

함정 발생 수중 전자기장 신호의 특성 및 측정 기법

Characteristics and Measurement Method of the Underwater Electromagnetic Signature Emitted from a Naval Ship

양 창 섭*
Yang, Chang-Seob

정 현 주*
Chung, Hyun-Ju

신 승 제*
Shin, Seung-Je

ABSTRACT

The underwater electromagnetic signatures of a naval ship are mainly generated from three sources which are the permanent and induced magnetic field in the ship's hull and other ferrous components, the cathodic current electromagnetic field established by the Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) system or the Sacrificial Anode and the stray electromagnetic fields generated by onboard equipment. These signatures can be minimized by certain design methods or installation of signature reduction equipment. In this paper, we represented the characteristic of the underwater electromagnetic signature and the signature reduction techniques for a naval ship. Also, we measured the electromagnetic field changes emitted from the real ship using the Electric and Magnetic field Measurement System (EMMS). We found that the underwater electromagnetic signature for a naval ship can be used as input or trigger signal in a surveillance system and an influence mine.

주요기술용어(주제어) : Alternating Electromagnetic Field(교류 전자기장), Static Electromagnetic Field(정 전자기장), Impressed Current Cathodic Protection System(능동 부식방지장치), Active Shaft Grounding(능동 축 접지), Electric and Magnetic field Measurement System(전자기장 측정 시스템)

1. 머리말

기뢰는 수중에서 함정에 대한 가장 효과적이고 위협이 되는 무기체계중의 하나이다. 지금까지 세계 각국의 주요 감응 기뢰들은 음향, 압력센서와 더불어 함정 강자성체에 의해 발생하는 정 자기장 신호를 탐

지하기 위한 자기센서를 주로 사용하여 왔다. 그러나 기존 기뢰들에 대한 함정 대항 능력(소자, 탈자, 저소음화, 비자성화 등)의 지속적인 향상과 소해함의 기뢰소해 능력의 발전으로 인해 최근에는 함정에서 발생하는 정 자기장 및 음향 신호만의 감응에 의한 기뢰방식에서 탈피하여 함정으로부터 방사되는 정 전기장 및 교류 전자기장등의 신호에도 감응하는 복합 감응방식의 새로운 기뢰들이 개발되고 있다. 이러한 새로운 감응 기뢰들에 대한 함 생존성을 높이기 위해서는 기존의 정 자기장 및 음향 신호 분야에 국한되어온

† 2006년 3월 15일 접수~2006년 5월 17일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

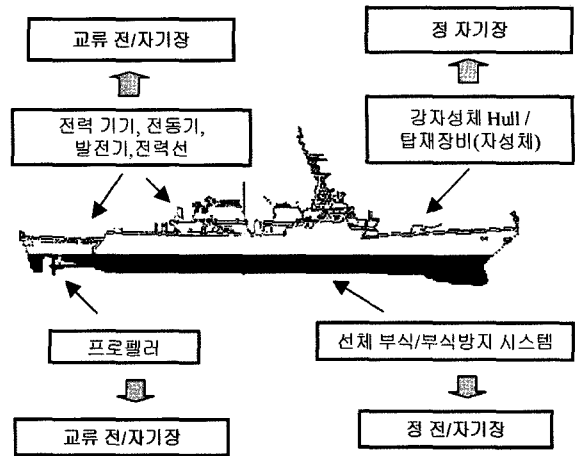
주저자 이메일 : csyang@add.re.kr

수중에서의 합정 신호 관리 체계를 모든 음향 및 비음향 신호들에 대한 관리 체계로 확대할 필요가 있다. 이미 선진 각국에서는 신규 합정들에 대해 이러한 신호원들에 대한 함 안전 허용 기준 및 감소대책 등을 엄격히 적용하고 있으나, 지금까지 국내 합정들은 합정의 방사 소음 감소 대책 및 강자성 선체에 의한 정 자기장 신호 감소 대책에만 주력하여 왔으며, 선체 부식 및 부식방지장치에 의한 정 전자기장 신호 및 합정 탑재 장비들에 의해 발생하는 교류 전자기장 신호의 감소 대책은 미흡한 실정이다.

합정에서 발생하는 정 전기장 신호는 해수에 노출된 선체의 부식으로 인해 강철 선체와 청동 프로펠러 사이에 흐르는 전기 화학적인 전류에 의해 발생되며, 선체 부식 현상을 방지하기 위해 추가적으로 합정에 설치하는 수동/능동 부식방지장치(Sacrificial Anode/ICCP : Impressed Current Cathodic Protection) 또한 중요한 신호 발생원이 된다. 이러한 부식 전류 및 부식방지장치에 의한 전류는 정 전기장 신호의 발생뿐만 아니라 강철 선체의 자화에 의한 정 자기장 신호와는 상이한 부식에 의한 정 자기장 신호를 발생시킨다. 또한, 교류 전자기장 신호는 함 내외에 설치된 다양한 장비들에 의해 발생되며, 이렇게 발생한 신호는 수중으로 전파되어 전자기장 센서가 탑재된 기뢰의 탐지원이 될 수 있다^[1]. 따라서 본 논문에서는 일반적으로 선진 각국에서 적용하고 있는 수중 전자기장 신호의 관리 기법 및 실질적인 감소 방안들에 관해 간략히 언급하고^[2~4], 국방과학연구소에서 보유한 합정 전자기장 측정시스템의 소개와 함께 이를 이용한 대상 합정의 전자기장 신호 측정 시험 절차 및 시험 결과를 기술하였다^[5].

