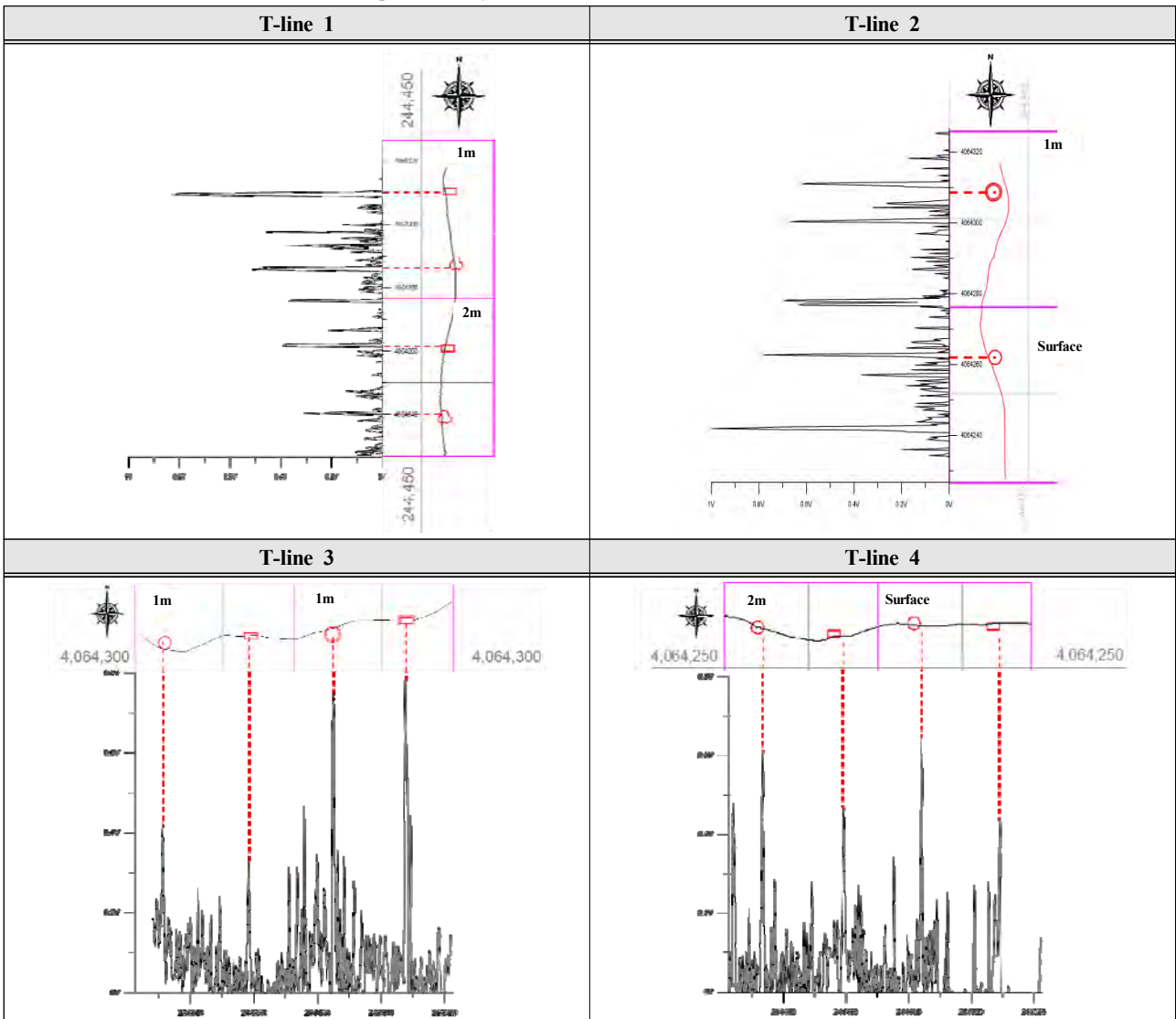
선으로, 시료 위치에서 이상값을 확인했으며, 철제 숯 2개 위치는 약 0.75 V, 청동 화포 2개 위치에서는 0.8 V의 기전력 값을 관찰할 수 있었으며, T-line 4는 2m 매몰된 철제 숯 1개 및 청동 화포 1개, 표층에 놓인 철제 숯 1개와 청동 화포 1개를 동서로 지나는 측선으로 매몰 위치가 아닌 곳에서 약 0.5 V로 기전력 값이 측정되었는데 시료가 아닌 금속성 물체가 존재한다고 예상되며 전반적으로 시료 위치에서 높은 기전력 값을 볼 수 있다.

