Analysis of Deperming Performance According to Deperming Protocol Transform of Vessel Model

김 종 왕* · 김 지 호** · 박 현 수*** · 정 현 주§ · 이 향 범†
(Jong-Wang Kim · Ji-Ho Kim · Hyun-Soo Park · Hyun-Ju Jung · Hyang-Beom Lee)

Abstract - In this paper, for magnetic silence technology of naval vessel, is to make lab deperm system and to evaluate the deperm capacity of naval vessel regarding deperm protocol. Initial permanent magnetic field of naval vessel is magnetized before deperm, having the magnetic field of the same size, to evaluate the deperm capacity regarding a variety of deperm protocol for experimental reliability growth. Current dead time effect of deperm protocol is measured at the different initial current, which are 8A, 6A and 4A respectively. Furthermore, the experiment under the same condition except changing duty cycle into 50% is carried out. As a result, it is possible to compare the six different experiment outcomes. The result shows that the experiment with dead time improve the deperm capacity more than 48.51 percent comparing to the case without dead time.

Key Words : Deperming, Magnetic silence, Inter-cardinal run, Magnetic treatment protocol, Naval vessel

1. 서 론

최근 반도체 및 IT기술의 발달과 함께 해양 수중 자기 감응식 기뢰의 고성능화가 이루어지고 있다. 특히 지구 자기장의 수천-수만 분의 일의 정밀도를 갖는 고감도 자기센서는 함정의 운항에 큰 위협 요소가 된다. 이러한 자기 감응식 센서에 탐지 되지 않고 함정의 안전성을 보장하기 위하여 선진국에서는 1900년대 초부터 함정에서 수중으로 전파되는 자기장 신호의 저감 및 통제 방안을 위한 다양한 프로젝트들이 전략적으로 수행되고 있으며 함정의 소자 및 탈자 기술과 관련한 독자적인 자기처리시설(Magnetic Treatment Facility ; MTF)을 구축하여 함정의 자기정숙화(Magnetic Silence)를 실현하고 있다[1][2].

함정에서 발생하는 수중 자기장 신호를 최소화시키기 위한 자기 정숙화 방법으로는 탈자(Deperming)와 소자(Degaussing)를 사용한다[3][4]. 탈자는 함정에 존재하는 영구 자화를 최소화시키기 위한 방법으로 해안가에 별도의 시설을 갖추고 Deperm ME, Flash D, Anhysteretic deperm 등의 규격화된 탈자 절차에 따라 탈자를 진행한다. 소자는 탈자처리 후 함정에 남아 있는 영구자화와 지구자기장에 의해 선체에 유도되는 유도 자화를 최소화시키기 위한 방법으

로 함정 내부에 3축 방향으로 코일을 설치하고 코일에 최적의 전류를 인가하여 수중 자기장 신호를 최소화 시킨다[5].

함정의 자기 정숙화를 위해 실시하는 탈자와 소자는 자기장의 발생 성분에 의해 자기장을 처리하는 방법이 달라진다. 따라서 함정의 자기 정숙화를 위해서는 먼저 함정에서 발생하는 자기장의 영구자화와 유도자화의 분리가 선행되어야 한다.

본 논문에서는 해군 함정의 자기 정숙화를 위한 기초연구로 자기 정숙화의 방법 중 탈자 프로토콜 변화에 따른 탈자성능 향상을 분석하는 연구를 수행하였다. 함정 모델의 영구자화에 의한 자기장 신호와 유도 자화에 의한 자기장 신호를 분기하기 위하여 Inter-cardinal Run을 이용하였으며 소형 탈자 시스템을 제작하여 영구자기장 신호를 최소화시키는 실험을 하였다. 또한 탈자 프로토콜의 초기 전류 변화와 탈자 전류가 0 A가 되는 Dead Time 구간을 탈자 프로토콜에 삽입하여 다양한 탈자 프로토콜 변화에 따른 함정 모델 탈자 성능을 향상시키는 연구를 수행하였다.