2. 전자기장 신호원의 특성 및 감소 기법

합정에서 발생하는 대표적인 수중 전자기장 신호원들은 그림 1과 같이 교류 전/자기장, 정 전/자기장, 정 자기장 등이 있으며, 발생 원인별 각기 다른 감소 대책 및 관리가 필요하다. 본 장에서는 각 신호 발생원의 분류를 통하여 신호원들의 특성 분석 및 일반적인 주요 감소 대책들에 대해 간략히 기술하고자 한다.



[그림 1] 합정 전자기장 신호발생원

가. 전자기장 신호원의 특성

1) 강자성 선체에 의한 정 자기장 신호

지구 자기장하에서 합정의 자화와 합정의 요동으로 도체 부분에 형성되는 순간 기전력 및 전류 발생 도체 등에 의해 발생하는 합정내의 모든 자기장으로 강자성 합정의 경우, 주로 영구 자장과 유도 자장 성분에 의한 영향들이 대부분을 차지한다. 이외에 지구 자기장하의 합정 선체의 요동에 의한 와 전류(Eddy Current) 자장이 영구, 유도자장에 비해 상대적으로 작은 크기이지만 존재한다.

가) 영구 자장(Permanent Magnetic Field)

어떤 자성체에 동일한 방향의 자장이 계속 작용하면 자장이 제거된 후에도 자성체내에 잔류 자장이 계속 존재하게 되며, 철판의 용접/절단 등의 국부적인 자기특성의 변화, 항해 중 풍랑과 폭발 압력 등에 의한 강한 충격/진동 및 자기 위도가 다른 지역에서의 장기 항해 시에 발생된다. 이러한 영구자장은 함 건조시의 요인 및 항해 경로 등에 따라 동일한 종류의 합정인 경우에도 다른 영구 자장 신호를 가져 이론적인 자기 신호 예측이 거의 불가능한 것으로 알려져 있으나, 최근 프랑스를 중심으로 신호 예측을 위한 연구가 진행 중에 있다.

나) 유도 자장(Induced Magnetic Field)

지구 자기장내에서 합정의 운동에 의해 유도되는

자기장으로 합정의 위치, 침로, 롤링 및 피칭 등에 따라 유도되는 자기장의 크기가 변화한다. 이러한 자기장은 선체의 모양, 크기, 강재의 자기특성 및 중량 분포 등에 의해 결정되므로 동일한 설계 합정의 경우 같은 크기의 유도 자장이 발생되어 이론적인 자기 신호 예측이 가능하게 된다.

다) 와전류 자장(Eddy Current Magnetic Field)

지구 자기장하에서 합정의 운용 시(이동, 회전등)에는 전기적 도체인 선체 표면에는 와전류가 발생하게 되고 이러한 와전류에 의한 자장을 와전류 자장이라 한다. 특히 합정의 롤링 시에 크게 발생되며, 이론적인 자기신호 예측이 가능하다.

2) 선체 부식에 의한 정 전기장 및 자기장 신호

선체 부식에 의한 정 전기장 및 자기장 신호는 선체금속 표면의 원자가 그 결정격자를 이탈해서 주변 환경(해수, 토양 등)과 화학적 반응을 일으킴으로써 금속의 손상을 주는 부식 현상에 의해 발생하는 전기장 및 자기장 신호와 이러한 선체 표면의 부식을 방지하기 위하여 합정에 설치되는 수동/능동 부식방지 장치의 인가 전류에 의해 발생하는 정 전기장 및 자기장 신호를 의미한다. 일반적으로 은-염화은(Silver-Silver Chloride) 전극을 통해 측정되는 선체의 전위는 약 -600mV 정도로 특별한 부식방지 대책(코팅, 부식방지장치)을 사용하지 않을 경우에는 1년에 약 1mm정도의 부식이 발생할 수 있다고 보고되고 있다. 그러나 적절한 전류 인가를 통해 선체 전위를 -800mV 정도로 유지하게 되면 년 간 1 μ m이하가 되어 선체 운용 주기 내에는 부식에 의한 선체의 손상은 거의 무시할 수 있다. 합정에서의 부식 방지는 합정을 부식에 의한 손상으로부터 보호하여 정비 비용을 감소할 수 있다는 측면에서 반드시 필요하지만 이러한 부식방지 전류는 기뢰 및 감시 체계가 합정을 탐지할 수 있는 정 전기장 신호와 정 자기장 신호를 발생시키는 문제점을 내포하고 있다.

3) 교류 전기장 및 자기장 신호

합정에서의 교류 전자기장 신호는 다양한 원인에

의해 발생되어지며, 대표적인 원인으로서는 프로펠러축의 회전 시 부식 방지 전류의 변조 현상에 의한 수십 Hz 대역까지의 전기장 및 자기장 신호가 발생할 수 있고, 능동부식방지장치의 필터 특성이 나쁜 경우에도 수백Hz 대역의 교류 신호가 발생된다. 또한, 함내 60Hz 및 400Hz를 사용하는 전력 기기, 전동기, 발전기 및 전력선들에서 누설되는 수kHz 대역까지의 교류 전자기장 신호들도 해수를 통해 전파된다.