#### 3.2 경남 거제해역

Table 4는 경남 거제해역에서 얻은 기전력 값을 프로파일 분석한 결과이다.

G-line 1은 1m 매몰된 철제 숯 1개, 청동 화포 1개, 철제 숯 2개, 청동 화포 2개를 동서로 지나는 측선으로, 전체적으로 잡음이 많은 지역이지만 시료 위치에서 이상값을 확인했으며, 시료량이 두 배 많은 지역에서 높은 기전력 값을 관찰할 수 있었다. G-line 2는 2m 매몰된 철제 숯과 청동

Table 3: Taeon eletromotive force value profile analysis



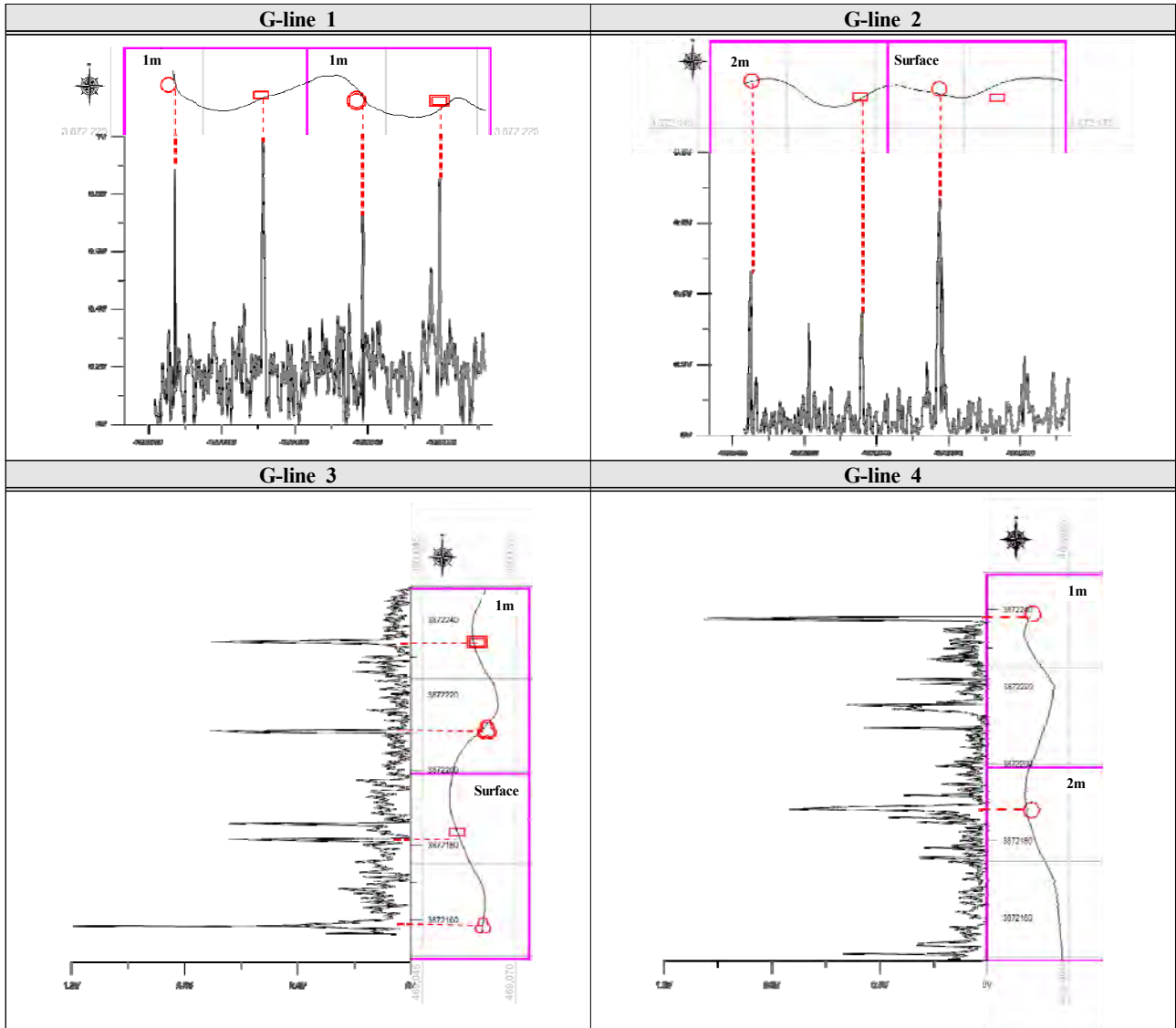
화포 1개, 표층에 놓인 철제 솥을 동서로 지나가는 측선으로 시료 위치에서 높은 기전력 값을 보여준다. G-line 3은 1m 매몰된 철제 솥 6개, 청동 화포 2개와 표층에 놓인 철제 솥 3개와 청동 화포 1개를 남북으로 지나가는 측선으로 표층 철제 솥 3개에서 가장 큰 1.2V의 기전력 값을 가지며, 대체로 시료 위치에서 큰 기전력 값을 가진다. G-line 4는 1m 매몰된 철제 솥 1개와 2m 매몰된 철제 솥 1개를 남북으로 지나가는 측선으로 기전력 값을 살펴보면 시료 위치에서 큰 기전력 값을 가지며, 1m 매몰된 철제 솥에서 약 1.0V, 2m 매몰된 철제 솥에서 약 0.75V로 1m 매몰된 철제 솥이 2m 매몰된 철제 솥보다 높은 기전력 값을 보여준다.