2. 함정 자기장 특성

2.1 자기장 성분에 따른 함정 자기장 특성

강자성 선체를 갖는 함정의 자기장은 크게 발생 원인과 자기장 방향 성분에 따라 분리할 수 있다. 함정의 자기장을 발생 원인에 따라 구분하면 영구자기장(Permanent Magnetic field ; PM)과 유도자기장(Induced Magnetic field ; IM)으로 나눌 수 있다. 영구자기장은 외부 자기장이 자성체에 동일한 방향으로 지속적으로 작용한 경우 자기장이 제거된 후에도 자성체 내에 잔류자화가 존재하기 때문에 발생

* 준 회 원 : 숭실대 대학원 전기공학과 석사과정
** 정 회 원 : 숭실대 대학원 전기공학과 박사 후 연구원
*** 정 회 원 : LIG 넥스원(주) 연구개발본부 연구원
§ 정 회 원 : 국방과학연구소, 선임연구원
† 교신저자, 정회원 : 숭실대 전기공학부 교수
E-mail : hyang@ssu.ac.kr
접수일자 : 2011년 5월 13일
최종완료 : 2011년 8월 11일

한다. 유도자기장은 외부의 자기장이 자성체에 인가될 경우 일시적으로 나타나는 유도자화가 원인이 되며 자성체의 형상, 크기 및 재질의 특성에 의하여 결정된다[6].

영구자기장과 유도자기장을 그림 1과 같이 방향성분으로 길이 방향 자기장(Longitudinal Magnetic field ; LM), 수직 방향 자기장(Vertical Magnetic field ; VM), 측 방향 자기장(Athwartship Magnetic field ; AM)으로 구분한다.

함정에서 발생하는 영구자기장과 유도자기장은 식 (1)과 같이 쓸 수 있으며 이를 다시 자기장 방향 성분에 따라 구분하면 식 (2)와 식 (3)과 같이 쓸 수 있다[7].

$$Total\ Magnetic\ Field = PM + IM \quad (1)$$

$$PM = PLM + PVM + PAM$$

$$IM = ILM + IVM + IAM \quad (2)$$

$$LM = PLM + ILM$$

$$VM = PVM + IVM \quad (3)$$

$$AM = PAM + IAM$$

식 (2), (3)은 자기장의 발생 원인에 따른 영구자기장과 유도자기장 성분과 함정의 자기장 발생 방향을 동시에 표기한 식이다. PLM은 길이 방향 영구자기장을 의미하며 PVM과 PAM은 각각 수직 방향 영구자기장, 측방향 영구자기장을 의미한다. 동일한 방법으로 ILM, IVM, IAM은 각각 길이 방향 유도자기장, 수직 방향 유도자기장, 측 방향 유도자기장을 의미한다.

그림 1 함정 자기장의 방향 성분에 따른 구분

Fig. 1 Classification based on magnetic directional component of vessel

2.2 Inter-Cardinal Run

함정에서 발생하는 영구자기장과 유도자기장을 분리하기 위한 방법으로 그림 2와 같이 Cardinal Run 방법과 Inter-Cardinal Run 방법이 있다.

Cardinal Run 방법은 자북방향과 자남방향으로 왕복 이동하면서 측정한 함정의 자기장 데이터를 이용하여 함정의 길이 방향 유도자기장(ILM)을 분리하는 방법이다. 같은 방법으로 함정으로 서쪽 방향과 동쪽 방향으로 왕복 이동하면서 측정한 함정의 데이터를 이용하여 측 방향 유도자기장(IAM)을 분리할 수 있다. 이러한 Cardinal Run 방법은 북남, 동서 방향으로 왕복 2회 기동이 필요하다.

Inter-Cardinal Run 방법은 ILM과 IAM을 분리하기 위하여 총 1회의 왕복 기동이 필요하고 Cardinal Run 방법에 비하여 기동 횟수가 작은 장점이 있다. 그림 2의 (b)를 보면 자북 기준 서편 45도 방향으로 1회 왕복 기동한 자기장 데

이터를 측정하여 ILM과 IAM을 분리한다. Inter-Cardinal Run 방법을 사용 시 함정에 발생하는 자기장은 그림 3과 같다.