나. 전자기장 신호원의 감소 기법

1) 강자성 선체에 의한 정 자기장 신호

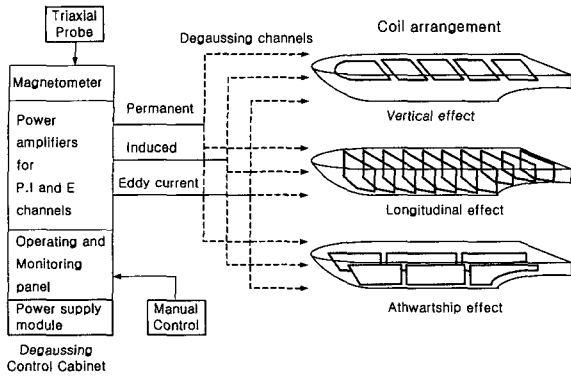
강자성 선체에 의한 정 자기장 신호원의 통제 및 감소 기법으로는 전용 탈자(Deperming) 시설 및 함내에 별도의 소자장비(Degaussing system)를 설치하여 운용하는 것이다.

가) 탈자

세계 제2차 대전 이후부터 현재까지 영국, 미국을 포함한 대부분의 국가에서 사용하고 있는 자기처리 방식으로, 합정 전체를 수용할 수 있는 탈자 시설에 종축 자화를 제거하는 솔레노이드 형 X-Coil 시스템, 횡축 자화를 제거하는 Y-Coil 시스템과 수직 자화를 제거하는 Z-Coil 시스템으로 구성되어 있다. 먼저 합정의 이전 자기 이력(Magnetic History)을 제거하여 자기 평형상태(Equilibrium State)를 형성한 후 수평/수직 방향의 영구 자장 성분을 제거한다.

나) 소자

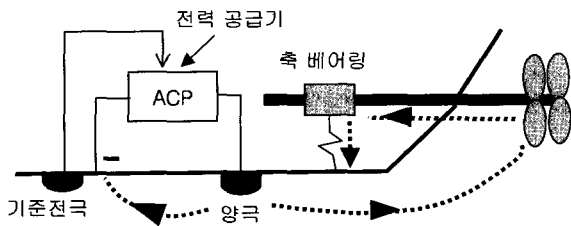
자기 기뢰가 부설되어 있는 해역을 항해할 때 자기 기폭장치로부터 자함을 보호하기 위해 함 내부에 설치되는 장비로써 탈자 후 남아있는 수직, 수평 종축 및 수평 횡축 성분들의 잔류 영구자장과 함 운용 조건에 따라 발생하는 유도자장을 없애는 역할을 담당한다. 소자장비는 그림 2와 같이 합정의 수직, 수평 종축 및 수평 횡축 방향으로 설치되는 소자코일, 코일에 전류를 공급하기 위한 전원공급기, 항해 중 함 운동에 의한 유도자장 성분의 변화를 실시간적으로 보상하기 위한 3축 자기센서(Triaxial Probe) 및 소자장비 전체를 제어하기 위한 제어기 및 전력 공급기 등으로 구성된다.



[그림 2] 소자장비의 구성

2) 선체 부식에 의한 정 전기장 및 자기장 신호

부식에 의한 정 전기장 및 정 자기장 신호는 선체 재질/구조, 선체 도료 종류 및 조건, 함정 운용수심, 수동/능동 부식 방지 장치 설계 등의 운용조건들과 수심/수온, 해수 및 해저면의 전도율 등의 환경조건들에 따라 크게 달라질 수 있어 신호원의 통제 및 감소 대책 수립에 어려움이 있다. 지금까지 선진 각국에서는 운용/환경 조건 변화에 따른 함정의 전기장 및 자기장 예측을 위해 주로 수치 해석 기법과 다이폴 모델링 기법 등을 적용하여 함정 부식방지장치 설계의 최적화 연구를 수행하고 있다. 소형 함정의 경우 주로 희생 양극을 이용한 수동 부식방지 방식을 사용하고 있으며, 희생 양극의 개수 및 최적 배치 등을 통해 함정 부식 방지 및 전기장과 자기장 신호를 줄여줄 수 있다. 한편, 중형 이상의 함정들에서는 ICCP 장비를 이용한 능동 부식방지 방식을 채택하고 있으며 이 경우에는 전원공급기 용량의 최적화 및 양극(Anode)과 기준전극(Reference Electrode)의 개수 및 최적 배치 등을 통해 함정 부식 방지 및 전기장과 자기장 신호 발생을 최소화할 수 있다.



