Journal of the KIMST, Vol. 17, No. 5, pp. 585-590, 2014
ISSN 1598-9127
DOI http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2014.17.5.585

Research Paper 해상 · 수중 부문

Flash D 탈자방법에서 수직자화예측을 위한 초기자화율에 관한 검토

김영학*,1) · 도재원2)

1) 부경대학교 전기공학과
2) LIG넥스원㈜ 마리타임연구실

A Study on Intial Susceptibility for the Prediction of Vertical Magnetization in Flash D Demagnetization

Young-Hak Kim*,1) · Jaewon Doh2)

1) *Department of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea*
2) *Maritime R&D Lab., LIG Nex1 Co., Ltd., Korea*

(Received 2 May 2014 / Revised 11 August 2014 / Accepted 5 September 2014)

ABSTRACT

A permanent vertical magnetization should be obtained to counteract induced vertical magnetization due to the earth's background field during the Flash D demagnetization process. A vertical susceptibility is needed to calculate a extra-permanent magnetization, which is needed to control the permanent vertical magnetization in stage 2 of Flash D demagnetization and added to the final vertical permanent magnetization. Two susceptibilities were found in this paper. One is obtained from the extra-magnetization. The other is obtained by magnetic field measurement from the scaled physical vessel when the vessel is excited by vertical magnetic field. The initial susceptibility by the extra-magnetization was 0.101～0.109 and the one from the measured magnetic field was 0.122. Two susceptibilities have a good agreement each other. From this paper, it is found that the susceptibility is able to appllied to calculate the extr-magnetization.

Key Words : Fhas D 탈자(Flash D Demagnetization), 수직초기자화율(Vertical Initial Susceptibility), 수직영구자화(Vertical Permanent Magnetization), 지자계(Earth Magnetic Field), 축소함(Physical Scaled Model)

1. 서 론

함정의 선체는 강자성체인 철로 이루어지기 때문에 지자계 등에 의해 자화가 발생된다. 함정이 지자계 중에서 침로방향의 변화 및 파도와 같은 외부응력의 인가에 따라 함정에서 발생하는 영구 자화의 크기는 증가하므로 함정의 생존성 확보를 위해서는 탈자가 필

* Corresponding author, E-mail: kimyh@pknu.ac.kr
Copyright ⓒ The Korea Institute of Military Science and Technology

요하다. 강자성체의 탈자에 대한 이론적인 방향제시[1] 및 방법[2-5]에 대해서는 잘 알려져 있으며 자계신호의 분류에 대해서도 보고된 바 있다[6]. 본 연구는 축소함을 이용하여 Flash D 탈자에 대해 검토하는 것이다. Flash D 탈자의 가장 큰 목적 중에 하나는 지자계의 수직방향 성분의 자계를 상쇄시키도록 탈자과정 중에 함정에 수직자화를 부여하는 것이다. 이를 위해서 Flash D탈자는 3단계로 나누어 진행한다. 1단계에서는 과도한 수직자화를 형성시키고 2단계에서는 수직자화의 크기를 확인하면서 어떤 크기의 수직자화까지 감소시킨다. 3단계에서는 최종 수직자화를 얻기 위해 2단계에서 부여된 잉여 수직자화를 제거한다. 이 탈자 방법은 오래 전부터 각 국의 해군에서 많이 사용되어 왔으나 실제 적용사례는 보안 처리되어 공개되어 있지 않다. 논문으로써 보고된 첫 사례는 T. M. Baynes 등에 의한 것이다[7]. 이 연구에서 3단계에서 제거되는 잉여수직자화에 의한 자계가 함정의 초기자화율로 계산할 수 있음을 제시하였다. 그러나 T. M Baynes의 실험으로부터 구한 초기자화율로 잉여수직자화에 의한 자계를 계산하면 그 값이 너무 커 Flash D 탈자에는 이 자화율을 적용할 수 없음을 나타내었다[8]. LIG 넥스원(주)이 탈자에 관련한 사업을 진행하면서 초기자화율을 함정에 수직자계를 인가하여 구하는 방법에 대한 자료를 입수하였지만 이 방법을 이용한 적용사례 및 결과에 대해서는 검토되어진 바 없다. 본 논문은 Flash D 탈자에서 필요한 초기자화율에 대해 국외자료를 바탕으로 실험적으로 검토하였다. 이것은 Flash 탈자에서 3번째 단계의 탈자과정 중, 제거될 잉여 수직자화에 의한 자계의 크기를 예측하기 위해 필요하며 이 검토에서는 잉여 수직자화에 의해 발생하는 자계로부터 구한 수직 자화율과 함정에 단순히 수직자계를 인가하여 구한 수직방향의 초기 자화율을 비교하였다.