(a) Cardinal Run

(a) Inter-Cardinal Run

그림 2 함정의 자기장 분리 방법

Fig. 2 Classification based on magnetic directional component of vessel

(a) 선두방향 : 북서

(b) 선두방향 : 남동

그림 3 함정 45도 기동 시 함정의 자기장 분포

Fig. 3 Classification based on magnetic directional component of vessel

함정이 자북 기준 서편 45도 방향으로 이동할 경우 자기장의 성분은 식 (4)와 같고, 함정이 자남 기준 동편 45도로 이동할 경우의 자기장 성분은 식 (5)와 같다.

$$(PLM + PVM + PAM)_{B_x} + (PLM + PVM + PAM)_{B_y} + (PLM + PVM + PAM)_{B_z} + (ILM + IVM + IAM)_{B_x} + (ILM + IVM + IAM)_{B_y} + (ILM + IVM + IAM)_{B_z} \quad (4)$$

$$-(PLM + PVM + PAM)_{B_x} - (PLM + PVM + PAM)_{B_y} + (PLM + PVM + PAM)_{B_z} - (-ILM + IVM - IAM)_{B_x} - (-ILM + IVM - IAM)_{B_y} + (-ILM + IVM - IAM)_{B_z} \quad (5)$$

식 (4)와 (5)를 이용하여 각 방향을 따로 묶어 정리하여 Local 좌표계 유도자기장(B_{xi} , B_{yi} , B_{zi})과 영구자기장(B_{xp} , B_{yp} , B_{zp})을 분리할 수 있다. 다음 식 (6)과 식 (7)은 분리된 영구자기장과 유도자기장을 나타내는 식이다. 식 (4)와 (5)를 비교할 때 B_x 와 B_y 의 부호가 반대인 이유는 함정의 기동방향이 반대이기 때문이고 ILM과 IAM의 부호가 반대인 이유는 기동방향이 반대로 변해도 센서의 측정방향은 그대로이기 때문이다.

$$\begin{aligned} B_{xi} &\Rightarrow \frac{(4)+(5)}{2} = (ILM+IAM)_{Bx} \\ B_{yi} &\Rightarrow \frac{(4)+(5)}{2} = (ILM+IAM)_{By} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} B_{zi} &\Rightarrow \frac{(4)-(5)}{2} = (ILM+IAM)_{Bz} \\ B_{xp} &\Rightarrow \frac{(4)-(5)}{2} = (PM+IVM)_{Bx} \\ B_{yp} &\Rightarrow \frac{(4)-(5)}{2} = (PM+IVM)_{By} \\ B_{zp} &\Rightarrow \frac{(4)+(5)}{2} = (PM+IVM)_{Bz} \end{aligned} \quad (7)$$

3. 함정 모델 자기장 측정 실험

3.1 함정 모델

표 1과 그림 4는 실험에서 사용한 함정 모델의 제원이며, 그림 5는 함정 모델의 재질인 SM45C의 M-H 곡선이다. 실험은 각종 자성체나 전기기기 그리고 상용 주파수에 의한 자기장 잡음 요소가 적으면서 지구자기장의 영향을 받을 수 있는 넓은 공간에서 실시하였다.

표 1 함정모델의 제원

Table 1 Specifications of a naval vessel model

외경	44 mm
내경	35 mm
두께	4.5 mm
길이	330.8 mm
재질	SM45C

그림 4 함정모델의 축소 모형

Fig. 4 miniature of a naval vessel model

그림 5 SM45C의 M-H 곡선

Fig. 5 M-H curve of a SM45C

3.2 자기장 측정 실험 장치의 구성

그림 6은 함정 모델의 자기장 측정 실험을 보여준다. 함

정 모델은 비자성체인 플라스틱 카트에 의해 알루미늄으로 제작된 레일을 따라 왕복 기동한다. 실험에 사용된 자기 센서는 1nT의 해상도를 갖는 모델로 알루미늄 레일 제작 시 비자성체 나사를 사용하여 함정 모델 이외의 자성체는 자기 센서에서 영향을 주지 않도록 하였다. 함정 모델 표면에는 함정 모델 길이의 중심이 되는 위치를 표시하여 플라스틱으로 제작된 카트 위에 놓이는 기준 위치로 설정하였고, 길이 방향으로 양쪽 끝에 각각 A와 B를 표시하여 함정 모델의 앞과 뒤를 구분하였다. 함정 모델의 위치에 따른 함정 모델의 자기장 데이터를 얻기 위하여 함정 모델의 왕복 기동 시 레이저 거리측정 센서(Leica Disto D8)를 이용하여 함정 모델의 이동 거리를 실시간으로 측정하였다. 카트의 높이와 알루미늄 레일의 두께를 고려하여 자기 센서를 설치하였을 때 자기 센서와 함정 모델 중심과의 이격 거리는 225mm이다. 실험에서 사용된 자기 센서는 영국 Batington Instruments사의 three-axis fluxgate magnetometer MAG-03MCB70로 $\pm 70\mu T$ 까지 측정 가능하다[8].