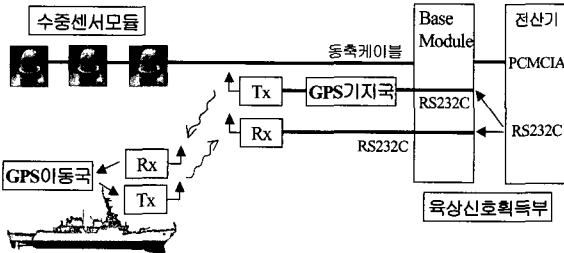
[그림 3] 능동부식방지장치(ICCP)의 개념도

3) 교류 전기장 및 자기장 신호

현재 대부분의 함정들에서는 프로펠러축에 슬립 링과 브러시를 통해 축과 선체 간을 접지시킴으로써 프로펠러축의 부식 및 교류 전자기장 신호 발생을 억제하는 수동 축 접지(Passive Shaft Grounding) 장치를 장착하여 운용 중에 있으나, 슬립 링 조립체와 브러시는 주기적인 정비가 필요하고 성능이 떨어진 상태에서는 국부적인 축의 부식이나 교류 전자기장 신호를 발생시킬 수 있으므로 완전한 억제 대책은 되지 못한다. 또한 정상 상태의 수동 축 접지장치의 경우에도 축과 선체간의 저항이 약 1mΩ정도로써 완전한 접지는 이루어지지 않는다. 이와는 달리 별도의 슬립 링을 통해 축과 선체간의 전위를 실시간으로 측정하여 축과 선체간의 저항(또는 전위)이 급격히 증가할 경우에는 별도의 슬립링 및 전원공급기를 사용해서 강제적으로 축을 통해 흐르는 부식 전류를 조정함으로써 축의 부식 방지뿐만 아니라 교류 전자기장 발생을 억제할 수 있는 능동 축 접지장치(Active Shaft Grounding)가 캐나다의 W. R. DAVIS사 등에 의해 개발되어 세계 각국 해군 함정들에 사용되고 있다. 이 장치를 사용할 경우 축과 선체의 저항을 10 μΩ정도로 줄여 줄 수 있어 축과 선체의 완전한 접지가 가능하게 된다^[3]. 또한, 능동 부식방지장치의 전원 리플(ripple)에 의해 교류 전자기장 신호가 발생할 수 있는데 이러한 신호는 전원 주파수 차단 특성이 우수한 필터를 사용하여 제거한다. 이외에 함 내 전력 기기, 전동기, 발전기 및 전력선들에 의한 교류 전자기장 신호들은 개별 차폐장치와 전류 환(Current loop) 형성 억제 등의 저주파 신호 보상 기법들을 사용하여 신호 발생을 최소화할 수 있다.

3. 전자기장 신호 측정시스템의 설계/제작

함정 전자기장 신호 측정시스템(Electric and Magnetic Measurement System : EMMS)은 표적 함정의 자기적 특성 및 부식전류 등으로부터 발생하는 전기장 및 자기장 신호의 변화를 측정하기 위한 시스템으로써 그림 4와 같이 수중 센서 모듈(3조) 및 수중 신호 전송선을 포함하는 수중 센서 부, 수중



[그림 4] 합정 전자기장 측정시스템 구성

센서 모듈의 전원을 공급하고 합정 신호 데이터를 수집, 저장 및 전시하기 위한 육상 신호 획득 부 및 피 측정 합정의 이동 궤적을 전송받기 위한 DGPS (Differential Global Position System) 모듈부등으로 구성된다.

가. 수중 센서 부

수중 센서 부는 3개의 센서 모듈로 구성되며, 각 센서 모듈은 3축 전기장 센서, 3축 자기장 센서, 압력 센서, 온도센서, 센서 부 인터페이스 모듈, 압력 하우징(Pressure Housing), 전기장 센서 보호치구(UEP protection Sphere) 및 해저 설치용 삼발이등으로 구성되어 있다. 각 센서 모듈에서는 2개의 독립적인 틸트 정보, 3축 자기장 신호, 3축 전기장 신호, 온도, 압력 및 틸트 정보 등을 수집하도록 되어 있으며, 측정된 데이터는 양자화 되어 육상 신호획득부로 전송된다. 표 1과 그림 5는 수중 센서부의 주요 특성 및 수중 센서부의 외형을 나타낸다.

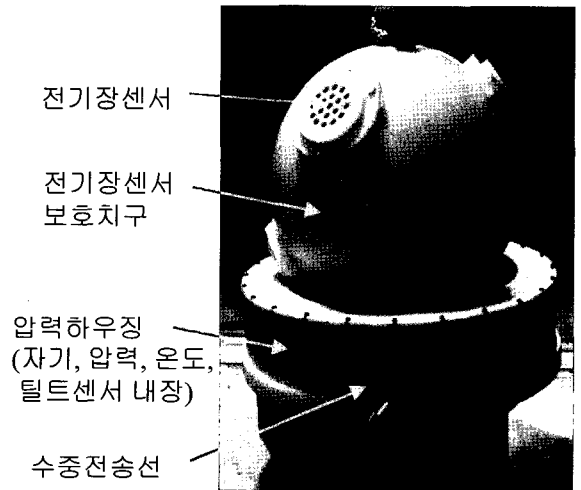
나. 육상 신호 획득 부

육상 신호 획득 부는 각 수중센서모듈들을 원격 제어하게 하고 신호 데이터를 수집하기 위해 수중 센서부와 수중 전송선 간에는 데이지 체인(Daisy Chain) 형태로 구성되고, 별도 운영되는 DGPS 장비를 통해 합정의 GPS 위치좌표 값들을 실시간으로 전송받기 위한 인터페이스 기능을 포함한다. 또한 신호 획득 장비 내에는 수중 센서부의 전원 공급을 위한 전원공급기 모듈이 추가로 포함되어 있다.

