

탈자 프로토콜 주기 변화에 따른 탈자 성능 분석

論 文
11-2-4

Analysis of deperm performance according to deperm protocol cycle

김 종 왕, 김 지 호, 정 현 주, 이 향 범*

Jong-Wang Kim, Ji-Ho Kim, Hyun-Ju Jung, and Hyang-Beom Lee

Abstract

In this paper deperm performance on deperm protocol cycle has been analyzed. As deperm protocol increases cycle, deperm performance improves and duration time will increase. Thus, it's essential that proper deperm cycle that is fit on vessel should be applied. To compare deperm performance according to cycle changes, small deperm system has been made and small vessel had been made with SM45C materials. As Anhyseretic deperm protocol applied, the result on the increase of deperm performance according to the increase of cycle has been gotten.

Keywords : deperm, stealth, anhyseretic deperm

I. 서 론

천안함 사건으로 인하여 함정 운영의 안정성에 대한 중요성이 부각되고 있다. 자기감응 기뢰나 자기장 어뢰는 함정에서 발생하는 자기장을 감지하여 폭발하는 것으로써 주 재질이 철로 이루어진 함정에게 큰 위협요소이다. 선진국에서는 자기 감응 기뢰나 자기장 어뢰로부터 안전한 함정 운영을 하기 위하여 탈자(Deperming)와 소자(Degaussing)방법을 이용하여 자기 정숙화(Magnetic silence)를 실현하고 있다[1-2].

자기 정숙화 방법 중 하나인 탈자는 B-H 곡선을 감소하는 크기로 왕복함에 따라 잔류 자화 성분을 제거하는 방법이다. 탈자는 초기인가 자기장의 크기, 자기장 인가시간, 주기에 따라 성능이 변하게 된다.

본 논문에서는 탈자 성능을 비교하기 위하여 소형 자성체와 소형 탈자 시스템을 제작하였다.

또한 탈자 성능에 영향을 미치는 요소 중 하나인 주기가 변함에 따른 탈자 성능을 비교하였으며, 주기가 감소함에 따라 탈자 성능도 감소하는 결과를 얻을 수 있었다.

II. 본 문

1. 함정의 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 발생한다. 유도자기장은 외부의 자기장이 자성체에 인가될 경우 일시적으로 나타나는 유도자화가 원인이 되며 자성체의 형상, 크기 및 재질의 특성에 의하여 결정된다[3].

영구자기장과 유도자기장을 그림 1과 같이 방향성

접수일자 : 2012년 05월 19일
 심사일자 : 2012년 05월 24일
 최종완료 : 2012년 06월 20일
 * 교신저자, E-mail : hyang@ssu.ac.kr

분으로 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.

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

$$PM = PLM + PVM + PAM$$

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

$$LM = PLM + ILM$$

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

$$AM = PAM + IAM$$

식 (2), (3)은 자기장의 발생 원인에 따른 영구자기장과 유도자기장 성분과 함정의 자기장 발생 방향을 동시에 표기한 식이다. PLM(Permanent Longitudinal Magnetic field)은 길이 방향 영구자기장을 의미하며 PVM(Permanent Vertical Magnetic field)과 PAM(Permanent Athwartship Magnetic field)은 각각 수직 방향 영구자기장, 측방향 영구자기장을 의미한다. 동일한 방법으로 ILM(Induced Longitudinal Magnetic field), IVM(Induced Vertical Magnetic field), IAM(Induced Athwartship Magnetic field)은 각각 길이 방향 유도자기장, 수직 방향 유도자기장, 측 방향 유도자기장을 의미한다.

