

선체 전자기 신호원 및 감소 대책

정현주, 양창섭
국방과학연구소

The ship electromagnetic signatures and their countermeasures

Hyun-Ju Chung, Chang-Seob Yang
Agency for Defense Development

Abstract-수중에는 대기중에서와는 달리 음향, 압력, 전자기장 등이 주 탐지원이 된다. 이중 선체에서 발생하는 전자기장은 강자성체로부터 발생하는 정 자기장 이외에 선체 자체의 부식과 부식 방지 장치에서 발생하는 정 전·자기장 및 ELFE대역의 교류 전·자기장으로 나눌 수가 있다. 이처럼 수중에서 탐지 가능한 비음향 전자기 신호원이 교류 전자기장 등으로 다양화됨에 따라 선체 건조시 이러한 신호 발생원들의 종합적인 관리 및 감소 대책이 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 선체에서 발생하는 전자기장 신호원의 종류와 발생원인을 기술하고, 이러한 신호원들을 감소시키기 위한 대책을 소개하였다.

장 신호(CRM) 및 이러한 전류들의 변조에 의한 교류 전자기장 신호로 구분된다.

표 1. 발생원인에 따른 선체 전자기장 신호원

종 류	발 생 원 인
정 자기장	강자성체 Hull/탑재장비(자성체)
교류 자기장	전력공급장치(모터, 발전기, 배전반)
정 전/자기장	선체부식/부식방지 시스템
교류 전/자기장	선체의 프로펠러

1. 서 론

수중에서 음향, 압력, 전자기 신호 등이 혼재되어 있다. 기존에는 수중물체의 탐지를 위하여 음향, 압력센서와 더불어 선체 강자성체에 의해 발생하는 정자기장 신호를 탐지하기 위한 자기센서가 주로 사용되었다. 이중 선체에서 발생하는 전자기장 강자성체로부터 발생하는 정 자기장 이외에 선체 자체의 부식과 부식 방지 장치에서 발생하는 정 전·자기장 및 교류 전·자기장도 수중 물체의 탐지를 위한 신호원이 될 수 있다. 선체에서의 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 선체에 설치하는 수동/능동 부식방지장치(Zinc Anode 또는 ICCP) 또한 주 신호 발생원이 된다. 이러한 부식 및 부식방지장치에 의한 전류는 정 전기장 신호의 발생뿐만 아니라 강철 선체의 화화에 의한 정 자기장 신호와는 상이한 정 자기장(CRM : Crossion Related Magnetic) 신호를 발생시키며, 프로펠러 축의 회전에 의한 부식방지 전류의 변조(Shaft Rate ELFE) 현상에 의해 수십 Hz대역의 신호가 발생할 수 있으며, 능동 음극보호장치의 필터 특성이 나쁜 경우(Power Frequency ELFE)에도 수백 Hz대역의 교류 신호가 발생된다[1-2].

선체의 정 전기장 신호는 강철 선체와 청동 프로펠러 사이의 전위차에 의해 발생될 수 있으며, 선체의 부식을 막기 위해 사용되는 수동 음극보호장치 또는 능동 음극 보호장치에 의해서도 발생된다. 선체 강자성체에 의한 자기장이 그림 1에서와 같이 거리의 제곱에 반비례하여 감소하는 반면에 부식에 의해 발생하는 정 자기장은 거리의 제곱에 반비례하여 감소하기 때문에 강자성체에 의해 발생하는 자기장보다 더 먼 거리까지 신호가 전달된다. 또한, 강자성체에 의한 신호와는 달리 신호 발생원인 선체 외부 요인에 존재하게 되므로 선체 내부에 탑재된 소자장비(degaussing equipment)로는 신호를 줄일 수 없으며, 능동 음극보호장치(ICCP)에 의해서만 조정이 가능하다.

선체에서의 교류 전자기장 신호는 프로펠러 축의 회전에 의한 부식 방지 전류의 변조(Shaft Rate ELFE) 현상에 의해 수십 Hz대역의 신호가 발생할 수 있으며, 능동 음극보호장치의 필터 특성이 나쁜 경우(Power Frequency ELFE)에도 수백 Hz대역의 교류 신호가 발생된다[1-2].

