

Dead Time 적용에 따른 탈자 성능향상에 관한 연구

김종왕*, 김지호*, 정현주**, 이항범*
 숭실대학교 전기공학과*, 국방과학연구소**

Study on Improvement of Deperming Performance Applied Dead Time

Jong-Wang Kim*, Ji-Ho Kim*, Hyun-Ju Chung** and Hyang-Beom Lee*
 Songsil University*, Agency for Defense Development**

Abstract - 본 논문에서는 함정의 피탐지 성능 개선을 위한 기초 연구로 dead time 적용시 탈자 프로토콜 변화에 따른 탈자 성능 분석에 관한 연구를 하였다. 함정의 재질은 SM45C로 원통의 형태이다. 자기장 측정기에 사용한 자기센서는 영국 Bartington Instruments사의 MAG-03MCB70(Three-Axis Fluxgate Magnetometer)을 사용하였으며, inter-cardinal run 방법을 이용하여 유도자기장과 영구자기장을 분리하였다. Anhyseretic deperm 프로토콜을 적용하여 탈자를 진행하였고 전류의 지속시간이 증가하는 경우에 비하여 dead time을 적용하였을 경우 탈자 성능이 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

1. 서 론

현대 해양전에 사용되고 있는 감응기뢰(influence mine)는 적은 비용으로 제작이 가능하며 최근 IT기술과 반도체 기술이 향상됨에 따라 함정운행에 가장 큰 위협요소로 부각되고 있다. 이러한 감응기뢰에는 자기 감응기뢰, 음향 감응기뢰, 압력 감응기뢰, 복합 감응기뢰 등이 있다. 이중 자기 감응기뢰는 고감도의 자기센서를 탑재함으로써 지구 자기장의 수천-수만 분의 일의 정밀도를 갖기 때문에 센서에 탐지되지 않고 함정의 안전성을 보장하기 위하여 자기정숙화(magnetic silence)를 실현해야 한다[1].

자기정숙화는 함정에서 발생하는 수중 자기장 신호를 최소화시키기 위한 방법으로 탈자(deperming)와 소자(degaussing)를 사용한다. 탈자는 함정에 일정한 방향으로 긴 시간 자기장에 노출될 경우 발생하게 되는 영구자화를 최소화시키기 위한 방법으로 해안가에 별도의 시설을 갖추고 Flash D, Anhyseretic deperm 등의 규격화된 탈자 절차에 따라 탈자를 진행한다. 소자는 함정의 이동에 따라 지구자기장에 의하여 일시적으로 유도되는 성분과 탈자 후 함정에 남아있는 유도자기장을 최소화시키기 위한 방법으로 함정 내부에 3축 방향으로 코일을 설치하고 코일에 최적의 전류를 인가하여 함정의 신호를 최소화 시킨다[2].

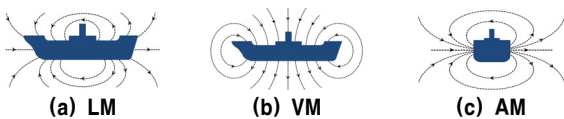
이러한 탈자와 소자를 실행하기 위해서는 영구자기장과 유도자기장을 각각 따로 처리해야하기 때문에 두 자기장을 분리 하여야 한다. 본 논문에서는 cardinal run 방법에 비하여 기동회수가 적은 inter-cardinal run을 이용하였고 Anhyseretic 탈자 프로토콜에 전류의 지속시간이 증가하는 경우와 dead time을 적용하였을 경우 탈자 성능 향상에 대한 실험을 하였다.

2. 본 론

2.1 자기장 성분에 따른 함정의 자기장 특성

함정의 자기장 성분은 발생 원인과 방향에 따라 구별 할 수 있다. 함정의 자기장 발생 원인에 따른 분류는 영구자기장(permanent magnetic field ; PM)과 유도자기장(induced magnetic field ; IM)으로 나타낼 수 있다. 영구자기장은 동일한 방향으로 자성체에 자기장이 인가될 경우 자성체 내에 잔류자화가 존재하기 때문에 발생한다. 유도자기장은 외부자기장내에 함정의 움직임에 따라 일시적으로 유도자화가 발생하게 되는 것이 원인이며 자성체의 형상, 크기, 재질의 특성에 의하여 결정된다[3].

영구자기장과 유도자기장은 방향성분으로 다시 구별된다. <그림 1>과 같이 길이 방향 자기장(longitudinal magnetic field ; LM), 수직 방향 자기장(vertical magnetic field ; VM), 측 방향 자기장(athwartship magnetic field ; AM)으로 구분한다[4].