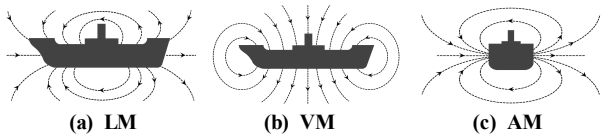


그림 1. 함정 자기장의 방향 성분에 따른 구분
Fig. 1. Classification based on magnetic directional component of vessel

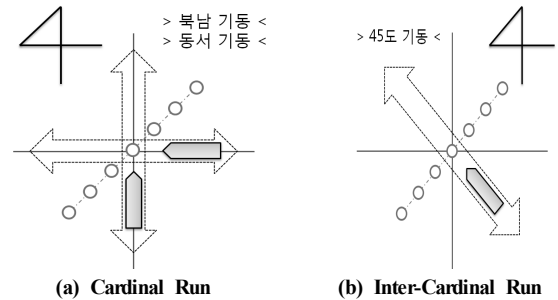
2. Inter-Cardinal Run

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 측정된 함정의 자기장 데이터를 이용하여 함정의 길이 방향 유도자기장(ILM)을 분리하는 방법이다. 같은 방법으로 함정으로 서쪽

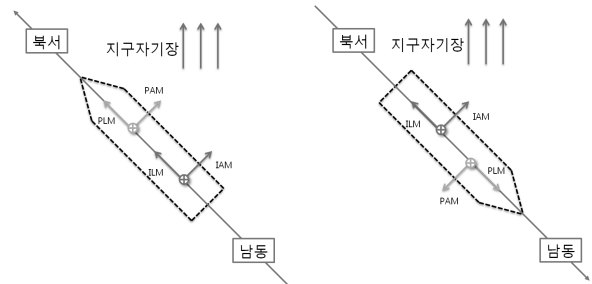
방향과 동쪽 방향으로 왕복 이동하면서 측정된 함정의 데이터를 이용하여 측 방향 유도자기장(IAM)을 분리할 수 있다. 이러한 Cardinal Run 방법은 북남, 동서 방향으로 왕복 2회 기동이 필요하다.

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



(a) Cardinal Run (b) 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.

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

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

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 합정의 기동방향이 반대이기 때문이고 ILM과 IAM의 부호가 반대인 이유는 기동방향이 반대로 변해도 센서의 측정방향은 그대로이기 때문이다.

$$\begin{aligned}
 B_{\xi} & \Rightarrow \frac{(4)+(5)}{2} = (ILM+IAM)_{B_x} \\
 B_{y_i} & \Rightarrow \frac{(4)-(5)}{2} = (ILM+IAM)_{B_y} \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{z_i} & \Rightarrow \frac{(4)-(5)}{2} = (ILM+IAM)_{B_z} \\
 B_{x_p} & \Rightarrow \frac{(4)-(5)}{2} = (PM+IVM)_{B_x} \\
 B_{y_p} & \Rightarrow \frac{(4)-(5)}{2} = (PM+IVM)_{B_y} \quad (7) \\
 B_{z_p} & \Rightarrow \frac{(4)+(5)}{2} = (PM+IVM)_{B_z}
 \end{aligned}$$

3. 탈자 프로토콜

합정의 영구자기장을 최소화하는 방법으로는 큐리점(Curie point) 이상으로 가열하는 방법이 있지만 실제 큐리점 이상으로 가열하는 방법은 합정의 크기와 내부 기기들에 의하여 부적절한 방법이다. 따라서 그림 4와 같이 자기 이력 곡선에서 a와 같은 점에서 왕복을 저지하고 이러한 방법을 반복하여 마지막으로 원점에 도달할 때까지 점점 더 작은 루프를 경과하는 방법인 탈자 방법을 사용하고 있다[5].