그림 6 함정모델의 자기장 측정실험

Fig. 6 magnetic Experimental setup of naval vessel model

Inter-cardinal 기동 방법을 이용하여 함정 모델의 자기장을 분리하는 경우 ILM과 IAM을 한 번에 분리하기 위하여 함정 모델을 자북기준 서편 45도 방향과 자남기준 동편 45도 방향으로 왕복 기동시켜야 한다. 그림 7의 (a)와 (b)는 각각 함정 모델을 자북 기준 서편 45도 방향으로 이동시키며 측정한 자기장 데이터와 함정 모델을 자남기준 동편 45도 방향으로 이동시키며 측정한 자기장 데이터이며 측정된 신호로부터 식 (4)~식 (6)을 이용하여 분리한 ILM과 IAM을 그림 8에 나타내었다.

(a) 자북기준 서편 45도 방향 기동 (b) 자남기준 동편 45도 방향 기동

그림 7 북서-남동 방향 Inter-cardinal Run 기동 시 측정된 함정 모델의 자기장 데이터

Fig. 7 Measured magnetic flux density of naval vessel model

그림 8 Inter-cardinal Run 기동 방법을 이용하여 분리한 합정 모델의 ILM & IAM 데이터

Fig. 8 IAM & ILM data of separated vessel model using inter-cardinal Run

4. 소형 탈자 처리 시스템

4.1 소형 탈자 처리 시스템 제작

탈자 처리 시 합정 모델은 솔레노이드 타입의 X 코일 내부에 위치하여 영구자기장 성분의 탈자를 진행하게 된다. 또한 Z 코일은 탈자가 진행되는 동안 합정 모델 주위의 수직 자기장과 크기는 같으나 방향이 반대인 자기장을 발생시켜 외부 수직 방향 자기장을 상쇄시키는 역할을 한다.

효율적인 탈자를 위한 탈자 처리 시스템에서 가장 중요한 요소는 직접적인 탈자 자기장을 발생시키는 X 코일과 Z 코일이다. 따라서 합정 모델을 충분히 자기 포화시킬 수 있는 자기장을 발생시켜야 하는 구조적인 설계가 필요하며 이러한 자기장의 크기는 보통 합정 모델의 재질이 갖는 보자력(H_c)의 3~4배 정도의 크기이다[9]. 본 논문에서 소형 탈자 처리 시스템에 사용할 X 코일 및 Z 코일의 설계를 위하여 상용 전자장 해석 도구인 Magnet 7.0을 이용하였다. X 코일을 설계하기 위한 설계 조건은 첫째로 합정 모델 길이인 0.33m 이상의 균일한 자기장 X 코일 내부에서 발생되도록 하였으며, 둘째로 합정 모델 재질인 SM45C의 보자력 530 A/m의 4배인 약 2,100 A/m 이상의 자기장을 발생되도록 하였다. 그림 9와 표 2에서는 본 논문에서 제작된 소형 탈자 처리 시스템의 X 코일과 Z 코일의 구조 및 제원을 나타내었으며, 이를 바탕으로 탈자시스템의 제작이 완성된 모습은 그림 10에 나타내었다.

그림 9 소형 탈자 시스템의 개요도

Fig. 9 Schematic of Lab. deperm treatment system

표 2 소형 탈자 시스템의 제원

Table 2 Specifications of Lab. deperm treatment system

구분	X 코일	Z 코일	
길이	557 mm	660×230×130 mm	
외경	60.4 mm		
턴 수	606 turns	각 30 turns	
코일의 두께	0.9 mm	0.9 mm	
저항	2.935 Ω	상부 : 1.512 Ω	하부 : 1.509 Ω
인덕턴스 (60Hz)	1.958 mH	상부 : 1.352 mH	하부 : 1.339 mH