<그림 1> 함정 자기장의 방향 성분에 따른 구분

함정에서 발생하는 영구자기장과 유도자기장은 식 (1)과 같이 쓸 수 있으며 이를 발생 원인과 방향 성분에 따라 구분하면 식 (2)와 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

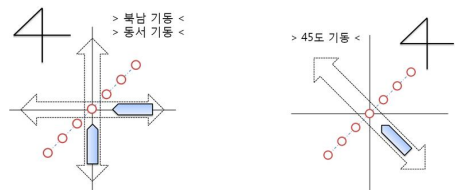
$$Total\ Magnetic\ Field = PM + IM \quad (1)$$

$$PM = PLM + PVM + PAM \\ IM = ILM + IVM + IAM \quad (2)$$

$$LM = PLM + ILM \\ VM = PVM + IVM \\ AM = PAM + IAM \quad (3)$$

2.2 Inter-cardinal run

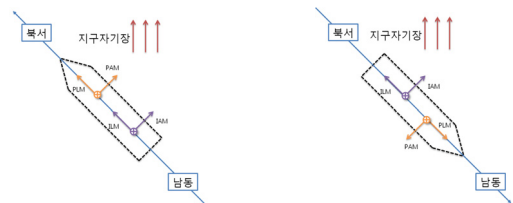
함정의 자기정숙화를 위해서는 영구자기장과 유도자기장을 각각 탈자와 소자를 이용하여 처리해야하기 때문에 두 자기장을 분리하여야 한다. 영구자기장과 유도자기장을 분리하기 위한 방법으로 <그림 2>와 같이 cardinal run 방법과 inter-cardinal run 방법이 있다.



(a) Cardinal run (b) Inter-cardinal run
 <그림 2> 함정의 자기장 분리 방법

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 2>의 (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 3>과 같다.



(a) 선두방향 : 북서 (b) 선두방향 : 남동
 <그림 3> 함정 45도 기동 시 함정의 자기장 분포

함정의 자북 기준 서편 45도 기동과 자남 기준 동편 45도 기동을 이용하여 각 방향을 따로 묶어 정리하여 다음 식 (4)과 식 (5)은 분리된 영구자기장과 유도자기장을 나타내는 식이다[5].

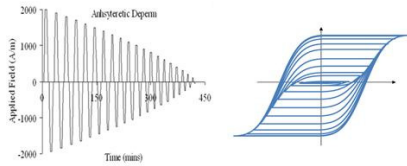
$$\begin{aligned} B_{x_i} &= (ILM + IAM)_{B_x} \\ B_{y_i} &= (ILM + IAM)_{B_y} \\ B_{z_i} &= (ILM + IAM)_{B_z} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} B_{x_p} &= (PM + IVM)_{B_x} \\ B_{y_p} &= (PM + IVM)_{B_y} \\ B_{z_p} &= (PM + IVM)_{B_z} \end{aligned} \quad (5)$$

2.3 탈자 프로토콜

합정의 영구자기장을 최소화하기 위해서는 탈자(deperming)를 해야 한다. 탈자 프로토콜에는 Flash D, Anhyseretic deperm 방법이 있다. Anhyseretic deperm 프로토콜은 <그림 4>의 (a)와 같이 일정 스텝 간격으로 입력 전류를 줄이는 단순한 탈자 프로토콜이다. <그림 4>의 (b)는 Anhyseretic deperm 프로토콜 적용에 따른 자기 이력 곡선이다.

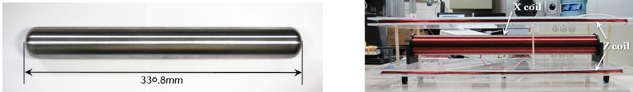
Anhyseretic deperm 프로토콜은 Flash D 프로토콜에 비하여 PVM 성분 탈자 처리에서 우수하고 프로토콜 구현이 더 용이하기 때문에 본 논문에서는 Anhyseretic deperm 프로토콜을 적용하였다.



(a) Anhyseretic 탈자 프로토콜 (b) 자기 이력 곡선
<그림 4> 탈자 프로토콜에 따른 자기 이력 곡선

2.4 합정 모델과 소형 탈자 시스템의 제작

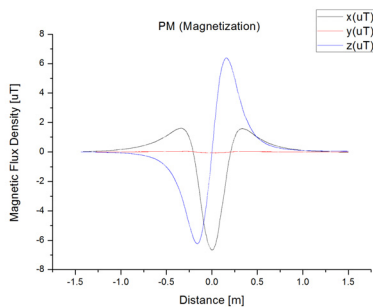
탈자 처리 시 합정 모델은 솔레노이드 타입의 X 코일 내부에 위치하여 영구자기장 성분의 탈자를 진행하게 된다. 또한 Z 코일은 탈자가 진행되는 동안 합정 모델 주위의 수직 자기장과 크기는 같으나 방향이 반대인 자기장을 발생시켜 외부 수직 방향 자기장을 상쇄시키는 역할을 한다. <그림 5>은 Anhyseretic deperm 프로토콜을 적용하기 위하여 제작된 소형 합정모델과 소형 탈자 시스템을 나타내고 있다.