### 3.3 낙동강 내수면

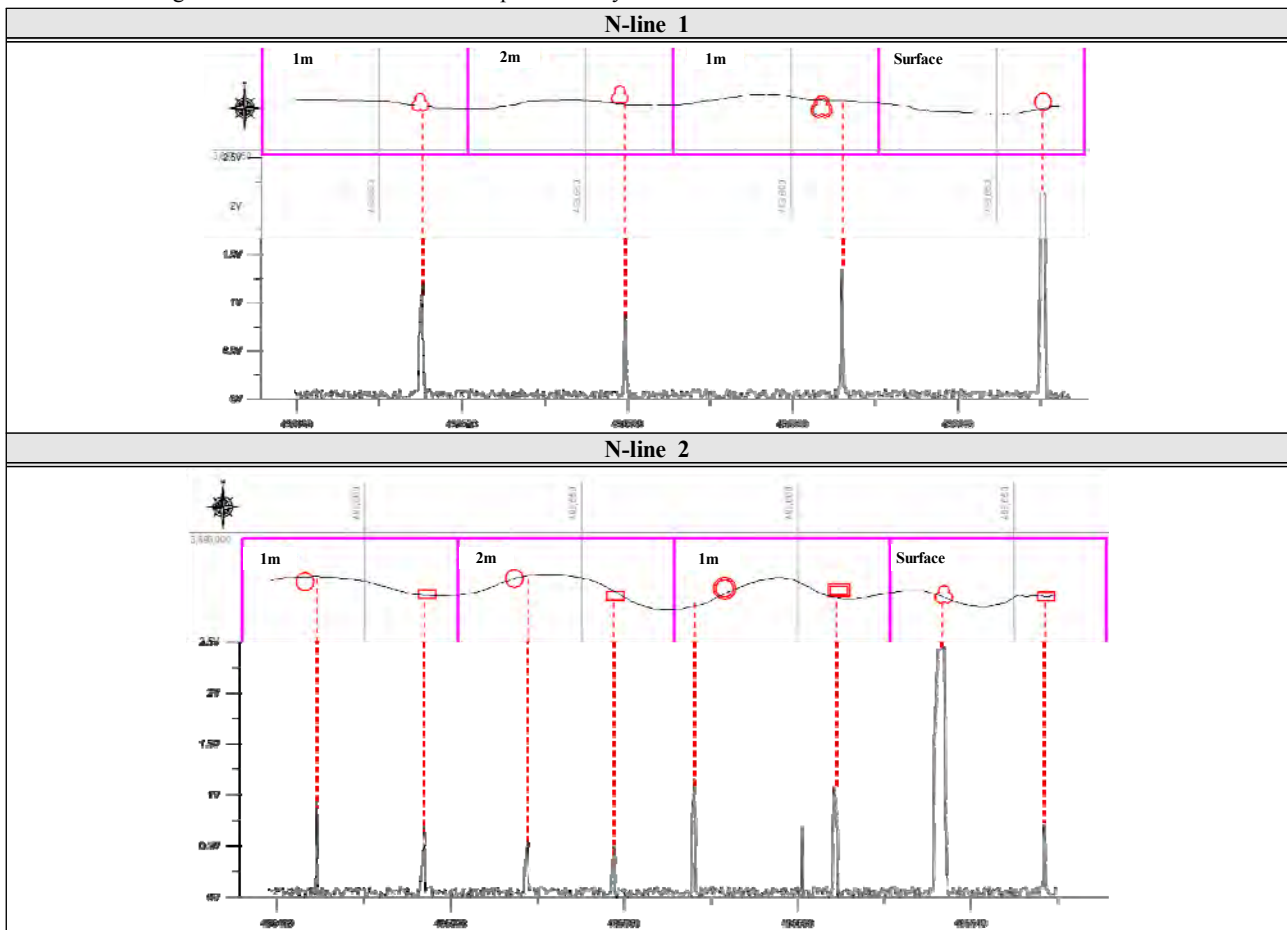
Table 5는 낙동강 내수면에서 얻은 기전력 값을 프로파일 분석한 결과이다. 내수면의 경우 조사지역의 폭이 좁아 동서 방향으로만 실험을 수행하였다.