그림 10 제작된 탈자처리시스템

Fig. 10 Manufactured Lab. deperm treatment system

그림 11과 그림 12는 각각 X 코일과 Z 코일에 4A의 전류가 흐를 때 수치해석을 이용하여 예측된 코일 축 방향 위치에 대한 자기장 세기(H field) 데이터와 실제 측정된 값을 비교한 결과이다. 자기장의 세기를 측정하기 위하여 사용된 장비는 F.W. Bell사의 Model 6010 Gauss/Tesla Meter와 X 코일은 axial probe, Z 코일은 Transverse probe를 이용하였다. 그림 11을 통하여 결과를 비교하면 수치해석을 통한 자기장 세기 결과와 제작된 코일의 자기장 세기 결과가 상당히 일치하는 것을 알 수 있었다. 그림 12와 같이 실제 측정된 자기장 세기의 분석 결과 -110mm에서 120mm까지 균일한 자기장의 세기를 나타내는 것을 볼 수 있는데 이는 Gauss/Tesla Meter는 Hall Sensor를 이용하는 측정 장비로 측정 범위가 넓은 대신, 해상도가 낮기 때문에 발생한 오차이다.

그림 11 X 코일 위치 따른 자기장 세기

Fig. 11 Magnetic field intensity of X coil

그림 12 Z 코일 위치에 따른 자기장 세기

Fig. 12 Magnetic field intensity of Z coil

그림 13은 소형 탈자 처리 시스템의 구성을 나타낸다. X 코일에는 탈자 프로토콜을 인가하기 위하여 NF bipolar DC power supply와 DAQ 그리고 LabVIEW를 연결하여 LabVIEW에서 만들어진 전류를 X 코일에 인가되도록 하였으며, Z 코일은 소형 탈자 시스템이 있는 위치의 수직 방향 자기장을 상쇄하기 위하여 unipolar power supply를 이용하였다. 소형 탈자 시스템의 모든 power supply와 DAQ 및 노트북을 켜 상태에서 합정 모델이 위치 할 지점의 자기장을 Fluxgate를 이용하여 측정 한 결과 수직 방향(Z 방향)으로 $28\mu T$ (22.28 A/m)가 측정되었다. 따라서 Z 코일에 0.14A 의 전류를 인가하여 -Z 방향으로 자기장을 생성하고 합정 모델의 위치에서의 총 수직 자기장을 0으로 만들었다.

그림 13 소형 탈자 시스템의 구성

Fig. 13 Consists of Lab. deperm treatment system

4.2 합정 모델 착자 처리

그림 14는 탈자 프로토콜의 탈자 성능 판단을 위하여 합정 모델을 임의 탈자 처리 후 다시 착자 처리시킨 그래프이다. 여러 탈자 프로토콜에 의한 탈자 성능을 판단하기 위해서는 합정 모델의 초기 영구 자기장이 매번 동일한 상태에서 탈자가 진행되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 합정 모델의 임의 탈자 처리 후 2A 의 직류 전류를 100초 동안 소형

탈자 처리 시스템의 X 코일에 인가하여 합정 모델을 착자 처리하였다. 총 5번의 실험 결과 5번 모두 그림 14와 같이 오차를 5% 이내에서 영구 자기장의 결과를 얻을 수 있었다.

그림 14 착자 처리 된 합정 모델 자기장 데이터

Fig. 14 Magnetic flux density of magnetized naval vessel model

4.3 탈자 프로토콜에 따른 탈자 결과

그림 15부터 그림 20까지는 탈자 프로토콜에 따른 탈자 처리 결과를 나타낸 것이다. 그림 15와 그림 16은 탈자 초기 전류 8A , 탈자 전류 주기는 50회로 탈자 프로토콜 1step 당 0.08A 의 전류가 변화하여 최종 50번째 step에는 -0.08A 로 탈자가 끝나게 된다. 또한 그림 15는 탈자 지속 시간을 100초 , 전류 dead time은 0%로 하였으며, 그림 16은 탈자 지속 시간을 200초 , 전류 dead time은 50%로 하여 전류 dead time에 의한 탈자 효과를 비교하였다. dead time에 의한 전류 duty cycle로 dead time 50%인 경우는 전류의 high, 0, low가 동일한 시간동안 이루어진다. 따라서 그림 16의 탈자 지속 시간을 그림 15의 2배로 설정한 이유는 dead time이 탈자 프로토콜에 적용되는 경우와 적용되지 않은 경우의 전류의 high와 low를 동일한 시간동안 작용하기 위함이다. 그림 17과 그림 18은 그림 15와 그림 16의 탈자 프로토콜 설정과 동일하며 초기 전류의 크기만 6A 로 적용하여 탈자 프로토콜 전류 변화의 크기는 0.06A/step 이며, 그림 19와 그림 20은 초기 전류를 4A 로 적용하여 탈자 프로토콜 전류 변화의 크기는 0.04A/step 이다.