그림 6은 육상 신호 획득 장비의 외형 사진을 나타내며, 신호 획득 장비 내에 사용된 CPLD 소자는 센서 모듈들로부터 데이터 수집하고 최종 파일 형식을

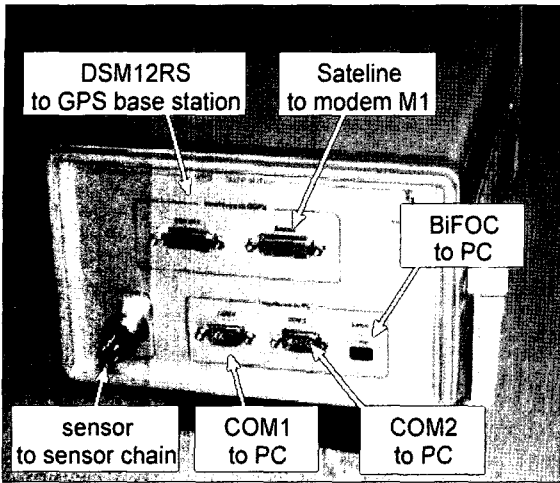
[표 1] 수중 센서 부 주요 특성

구성 품	항 목	규 격
3축 자기센서 (Magnetometer)	잡음 준위	10pT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ @1Hz
	동적 범위	$\pm 70\mu\text{T}$
	센서 대역폭	fsample/4
3축 전기장센서 (UEP Sensor)	잡음 준위	1nV/(m $\sqrt{\text{Hz}}$)@1Hz
	동적 범위	$\pm 10\text{mV/m}$
	센서 대역폭	fsample/4
온도센서	측정 범위	0~40°C
	정밀도	0.1°C
압력센서	측정 범위	0~15Bar
	정밀도	0.015Bar
틸트센서	보정 범위	$\pm 30^\circ$
	정밀도	$\pm 0.25\%$

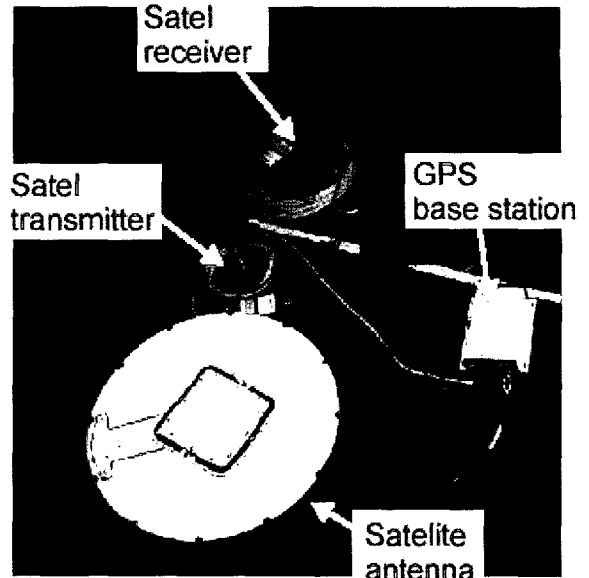


[그림 5] 수중 센서 부 외형

결정하는 기능을 담당한다. 샘플링을 위한 자체 발전기를 내장하고 있으며, 20MB/s의 속도로 양방향 통신이 가능한 광 통신 인터페이스(BIFOC) 모듈을 사용하였다. 전송선에 의한 센서 공급 전원의 전압 강하 영향을 고려하여 고전압용 전원공급기를 사용하였으며, 각 센서 모듈들에는 입력 허용 범위가 넓은



[그림 6] 신호 획득장비



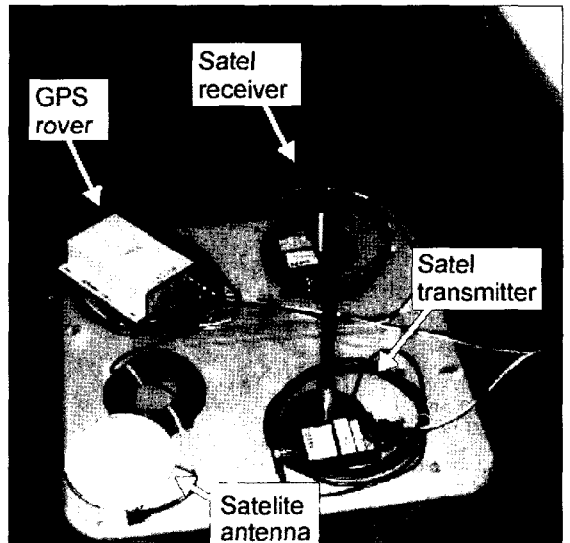
[그림 7] GPS 기지국

DC-DC 변환기를 사용되었다.

육상 신호 획득부의 전원 공급은 입력 전압 범위가 80~220V AC 또는 DC인 24V/75W 스위칭 전원 공급 장치에서 담당하며, 전체 시스템의 전력 소모는 약 50W이다. DGPS 기지국 및 위성 모델용 12V 전압은 DC-DC 변환기(24V/12V, 15W)로부터 공급되며, 센서 전원 공급용 스위칭 모드 전원 장치는 CPLD를 통해 24V에서 80V의 가변 발생된다. 3조의 센서 모듈에 대해서 약 20W의 전력 소비가 발생한다.