II. 선체 전자기장 신호의 특성

2.1 선체 전자기장 신호원

선체에서의 부식 현상과 부식방지 장치의 사용으로 인해 발생된 전류에 의한 전자기장 신호는 환경 조건 및 선체 운용조건에 따라 달라질 수 있지만 수 백미터까지 신호가 전달될 수 있음으로 인해 강자성 선체에 의해 발생하는 정 자기장 신호와 마찬가지로 표적 존재유무를 확인하기 위한 신호원으로 사용될 수 있다. 이러한 선체로부터 발생하는 전자기 신호원들은 표 1과 같이 부식 또는 부식방지 전류에 의한 정 전기장(Underwater Electric Potential 또는 Static Electric) 신호와 정 자기

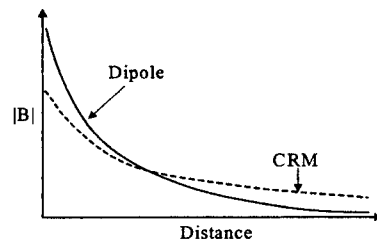


그림 1. Dipole 및 CRM에 의한 자기장 신호의 거리에 따른 감쇠

2.2 선체의 부식 및 부식 방지 장치

부식이란 금속 표면의 원자가 그 결정 격자를 이탈해서 환경(해수, 토양등)과 화학적 반응을 일으켜 금속의 손상을 일으키는 현상을 의미하며, 전위차가 존재하는 상이한 금속(선체-프로펠러), 전해질(해수) 및 두 금속간의 연결 도선(프로펠러 축)이 존재하는 경우에만 부식

현상이 발생되므로 이를 부식의 3요소라고 한다. 이러한 부식 과정에서 쉽게 이온화 되려는 경향을 가진 금속을 양극(Anode), 그 반대 금속을 음극(Cathode)이라고 정의한다. 선체의 경우, 청동 프로펠러에 비해 이온화 경향이 높은 강철 선체는 양극이 되며, 이 선체가 해수에 포함된 산소와 결합하여 산화함으로써 부식현상이 발생하게 되고, 선체 표면의 큰 손상을 가져온다[3].

부식을 방지하기 위한 방법으로는 선저 표면에 내부식성 도료 도포와 함께 선체보다 전위가 낮은 금속들을 선저에 부착하는 수동음극보호(Passive Cathodic Protection)장치 또는 선저의 전위를 실시간으로 모니터링하여 선체 부식이 일어나지 않는 전위로 유지시켜주는 능동 음극보호(ACP:Active Cathodic Protection 또는 ICCP:Impressed Current Cathodic Protection)장치 등이 사용되고 있다.

일반적인 선체 선저전위는 Silver/Silver Chloride 기준 전극을 사용하여 측정시 약 -600mV이며, 청동 프로펠러의 경우는 약 -200mV 정도라서, 음극 보호장치가 없는 경우에는 1년에 약 1mm 정도까지 선저 표면의 부식이 진행될 수 있으며, 선저 표면 전위를 -800mV로 유지한다면 부식율은 1년에 약 1μm 정도가 되어 선체의 부식에 의한 영향은 무시할 수 있다. 아울러 선저 표면 전위를 더욱 낮추게 되면 부식 방지 측면에서는 더 우수한 효과를 얻을 수 있지만, 이로 인한 전기장 신호의 발생 증가와 선저 표면 도료의 손상을 가져오는 단점이 있어 대부분의 세계 각국에서는 -750mV에서 -900mV 정도 범위의 전위를 유지하도록 규정하고 있다. 수동 음극보호장치의 경우는 선저 표면보다 먼저 부식을 일으키는 양극(Anode) 금속판의 소모가 불가피하여 정기적인 정비 및 교체가 필요하지만, 능동 음극보호장치는 비소모성 양극 금속, 기준 전극 및 전원 공급장치를 사용함으로써 초기 투자비용 측면에서는 수동 음극보호장치보다 높지만 유지 비용이 낮음으로 인해 최근 대부분의 선체들에서는 능동 음극보호장치를 설치하고 있는 추세이다. 능동 음극보호장치의 작동 원리는 그림 2와 같다.

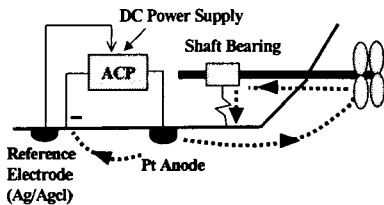


그림 2. 능동 음극보호장치의 작동 원리

III. 신호원의 관리 및 감소 대책

3.1 정 전자기장 신호 감소 및 관리

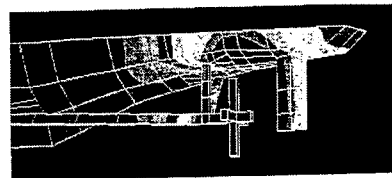
선체의 부식 및 부식방지 전류에 의한 정 전기장 신호와 정 자기장 신호는 선체 재질, 선체 도료의 종류와 조건, 운용 수심, 선체의 구조 및 ICCP 시스템의 설계등을 포함하는 운용 조건과 해수의 전도율, 수심, 수온 및 해저면의 전도율등의 환경조건에 따라 크게 달라질 수 있다. 선체에서의 정 전자기장 신호들의 발생을 최소화하기 위해서는 선체의 부식방지장치(ICCP)의 전원부 설계 및 양극(Anode)과 기준전극(Reference Electrode)의 배치가 매우 중요하며, 이에 대한 수학적 모델링 기법을 적용을 통해 실제 선체에 부식방지장치를 설치하기 전에 미리 검증해 볼 수 있다[4][5]. 이 모델링 기법은 비용 대 효과 측면을 고려하여 다음의 두 종류의 부식방지장치들에 대해 적용되고 있다.