표 3에서는 탈자 프로토콜의 전류 dead time이 탈자 성능에 미치는 영향을 센서 각 축에서 백분율로 표현하였다. 수치의 계산은 $\{[1-(50\% \text{ Dead Time data} / 0\% \text{ Dead Time data})] \times 100\}$ [%]로 백분율이 높을수록 dead time에 의한 탈자 성능이 향상됨을 의미한다. 그림 15부터 그림 20까지의 비교 결과 탈자 프로토콜의 초기 전류의 크기에 상관없이 탈자 프로토콜의 전류 dead time을 50%를 적용한 경우가 dead time을 적용하지 않은 경우보다 48.51% 이상 합정 모델의 탈자 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

그림 15 Non-Dead Time, 초기전류 8A, 100s, 주기:50 cycle
Fig. 15 Non-dead time, Initial current : 8A, 100s, period : 50 cycle

그림 16 Dead Time 50%, 초기전류 8A, 200s, 주기:50 cycle
Fig. 16 Dead time 50%, Initial current : 8A, 200s, period : 50 cycle

그림 17 Non-Dead Time, 초기전류 6A, 100s, 주기:50 cycle
Fig. 17 Non-dead time, Initial current : 6A, 100s, period : 50 cycle

그림 18 Dead Time 50%, 초기전류 6A, 200s, 주기 : 50 cycle
Fig. 18 Dead time 50%, Initial current : 6A, 200s, period : 50 cycle

그림 19 Non-Dead Time, 초기전류 4A, 100s, 주기 : 50 cycle
Fig. 19 Non-Dead Time, Initial current : 4A, 100s, period : 50 cycle

그림 20 Dead Time 50%, 초기전류 4A, 200s, 주기 : 50 cycle
Fig. 20 Dead time 50%, Initial current : 4A, 200s, period : 50 cycle

표 3 Dead time 적용 시 탈자 효과

Table 3 Dead time effect by deperming protocol

초기전류 \ 센서좌표	X 방향 (수평방향)	Z 방향 (수직방향)
8A	48.51 %	49.70 %
6A	50.53 %	54.34 %
4A	52.74 %	51.76 %

5. 결 론

본 논문은 해군 함정의 자기 정숙화를 위한 연구로 소형 탈자 처리 시스템을 제작하여 함정 모델의 영구자기장을 최소화 시키는 탈자 실험을 진행하였다. 소형 탈자 시스템의 X 코일과 Z 코일은 상용 전자장 수치해석 프로그램인 MagNet을 이용하여 설계하였으며 코일 제작 후 코일 위치에 대한 자기장 측정 데이터와 수치해석에서 예측된 데이터가 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 소형 탈자 시스템의 실험은 LabView 프로그램을 이용하여 제작된 탈자 프로토콜을 다양하게 변화 시키며 진행 하였다. 실험에서 사용한 탈자 프로토콜은 초기 탈자 전류를 8A, 6A, 4A로 변화 시켜 탈자 프로토콜 진행 동안 변화하는 전류 Step에 따른 탈자 성능을 연구 하였으며, 탈자 프로토콜에 전류 Dead Time을 삽입하여 전류 Dead Time의 탈자 효과를 실험을 통하여 연구하였다. 전류 Step 변화 실험 결과 탈자 전류 Step이 0.08A/step, 0.06A/step, 0.04A/step으로 줄어들수록 탈자 효과가 증대하였다. 또한 탈자 프로토콜에 전류 Dead Time 삽입 실험 결과 Dead Time을 삽입하지 않은 경우 보다 48.51% 이상 탈자 성능이 향상되었으며 이는 탈자 처리 동안 함정 모델 자화량 안정에 따른 결과로 분석되었다.