2. 실험방법

Fig. 1는 축소함 탈자 장치를 나타낸 것이다. 남북방향(x방향)으로 배치되는 솔레노이드 코일은 길이가 2m, 내경이 0.5m이며 코일 턴수가 600턴이다. 솔레노이드 코일(x코일) 아래와 위에 한 쌍의 사각코일(z코일)을 배치하여 지자계의 수직성분방향과 반대방향으로 지자계를 발생할 수 있도록 하였다. z 코일의 크기

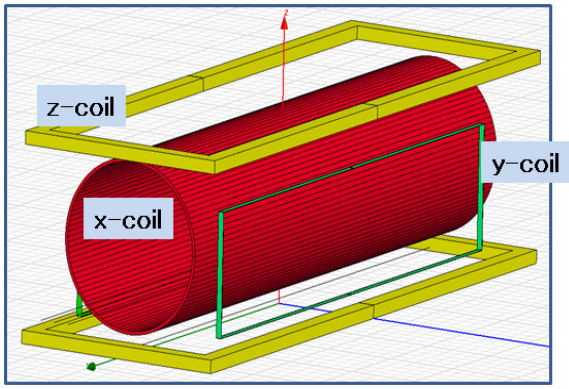


Fig. 1. Experimental aparatus for deperm

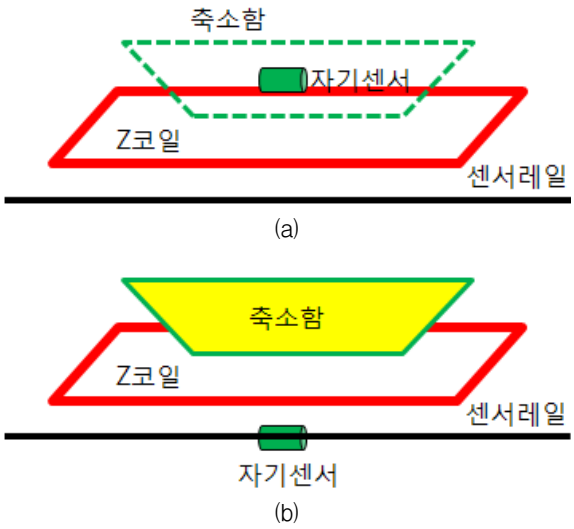


Fig. 2. Magnetic field measurement

는 길이가 2m, 폭이 0.6m, 각각의 턴수는 105턴이다. 자기센서는 z코일 아래에 있는 센서레일에 부착되어 이동되며 분해능이 0.1 nT, 측정범위가 $\pm 10^5$ nT이다. 본 연구에서 제시하는 모든 자계측정 데이터는 z방향 센서로 측정한 것이며 지자계에 의한 환경데이터가 제거된 것이다. Fig. 2에 z코일에 의해 축소함에 인가되는 수직자계와 축소함에서 발생하는 자계를 측정하는 방법을 나타내었다. Fig. 2(a)와 같이 자기센서를 축소함 중심높이에 두고 코일에 전류를 흘리면 중심높이에서 z 코일의 발생자계를 구할 수 있다. 이 때 축소함은 z 코일 위에 두지 않는다. z 코일자계에 의해 축소함에서 발생하는 자계는 Fig. 2(b)와 같이 축소함을 z 코일 위에, 그리고 자기센서를 센서레일에 두

고 측정하였다. 이 측정치는 축소함이 없을 때 센서레일에 자기센서를 두고 z 코일에 전류를 흘렸을 대 발생하는 자계가 감산된다. 이 실험으로부터 축소함의 수직방향의 z 코일 자계 의존성, 즉 χ_i를 구할 수 있다. 축소함은 철을 주성분으로 하는 주석도금강판을 사용하여 제작하였고 길이가 1000mm, 폭이 150mm, 높이가 100mm이며 이 축소함은 한국해군 실함을 200:1의 크기로 축소하여 제작하였다.

2.1 FLASH D탈자방법 및 조건[7]

Fig. 3은 축소함을 FLASH D 탈자할 때, 함정에 인가하는 x방향, 즉 수평방향의 자계파형(HL)과 z방향, 즉 수직방향 자계(HV)를 나타낸 것이다. x방향 자계는 3단계로 나누어 인가된다. 1단계에서는 x방향 자계를 최대치에서 미리 정한 크기까지 일정한 감소율로 감소시킨다. 이 때 축소함에 큰 수직방향의 자화를 만들기 위해 지자계의 수직성분방향과 반대방향으로 큰 자계를 인가한다. 1단계의 마지막 인가자계의 방향은 첫 번째 인가자계의 방향과 반대가 된다. 2단계에서는 수직방향의 자계를 제거하고 수평자계를 다시 증가시킨다. 이때 수평자계는 ±방향, 즉 크기가 같고 방향이 서로 반대로 하여 한 쌍씩 인가된다. 축소함에서 발생하는 자계(수직자화에 의한 자계 : VM)은 +방향으로 자계를 인가하여 센서를 이동시켜 자기신호를 측정한 다음 다시 -방향의 자계를 인가하여 측정하여 이 두 자기신호의 교점값이 된다. 2단계의 첫 번째 쌍과 두 번째 쌍의 인가자계의 크기는 임의로 정하며 첫 쌍의