· **Single Zone 부식방지장치**-하나의 전원장치와 기준 전극 및 양극들을 설치한 시스템으로, 하나의 기준 전극은 선체 전위 변화에 대해 최적의 반응 위치에 배치하고

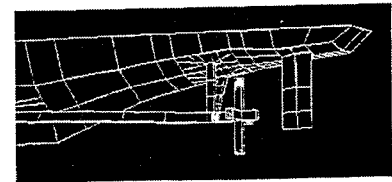
선체 운용조건과 환경조건에 따라 선체 주요 부분에 배치된 양극들을 통해 선체에 적절한 전류를 공급 함으로써 부식을 방지하고 전자기장 신호 발생을 최소화한다.

· **Multiple Zone 부식방지장치**-선수와 선미에 별도의 전원장치와 기준 전극 및 양극들을 설치하여 선체의 국부적인 전위 변화(특히, 선미)에 대해서도 부식을 방지하고 신호 발생을 최소화할 수 있는 최적의 시스템으로, 선체 제원에 따라 2개에서 4개의 구역(Zone) 시스템으로 확장 운용할 수도 있다.

그림 3은 ICCP 시스템 최적화 전/후의 경계요소법을 이용한 모델링 결과를 보여주고 있으며, 그림 4는 최적화 전/후의 정 전기장(SE)과 부식에 의한 자기장(CRM) 신호 비교 결과를 나타낸다.



a) Before adjustment - severe corrosion of A-frame, rudder and hull



b) After adjustment defined using FNREMUS - corrosion problem eradicated

그림 3. 최적화 전/후의 모델링 결과

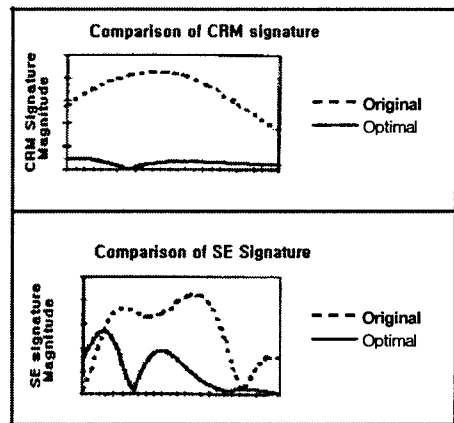


그림 4. 최적화 전/후의 SE와 CRM 신호 비교

3.2 교류 전자기장 신호 감소 및 관리

3.2.1 Shaft Rate ELFE 억제 대책

현재 대부분의 선체들에서는 프로펠러 축에 슬립 링과 브러쉬를 통해 축과 선체간을 접지시킴으로써 프로펠러 축의 부식 및 교류 전자기장 신호 발생을 억제하는 수동 축 접지(Passive Shaft Grounding) 장치를 장착하여 운용 중에 있으나, 슬립 링 조립체와 브러쉬는 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 1mΩ 정도라서 완전한 접지는 이루어지지 않는다. 이와는

달리 별도의 슬립 링을 통해 축과 선체간의 전위를 실시간으로 측정하여 축과 선체간의 저항(또는 전위)이 급격히 증가할 경우 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 선체들에 적용되고 있다. 이 장치를 사용할 경우 축과 선체의 저항을 $10\mu\Omega$ 정도로 줄여 줄 수 있어 축과 선체의 완전한 접지가 가능하게 된다[6]. 그림 5는 수동/능동 축 접지 장치의 운용 개념도를 나타낸 것이며, 또한, 능동 축 접지장치 사용 전/후의 시간 영역과 주파수 영역에서의 전자기장 신호 특성 비교 결과를 그림 6에 나타내었다.