N-line 1은 1m 매몰된 철제 솥 3개, 철제 솥 6개와 2m 매몰된 철제 솥 3개, 표층에 놓인 철제 솥 1개를 동서로 지나가는 측선으로 1m 매몰된 철제 솥 3개에서는 기전력 값은 약 1.25V이고 2m 매몰된 철제 솥 3개에서는 약 0.8V를 가진다. 안테나가 표층 철제 솥 1개 위치를 지나갈 때 측정된 기전력 값은 약 2.3V로 매우 높은 기전력 값을 보인다. N-line 2는 1m 매몰된 철제 솥 1개, 청동 화포 1개, 철제 솥 2개, 청동 화포 2개와 2m 매몰된 철제 솥 1개과 청동 화포 1개, 표층에 놓인 철제 솥 3개와 청동 화포 1개를 동서로 지나가는 측선으로 1m 매몰된 철제 솥 1개에서는 기전력 값은 약 1.0V이고 2m 매몰된 철제 솥 1개에서는 약 0.6V를 가진다. 1m 매몰된 청동 화포 1개에서는 약 0.7V, 2m 매몰된 청동 1개에서는 약 0.3V로 나타난다. 표층에 놓인 철제 솥 3개의 경우 약 2.3V로 매우 높은 기전력 값이 나타났으며 청동 화포 1개에서는 0.7V로 나타났다.

Table 4: Geojje eletromotive force value profile analysis



**Table 5:** Nakdong river eletromotive force value profile analysis



#### 4. 결 론

본 연구는 기존의 수중 금속 탐지방법들의 단점을 보완하고자 안테나 플랫폼 개발 및 금속탐지 시스템의 소프트웨어 제작을 하였고, 이를 현장에서 실험하여 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 수저면 표층에 놓여있거나 다양한 깊이에 매몰되어 있는 철금속 및 비철금속들을 식별할 수 있었다.
2. 개발된 안테나 플랫폼은 안정적으로 수저면에 안착했으며, 통발과 같은 장애물이 있음에도 원활한 운용이 가능했다.
3. 자력탐사로는 식별 불가능한 청동 화포와 같은 비철금속 시료의 식별이 가능했다.
4. 충남 태안과 경남 거제 지역에는 조업 활동이 활발하여 수저면에 통발과 같은 이상 신호를 유발하는 물체들이 많아 잡음이 크게 나타나고 조업 활동이 불가능한 낙동강 내수면에서는 잡음이 작게 나타났다.
5. 시료의 위치와 금속탐지기의 반응 위치가 차이가 나는 구간이 존재한다. 이는, DGPS의 위치 오차이거나 탐사선과 안테나 플랫폼과의 위치 보정에 따른 오차로 보이며, 이를 해결하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