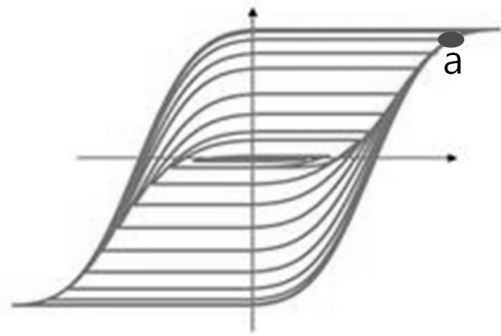


그림 4. 자기소거법
Fig. 4. Magnetic Elimination Method

탈자 방법은 자기이력곡선을 왕복하는 횟수를 증가시킬수록 탈자 성능이 향상되게 되지만 그만큼 시간이 많이 걸리게 된다[6]. 이러한 탈자 방법을 효율적으로 사용하기 위하여 Flash D, 편 히스테리시스(Anhysteretic) 탈자 프로토콜을 적용한다. 편 히스테리시스 탈자 프로토콜은 그림 5와 같이 일정 스텝 간격으로 입력 전류를 줄이는 단순한 탈자 프로토콜이다. 편 히스테리시스 탈자 프로토콜은 Flash D 프로토콜에 비하여 PVM 성분 탈자 처리에서 우수하고 프로토콜 구현이 더 용이하기 때문에 본 논문에서는 편 히스테리시스 탈자 프로토콜을 적용하였다.

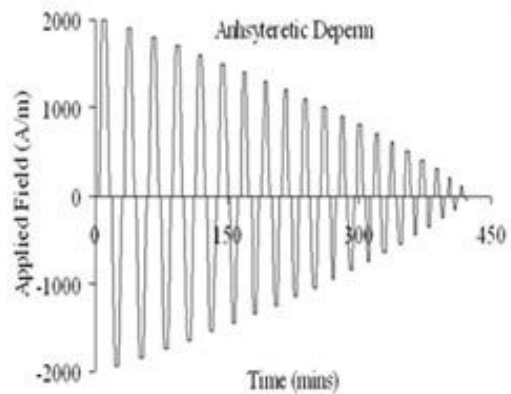
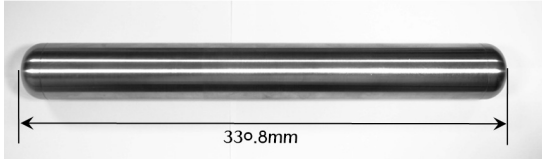


그림 5. 편 히스테리시스 탈자 프로토콜
Fig. 5. Anhysteretic Deperm Protocol

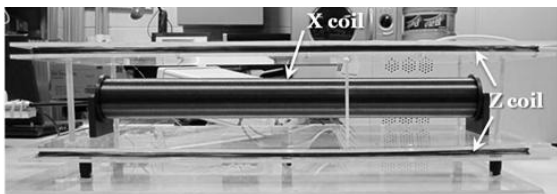
4. 소형 탈자 시스템

편 히스테리시스 탈자 프로토콜을 적용하기 위해서는 수직 방향의 자기장 성분을 보상해주는 코일과 자기장의 방향을 반전 시켜주는 길이 방향의 코일이 필요하다. 그림 6은 수직 방향의 자

기장을 보상하기 위한 Z 코일과 편 히스테리시스 탈자 프로토콜을 적용하기 위한 솔레노이드 타입의 X 코일을 나타내고 있다. 소형 자성체는 SM45C 탄소강으로 제작되었으며, 표 1은 소형 탈자 시스템의 제원이다.



(a) 소형 자성체 모델



(b) 소형 탈자 시스템

그림 6. 소형 자성체와 소형 탈자 시스템
Fig. 6. Small Magnetic Substance and Small Deperming System

표 1. 소형 탈자 시스템 제원
Table 1. Specifications of Small Deperming 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