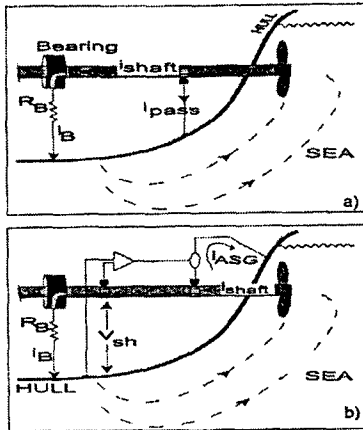


그림 5. 수동/능동 축 접지 장치의 개념도

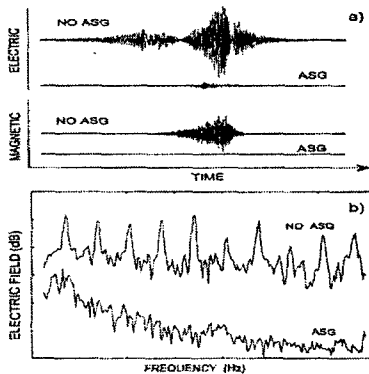


그림 6. 능동 축 접지(ASG) 장치 사용 전/후의 전자기장 신호 측정 결과 비교

3.2.2 Power Frequency ELFE 억제 대책

능동 부식방지장치의 고출력 전원 공급기는 선체 교류 전원에서 정류 및 필터링을 통해 직류 전원으로 변환하여 사용하고 있으나, 이 과정에서 직류 전원에 포함된 전원 주파수의 리플에 의해 교류 전자기장 신호가 발생될 수 있다. 전원 리플에 의한 교류 전자기장 신호를 제거하기 위해서는 선형 전원 공급기(Linear power supply)를 사용하는 경우에는 전원 주파수 제거 특성이 우수한 필터를 사용함으로써 전원 리플을 제거할 수 있으며, 또다른 방법으로 선체 전자기장 발생신호의 주파수 대역보다 높은 주파수 대역에서 스위칭을 통해 직류

전원을 만들어 내는 스위칭 전원 공급기(Switching Power Supply)를 사용하게 되면 근본적으로 전원 주파수의 리플에 의한 교류 전자기장 신호를 제거할 수 있다. 그림 7은 선체에 설치된 능동 부식방지장치의 전원 필터와 전원 필터 사용 전/후의 교류 전자기장 신호의 비교 결과를 보여 준다.

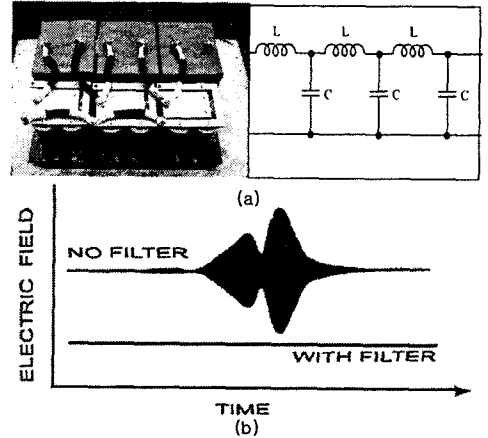


그림 7. 능동 부식방지장치의 전원필터 설치 및 설치 전후의 교류 전자기장 신호 비교

IV. 결 론

수중에서 탐지 가능한 비음향 전자기 신호원이 선체의 부식 및 부식 방지 장치에 의한 정 전자기장 및 교류 전자기장 등으로 다양화됨에 따라 선체 건조시 이러한 신호 발생원들의 종합적인 관리 및 감소 대책이 요구된다. 본 논문에서는 수중에서 탐지 가능한 전자기 신호원과 최근 선체들에 적용하고 있는 전자기 신호의 감소 및 관리 대책에 대해 세부적으로 기술하였고, 이를 토대로 향후, 선체에서 발생하는 전자기장 신호를 측정 분석하여 실질적인 선체 전자기장 신호 감소 대책 연구를 수행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. C. Hubbard, S. H. Brooks, B. C. Torrance, "Practical measures for the reduction and management of the electromagnetic signatures of in-service surface ships and submarines", UDT 96, pp. 480-485, July, 1996.
- [2] P. M. Holtham, I. G. Jeffrey, "ELF signature control", UDT 96, pp. 486-489, July, 1996.
- [3] Richard Holt, "Detection and measurement of electric fields in the marine environment", UDT 96, pp. 474-479, July, 1996.
- [4] Robert Adey, John Baynham, "Predicting corrosion related electrical and magnetic fields using BEM", BEASY Ltd, pp. 1-6, 2000.
- [5] Y. H. Pei, "Design optimization of ship's impressed current cathodic protection system", UDT 2000, pp. 112-117, Feb., 2000.
- [6] I. Jeffrey, B. Brooking, "A survey of new electromagnetic stealth technologies", W.R. Davis Engineering, pp. 1-7, 1998.
- [7] D. J. Tighe-Ford, "The role of the reference electrode in warship ICCP system characteristics an overview", MARELEC 2001, pp. 1-7, July, 2001.