이러한 결과들을 토대로 수중 금속탐지를 위한 수저면 밀착형 안테나 플랫폼을 사용한다면 강이나 바다에 매몰되어 있는 철금속 및 비철금속 문화재와 불발탄 등을 발견할 수 있으며, 이를 통해 우리나라 역사의 우수성 및 국민의 안전을 지킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### Author Contributions

Conceptualization, S. H. Lee and J. H. Kim; Methodology, S. H. Lee and J. H. Kim; Software, S. H. Lee, S. B. Kim and J. H. Kim; Validation, S. H. Lee and J. H. Kim; Investigation, S. H. Lee, Y. H. Jung, Y. H. Lee, H. D. Kim and Y. H. Kim; Resource, Y. H. Jung, Y. H. Lee and H. D. Kim; Data Curation, S. H. Lee and S. B. Kim; Writing-Original Draft Preparation, S. H. Lee, S. B. Kim and J. H. Kim; Writing-Review & Editing, S. H. Lee, S. B. Kim and J. H. Kim; Supervision, J. H. Kim; Project Administration, J. H. Kim; Funding Acquisition, J. H. Kim;

#### References

- [1] H. D. Kim, C. S. Kim, J. H. Kim, Y. H. Jung, and



- Y. H. Lee, "A study on magnetic survey method for investigating underwater artifacts," Proceedings of the 2013 Korean Society of Marine Engineering Fall Conference, pp. 173-174, 2013 (in Korean).
- [2] S. W. Kim, S. J. Moon, W. K. Kim, D. J. Min, H. K. Jung, S. H. Cho, and H. S. Lee, "Numerical analysis on feasibility of electrical and electromagnetic methods for detection of an anomalous body in seawater," Proceedings of the 2014 Korea Academia-Industrial cooperation Society Spring Conference, pp. 759-761, 2014 (in Korean).
- [3] S. B. Kim, I. S. Park, Y. H. Jung, Y. H. Lee, and J. H. Kim, "Estimating of detectability of magnetic objects buried in the sediments by using a 3D modeling," Proceedings of the 2014 Korean Society of Marine Engineering Spring Conference, pp. 231-232, 2014 (in Korean).
- [4] I. S. Park, H. D. Kim, and J. H. Kim, "Technique of magnetic survey for UXO discrimination," Proceedings of the 2005 Korean Society of Marine Engineering Fall Conference, pp. 159-160, 2005 (in Korean).
- [5] E. Weiss, B. Ginzburg, TR. Cohen, H. Zafrir, R. Alimi, N. Salomonski, and J. Sharvit, "High resolution marine magnetic survey of shallow water littoral area," Sensors, vol 7, no. 9, pp. 1697-1712, 2007.
- [6] S. Tripathi, A. S. Gaur, S. Bhandker, and S. N. Bhandker, "Exploration for shipwrecks off Sunchi Reef, Goa, west coast of India," World Archaeology, vol. 32, no. 3. pp. 355-367, 2001.
- [7] S. Billings, F. Shubitidze, L. Pasion, L. Beran, and J. Foley, "Requirements for unexploded ordnance detection and discrimination in the marine environment using magnetic and electromagnetic sensors," Proceedings of the Oceans 2010 IEEE Sydney Conference, pp. 1-8, 2010.
- [8] H. H. Nelson and J. R. McDonald., "Multisensor towed array detection system for UXO detection," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 39, no. 6, pp. 1139-1145, 2001.
- [9] D. H. Kim, J. H. Kim, S. B. Kim, and H. D. Kim, "Ocean magnetic survey using a differential magnetometer," Proceedings of the 2006 Korean Society of Marine Engineering Fall Conference, pp. 147-148, 2006 (in Korean).
- [10] S. H. Lee, Development of Sledge-type Underwater Metal Detection System, M.S Dissertation, Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University, Korea, 2016 (in Korean).