5. 주기 변화에 따른 탈자 프로토콜

주기 변화에 따른 탈자 성능을 비교하기 위해

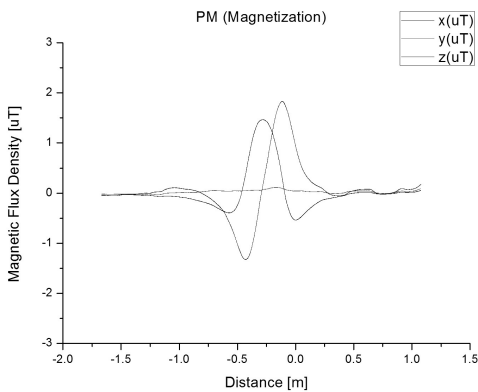


그림 7. 주기 50 Cycle 자기장 측정 결과
Fig. 7. Measured Magnetic Flux Density of 50 Cycle

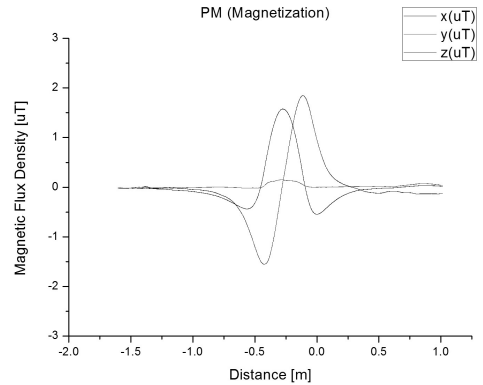


그림 8. 주기 40 Cycle 자기장 측정 결과
Fig. 8. Measured Magnetic Flux Density of 40 Cycle

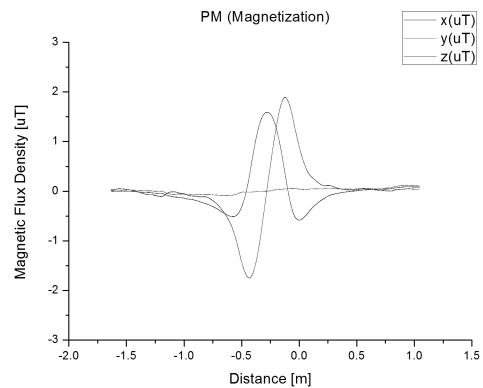


그림 9. 주기 30 Cycle 자기장 측정 결과
Fig. 9. Measured Magnetic Flux Density of 30 Cycle

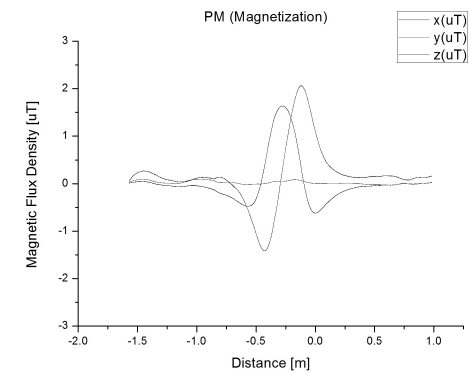


그림 10. 주기 20 Cycle 자기장 측정 결과
Fig. 10. Measured Magnetic Flux Density of 20 Cycle

서는 동일한 크기의 영구 자기장에서 탈자를 해야 한다. 본 논문에서는 동일한 영구 자기장 크기를 갖게 하기 위하여 2175 A/m의 자기장을 300 초간 인가하여 착자 시켰다. 주기 변화에 따른 탈자 프로토콜은 초기 인가 자기장의 크기는 4350

A/m로 동일하며 주기 변화에 따라 감소하는 자기장의 크기는 각각 표 2과 같다. 그림 7부터 그림 10은 주기 변화에 따른 각각의 자기장 측정 결과이며, 각 방향 성분별 최대, 최소값 및 탈자 성능은 표 3와 같다.

표 2. 탈자 프로토콜
Table 2. Deperm Protocol

주기 50 Cycle		주기 40 Cycle	
초기 자기장	감소하는 자기장	초기 자기장	감소하는 자기장
4350 A/m	43.5 A/m	4350 A/m	54.375 A/m
주기 30 Cycle		주기 20 Cycle	
초기 자기장	감소하는 자기장	초기 자기장	감소하는 자기장
4350 A/m	72.5 A/m	4350 A/m	108.75 A/m

표 3. 주기 변화에 따른 탈자 성능

Table 3. Deperm Performance According to Deperm Protocol Cycle

	X max [uT]	X min [uT]	Z max [uT]	Z min [uT]	Deper ming Ratio
Magnetization	15.849	-4.753	16.760	-15.87	0%
50 Cycle	1.4673	-0.540	1.8348	-1.324	90.0%
40 Cycle	1.5760	-0.545	1.8486	-1.550	89.4%
30 Cycle	1.5911	-0.583	1.8967	-1.747	88.8%
20 Cycle	1.6393	-0.622	2.0646	-1.412	88.8%