본 논문의 연구 결과는 함정 자기정숙화를 위한 탈자 처리 시스템 확보와 탈자 프로토콜 개발에 필요한 자료가 될 것이며, 또한 함정 자기 피탐지 감소 기술을 높여 궁극적으로 국가 국방력 강화에 큰 도움이 될 것이라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방 피탐지 감소기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] John J. Holmes "Reduction of a Ship's Magnetic Field Signatures (1st Edition)", Morgan & Claypool.
- [2] S. J. Davidson, T. Bailey, A. Parker, R. Twelvetrees and M. Turener "Advanced signature control system", Ultra Electronics PMES, United Kingdom, 2000.
- [3] S. J. Davidson and G. J. Webb "Why bother with signature reduction", Ultra Electronics PMES, United Kingdom, 1998 (report)
- [4] T.M. Baynes, G.J. Russell and A. Bailey "Laboratory Simulation of the Deperm Process", SCIENCE & TECHNOLOGY August. 2002
- [5] T. M. Baynes, G. J. Russell, and A. Bailey "Comparison of Stepwise Demagnetization Techniques" IEEE Trans. Magn., vol. 38, July. 2002
- [6] John J. Holmes, "Exploitation of a ship's magnetic field signature", Naval Surface Warfare Center, USA, 2006.
- [7] UK Defence Standardization(July 2008), "Guide to the Design of Ferro-magnetic Signature Control Systems and Degaussing, Defence Standard 02-612", Ministry of Defence Issu 2.
- [8] Bartington Instruments, "Mag-03 Three-axis Magnetic Field Sensors", Operation Manual", 2003.
- [9] Timothy Malcolm Baynes BSc "Analysis of the Demagnetisation Process and Possible Alternative Magnetic Treatments for Naval Vessels" The University of New South Wales, School of Physics, Faculty of Science.
- [10] John J. Holmes "Modeling a Ship's Ferromagnetic Signatures (1st Edition)", Morgan & Claypool
- [11] John J. Holmes, "Exploitation of a ship's magnetic field signature", Naval Surface Warfare Center, USA, 2006.
- [12] Olivier Chadebec, Jean-Louis Coulomb, Jean-Paul Bongiraud, Gilles Cauffet, and Philippe Le Thiec, "Recent Improvements for Solving Inverse Magnetostatic Problem Applied to Thin Shells", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 38, No. 2, march 2002.
- [13] P. G. Rawlins, S. J. Davidson and P. B. Wilkinson, "Aspects of corrosion related magnetic (CRM) signature management", Conference Proceedings UDT 1998, Wembley Conference Centre, London, UK, pp. 237 - 240, 1998.
- [14] P. G. Rawlins, S. J. Davidson, "Modelling of AC vessel signatures using time dependent dipoles", Marelec 99, pp. 257-265, 1999.

저 자 소 개

김 종 왕 (金 鐘 王)

1984년 9월 29일생. 2011년 숭실대 전기공학부 졸업. 2011년 ~ 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 02-817-9228

E-mail : kimjwgh@ssu.ac.kr

김 지 호 (金 志 濤)

1977년 8월 1일생. 2004년 숭실대 전기공학과 졸업. 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 미래기술연구소 박사 후 연구원

Tel : 02-817-9228

E-mail : magnetic1@ssu.ac.kr

박 현 수 (朴 賢 洙)

1982년 7월 31일생. 2009년 숭실대 전기공학부 졸업. 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 LIG 넥스원 Maritime 연구소 연구원

Tel : 031-288-9169

E-mail : hyunsoo.park@lignex1.com

정 현 주 (鄭 賢 株)

1975년 12월 05일생. 2000년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2002~ 현재 국방과학연구소 선임연구원

Tel : 055-540-6341

E-mail : hyunju30@add.re.kr

이 향 범 (李 亨 範)

1967년 10월 21일생. 1989년 서울대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1995~1996년 기초전력공학공동연구소 선임연구원. 1996~1998년 군산대학교 전기공학과 전임강사.

2004~2005년 미국 Michigan State University 방문교수. 1998년~현재 숭실대학교 전기공학부 교수

Tel : 02-820-0641

E-mail : hyang@ssu.ac.kr