다. DGPS 모듈 부

DGPS 모듈 부는 육상 측정소에 설치되는 GPS 기지국(Base Station)과 함정에 직접 설치되는 이동국(Rover Station)으로 구성되며, GPS 이동국은 함정의 이동 궤적을 실시간으로 GPS 기지국에 전송한다. 그림 7과 그림 8은 GPS 기지국 및 이동국의 주요 구성 장비 구성 사진을 나타낸다.



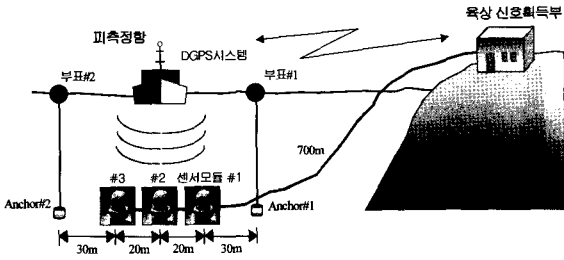
[그림 8] GPS 이동국

4. 해상시험 결과 분석

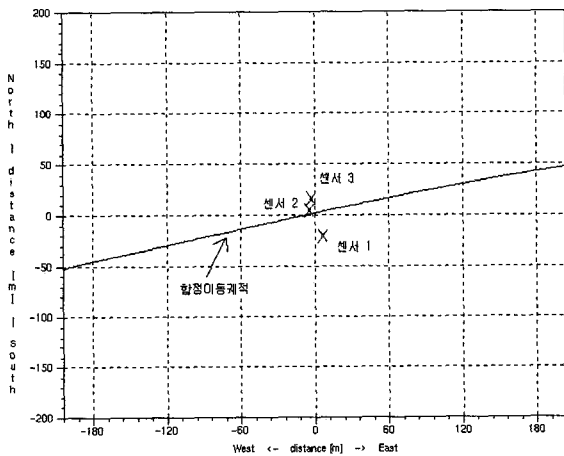
가. 시험 방법

함정 전자기장 측정 시스템을 이용한 실 함정의 전자기장 신호 측정 시험은 그림 9와 같이 수행되었다. 각 센서 모듈들은 20m 내외의 간격을 유지하여

수심 17m의 해저 바닥면에 설치되었고 센서 1번 모듈과 센서 3번 모듈로부터 양쪽 30m 떨어진 지점에 함정 기동을 위한 부표를 설치하였다. 시스템 설치가 종료된 후에는 GPS 이동국을 탑재한 피 측정 함정을 일정한 속도로 왕복 기동시키면서 측정시험을 수행하였다.



[그림 9] 측정시험도



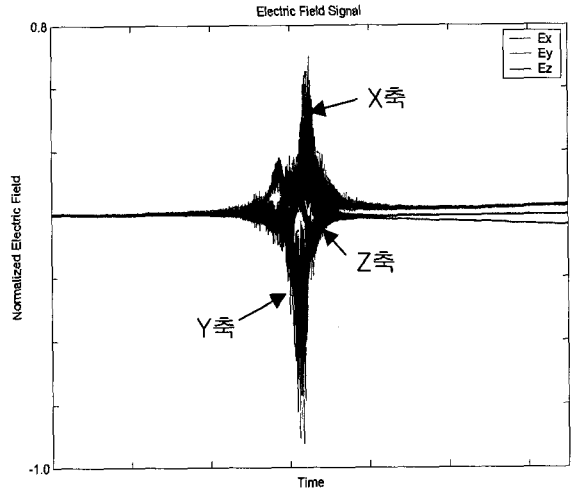
[그림 10] 피 측정함 이동궤적

나. 시험 결과

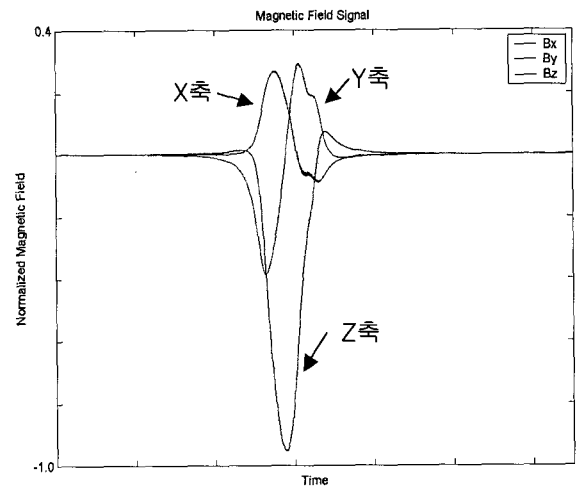
피 측정함의 이동 궤적 및 특정 샘플링 주파수 (fsample)로 측정된 전기장 신호와 자기장 신호는 그림 10~12와 같다. 합정의 이동 궤적에 따라 최 근접 센서에 기록된 전기장 및 자기장 신호 데이터를 기준으로 각각의 값들은 정규화 하여 나타내었다.