(a) 합정모델 (b) 소형 탈자 시스템
<그림 5> 합정모델과 소형 탈자 시스템

2.5 합정의 자기장 측정 결과

탈자 프로토콜의 변화에 따라 탈자 성능을 비교하기 위해서는 초기 영구자기장이 동일한 상태에서 탈자가 진행되어야 한다. <그림 6>과 같이 탈자 시스템에 직류 전류 2A를 300초간 X 코일에 인가하여 착자 처리 하였다.



<그림 6> 착자 처리된 합정의 자기장

Anhyseretic deperm 프로토콜은 최대 전류로부터 줄어드는 전류의 단계 값의 크기가 작고 단계가 많아질수록 좋은 탈자 성능을 보여준다. 따라서 dead time을 적용하기 위해서는 동일한 지속시간에서 dead time을 적용하였을 경우와 적용된 dead time만큼 지속시간이 증가하였을 경우에 대한 실험이 필요하다.

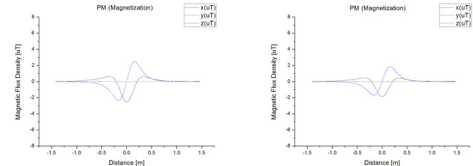
<그림 7>은 dead time이 적용되지 않았을 경우 지속시간 증가에 따른 탈자 성능을 비교한 결과이다. 탈자 초기 전류 4A, 탈자 전류 주기는

50회로 탈자 프로토콜의 1step당 0.04A의 전류가 변화하여 최종 50번째 step에는 -0.04A로 끝나게 된다. <그림 8>는 dead time을 적용하였을 경우의 탈자 성능을 나타낸 것으로 탈자의 초기 전류와 주기는 동일하나, dead time을 적용함으로써 실제 전류의 인가 시간이 감소하였다.

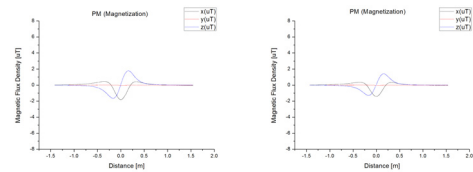
<표 1>는 지속시간의 변화와 dead time을 적용하였을 경우 x 방향과 z 방향의 최대 자속 밀도 값을 나타내고 있다. 지속시간이 증가함에 따라 탈자 성능도 향상되는 것을 볼 수 있지만 dead time을 적용하였을 경우보다는 낮은 수치를 나타내고 있다.

<표 1> 합정모델의 자기장 데이터

Protocol	Bx Max [uT]	Bz Max [uT]	Deperming ratio
Magnetization PM	1.638945	6.47565	0%
4A 100s Non-Dead Time	0.623893	2.47271	62%
4A 120s Non-Dead Time	0.466101	1.840225	71.5%
4A 100s Dead Time 10%	0.454184	1.789225	72%
4A 120s Dead Time 10%	0.360189	1.41837	78%



(a) 전체 지속시간 100s (b) 전체 지속시간 120s
<그림 7> 초기전류 4A에서의 탈자성능 분석



(a) 전체 지속시간 100s (b) 전체 지속시간 120s
<그림 8> Dead time 10% 초기전류 4A의 탈자성능 분석

3. 결 론

본 논문은 해군 합정의 자기정숙화를 위한 연구로 탈자 처리 시스템을 제작하여 합정 모델의 영구자기장을 최소화 시키는 탈자 실험을 진행하였다. 영구자기장과 유도자기장을 분리하기 위하여 inter-cardinal run 방법을 이용하였다. 동일한 조건에서 탈자를 진행하기 위하여 직류 전류 2A 300초 동안 X 코일에 인가하여 착자 처리를 하였다.

Dead time이 적용되지 않았을 경우 100초에서 약 62%, 120초에서 약 71.5%의 탈자 성능을 보여주고 있다. Dead time을 적용하였을 경우 100초에서 약 72%, 120초에서 약 78%의 향상된 탈자 성능을 보여주고 있으며, 이는 탈자 처리 동안 합정 모델의 자화량 안정에 따른 결과로 분석 되었다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] Minimizing the magnetic anomaly created by ships in the earth field, Grenoble, France, 2002 (private report)
- [2] UK Defence Standardization(July 2008), "Guide to the Design of Ferro-magnetic Signature Control Systems and Degaussing, Defence Standard 02-612", Ministry of Defence Issue 2.
- [3] O. Chadebec, J.-L. Coulomb, V. Leconte, J. P. Bongiraud, and G.Cauffet, "Modeling of static magnetic anomaly created by iron plates,"IEEE Trans. Magn., vol. 36, pp. 667 - 671, Oct. 2000
- [4] John J. Holmes "Modeling a Ship's Ferromagnetic Signatures (1st Edition)", Morgan & Claypool
- [5] Bhag Guru, Huseyin Hizirolu, Electromagnetic Field Theory Fundamentals, Second Edition, Cambridge, pp. 194-210, 2003.