III. 결 론

본 논문은 함정의 자기 정속화를 위하여 소형 탈자 시스템을 제작하고 SM45C 재질의 소형 함정을 제작하였다. 또한 Anhyseretic Deperm Protocol을 적용하고 주기가 변함에 따라 탈자 성능을 비교하였다. 표 3는 주기 변화에 따른 탈자 성능을 나타내고 있다. 탈자 성능은 주기가 증가함에 따라 증가하게 되며, 50 주기에서 탈자 성능이 가장 높게 나타났다.

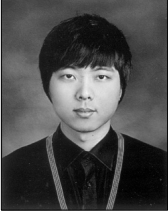
감사의 글

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

[참고 문헌]

- [1] J. J. Holmes, "Reduction of a ship's magnetic field signatures," Morgan & Claypool Publishers, California, 2008.
- [2] S. J. Davidson, T. Bailey, A. Parker, R. Twelvetrees, and M. Turener, *Advanced signature control system*, Ultra Electronics PMES, United Kingdom, 2000.
- [3] G. Rauscher and C. Radeloff, "Large Barkhausen jump in composite wires," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 27, no. 6, pp. 5238-5240, Nov. 1991.
- [4] B. D. Cullity, 김광윤 외 9명 공역, *자성재료학*, 피어슨 에듀케이션 코리아, 서울, Page 505~581, 1992.
- [5] S. J. Davidson and G. J. Webb, *Why bother with signature reduction*, Ultra Electronics PMES, United Kingdom, 1998.
- [6] T. M. Baynes, G. J. Russell, and A. Bailey, "Laboratory simulation of the deperm process," *DEFENCE SCIENCE & TECHNOLOGY*, Australia, Aug. 2002.
- [7] UK Defence Standardization, "Guide to the design of ferro-magnetic signature control systems and de-gaussing, defence standard 02-612," Ministry of Defence Issu, Jul. 2008.
- [8] Bartington Instruments, *Mag-03 Three-axis Magnetic Field Sensors, Operation Manual*, 2003. <http://www.bartington.com/Default.aspx?SiteSearchID=773&ID=/search.html>
- [9] T. M. Baynes, "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, 2002.
- [10] J. J. Holmes, "Modeling a ship's ferromagnetic signatures," *Morgan & Claypool Publishers*, vol. 2, no. 1, pp. 1-75, 2007.

Biography



김 종 왕

2011년 숭실대학교 전기공학과 졸업
2012년 숭실대학교 전기공학과 재학(석사과정)
<관심분야> 피탐지, 비파괴검사, 전자장
수치해석, 열 유동해석
<e-mail> kimjwgtgh@naver.com 19XX년



정 현 주

1998년 부산대학교 전기공학과 졸업
2000년 부산대학교 전기공학과(공학석사)
2004년 부산대학교 전기공학과(공학박사)
2012년~현재 국방과학연구소 선임연구원
<관심분야> 전자기 수치해석
<e-mail> hyunju30@add.re.kr



김 지 호

2004년 숭실대학교 전기공학과 졸업
2006년 숭실대학교 전기공학과(공학석사)
2011년 숭실대학교 전기공학과(공학박사)
2012년~현재 미래기술연구소 박사 후 과정
<관심분야> 전자기기, CFD, 비파괴검사,

전자기 수치해석

<e-mail> magnetic1@ssu.ac.kr



이 항 범

1989년 서울대학교 전기공학과 졸업
1991년 서울대학교 전기공학과(공학석사)
1995년 서울대학교 전기공학과(공학박사)
2012년~현재 숭실대학교 전기공학부 교수
<관심분야> 전자기기, 전자장 수치해석 및

설계, 비파괴검사, 전자기센서 설계 및 개발, 전자기기의 CFD해석

<e-mail> hyang@ssu.ac.kr