다. 신호 특성 분석

피 측정함의 원 신호로부터 정/교류 전자기장 신호 특성을 알아보기 위해 시간 영역 및 주파수 영역 신호 특성 분석을 수행하였으며, 가장 큰 크기의 출력 값이 나타나는 축의 신호를 가지고 분석하기 위해 전기장은 Y축, 자기장은 Z축 신호를 기준으로 하여 분석하였다. 교류 전자기장 성분과 정 전자기장 성분을 추출하기 위해 소나(Sonar) 신호처리 시 저주파 잡음 제거기법으로 흔히 사용되고 있는 S2PM법(Two Pass Split Window Algorithm)을 사용하였으며, 이 때 사



[그림 11] 전기장 원 신호



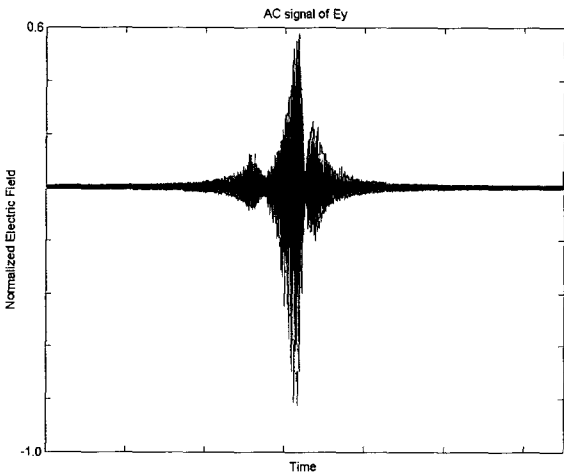
[그림 12] 자기장 원 신호

용한 윈도우의 크기는 80이고, 갭(Gap)은 2로 설정하였다^[6].

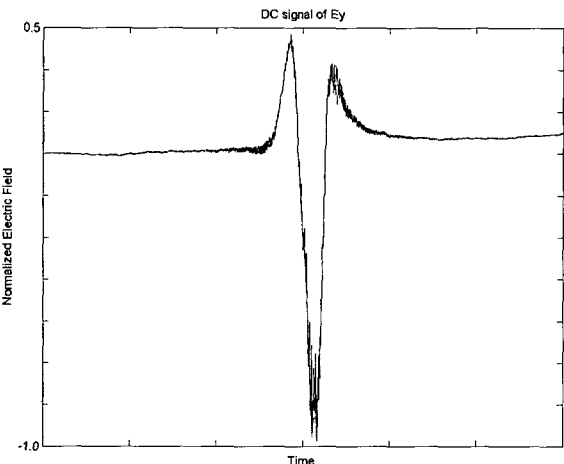
그림 13과 14는 S2PM법을 사용하여 Y축 정 전기장 성분과 교류 전기장 성분을 분리한 결과이다. 그 결과 전기장 신호에는 정 전기장 성분과 교류 전기장 성분이 함께 포함되어 있음을 확인할 수 있었고, 교류 전기장 신호와 정 전기장 신호 모두 피 측정 함정이 센서 최 근접점을 통과할 때 가장 큰 크기의 신호가 측정됨을 알 수 있다.

교류 전기장 신호에 대한 주파수 성분 분석은 측정

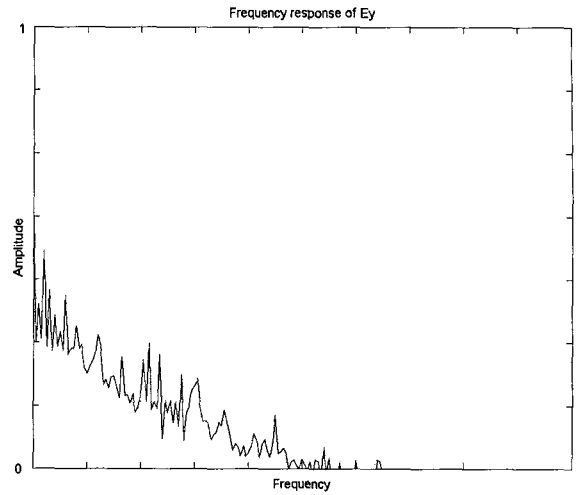
장비 자체의 전원 주파수 잡음 성분에 의한 영향을 배제하기 위해 먼저 Auto correlation을 취한 후 FFT (Fast Fourier Transform)를 수행하였다. 그림 15는 피 측정 함정이 없는 경우의 환경 잡음 신호에 의한 주파수 특성 분석 결과이며 그림 16은 그림 13의 Y축 교류 전기장 신호에 대한 주파수 특성 분석 결과를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 피 측정 함정에 의한 교류 전기장 신호는 어느 특정한 주파수에서 토널(Tonal) 성분을 가지는 신호가 나타나지는 않지만 전 주파수 대역에서 신호의 크기가 크게 증가됨을 볼 수 있다.



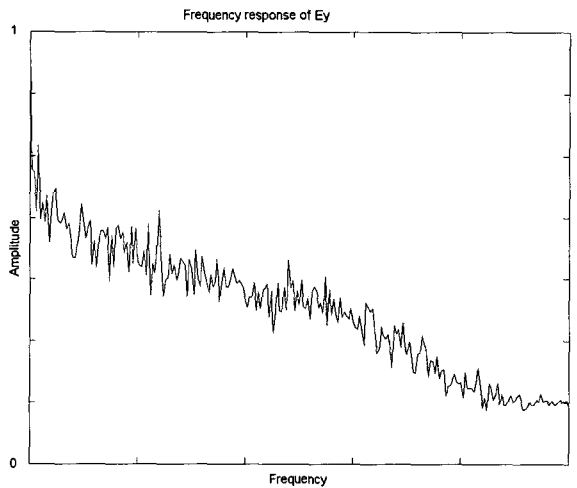
[그림 13] Y축 교류 전기장 신호



[그림 14] Y축 정 전기장 신호

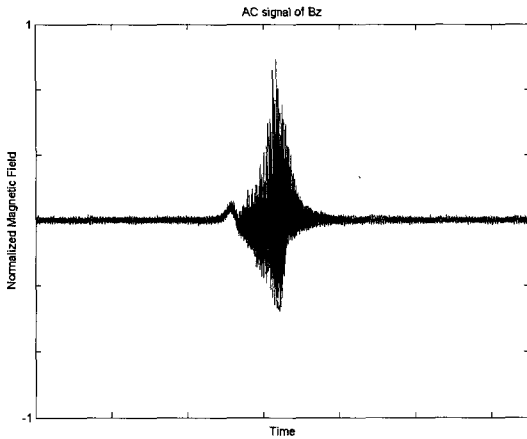


[그림 15] Y축 전기장 신호 주파수 특성 (환경 잡음 신호)

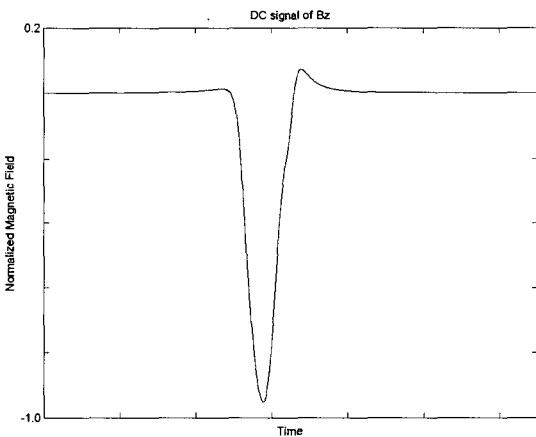


[그림 16] Y축 전기장 신호 주파수 특성(함정 신호)

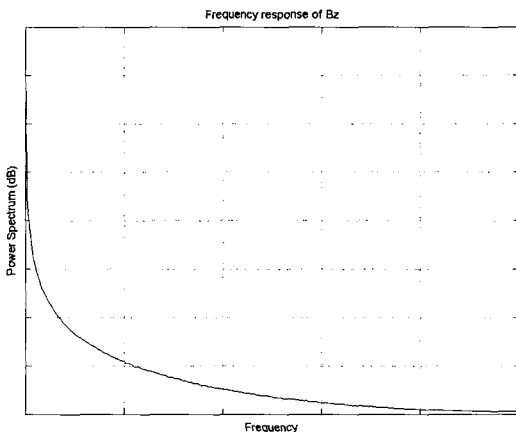
자기장 신호 특성 분석의 경우에도 전기장 신호 분석과 동일한 방법을 적용하였으며, Z축에 대한 교류 자기장 성분, 정 자기장 성분 및 주파수 분석 결과를 그림 17~19에 나타내었다. 그 결과 자기장 신호도 전기장 신호와 마찬가지로 정 자기장 성분과 교류 자기장 성분이 함께 포함되어 있음을 확인할 수 있었고, 교류 자기장 신호와 정 자기장 신호 모두 피 측정 함정이 센서 중앙을 통과할 때 가장 큰 크기의 신호가 측정됨을 볼 수 있다.



[그림 17] Z축 교류 자기장 신호



[그림 18] Z축 정 자기장 신호



[그림 19] Z축 자기장 신호 주파수 특성

5. 맺음말

본 연구에서는 함정에서 발생 가능한 수중 전자기장 신호원의 특성을 규명하고 현재 선진 각국의 신규 함정들에 대해 적용되는 신호 감소 대책을 조사하여 기술하였다. 또한 현 국방과학연구소에서 보유하고 있는 함정 전자기장 신호 측정 시스템의 세부 구성, 실 함정을 이용한 해상 측정 시험 방안 및 시험 결과 분석 내용을 요약하여 설명하였다.

해상시험 결과를 근거로 함정에서는 정 전자기장, 교류 전자기장 등 다양한 형태의 전자기장 신호가 발생됨을 확인할 수 있었으며, 향후 신규 건조 예정 함정들에 대해서는 수중 전자기장 신호원들에 대한 허용 기준 설정 및 실질적인 감소 대책 수립이 필요한 것으로 판단된다. 또한 새로운 신호 탐지 센서의 개발을 위한 연구도 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Richard Holt, "Detection and measurement of electric fields in the marine environment", UDT 96, pp.474~479, 1996.
- [2] J. C. Hubbard, S. H. Brooks, B. C. Torrance, "Practical measures for the reduction and management of the electro-magnetic signatures of in-service surface ships and submarines", UDT 96, pp.480~485, 1996.
- [3] P. M. Holtham, I. G. Jeffrey, "ELF signature control", UDT 96, 474~479, 1996.
- [4] Laurent demilier, dominique Saliu, "Optimisation of the ship degaussing system ranging adjustment using numerical methods", MARELEC, pp.85~95, 2004.
- [5] 양창섭, 정현주, "함정 전자기장 측정시스템 설계/제작 및 성능시험 결과", 국방과학연구소, 2004.
- [6] Richard O. Nielsen, "Sonar Signal Processing", pp.145~150, 1991.