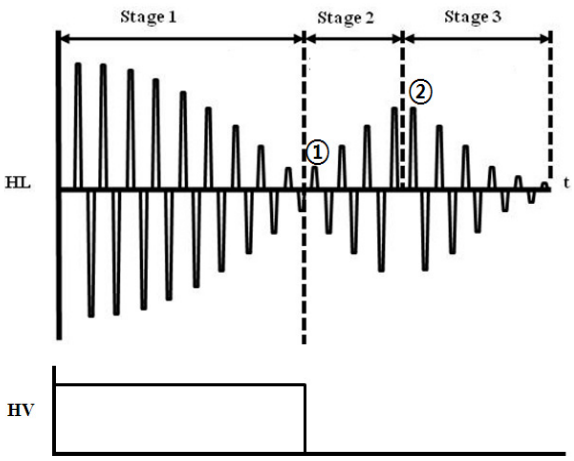


Fig. 3 Mangetic profile for Flash D deperm

첫 번째 자계의 인가방향은 1단계의 마지막 인가자계 방향과 반대방향으로 한다(그림에서 ①로 표시). 2 단계에서 수평자계를 증가시키는 것은 1단계에서 함정에 부여된 큰 수직자화에 의한 자계를 어떤 설정값까지 감소시키기 위한 것이다. 2단계의 세 번째 쌍부터 자계의 크기는 앞에서 측정한 두 쌍의 VM을 식(1)에 대입하여 구한다.

$$H_{n+1} = H_n + \left(\frac{VM_t - VM_n}{VM_{n-1} - VM_n}\right) \times (H_{n-1} - H_n) \times 0.5 \quad (1)$$

H_{n-1} : H_n 이전의 자계
H_{n+1} : 인가할 자계
VM_{N-1} H_{n-1}에 의한 수직자화성분에 의한 자계
VM_n : H_n에 의한 수직자화성분에 의한 자계
VM_t : 수직자화에 의한 자계 목표치

이 식에서 VM_t는 다음 식으로 정한다.

$$VM_t = VM_f + VM_d \quad (2)$$

이 식에서 VM_f는 FLASH D탈자가 끝나고 축소함이 가지게 될 수직자화에 의한 자계로 이 값이 0이 되면 지자계의 수직방향으로 유도되는 자화의 크기와 z코일에 의해 부여되는 함정의 수직자화가 크기가 같고 방향이 서로 반대가 되어 식 (2)로부터 VM_t와 VM_d는 같게 된다. 따라서 VM_d는 3 단계에서 자연 감소될 잉여 수직자화에 의한 자계의 크기가 된다. VM_d는 식 (3)으로 정의된다.

$$VM_d = 1.4\chi_i^2 EBF \quad (3)$$

여기서 X_i는 선체재질의 초기자화율이고 EBF(Earth Background magnetic Field)는 지자계의 수직방향성분의 크기이다. 3단계에서는 2단계의 마지막 수평자계의 크기를 단순 감소시키는 과정이다. 이 때 제 3단계에서 첫 번째 자계는 제 2단계의 마지막 자계의 크기와 방향이 같도록 한다(Fig. 3에서 ②로 표시). 이 단계는 2단계에서 수평자계의 증가로 커진 x방향의 자화를 다시 감소시키며 이에 동반하여 잉여수직자화(VM_d)가 자연 감소하게 된다.

3. 실험결과 및 고찰

본 실험에서의 Flash D 탈자조건은 1단계에서 첫 번째 인가자계의 크기를 2000A/m, 감소율을 직전 자계의 3%, 1단계의 마지막 자계를 51.5A/m로 하였다. 2단계에서 첫 두 쌍의 자계크기를 50A/m와 60A/m로 하였다. 그리고 VM_t를 400nT, 600nT, 800nT, 1000nT, 네 가지로 설정하였다. Fig. 4는 Fig. 2의 실험방법으로 구한 것으로 z코일의 자계에 의해 축소함에서 발생하는 자계를 측정한 것이다. 계산치는 최소자승법으로 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 축소함에서 발생하는 자계는 인가자계에 대해 0.122의 기울기 즉, χ_i를 가졌다. Fig. 5는 VM_t를 600A/m으로 설정하고 식(1)로 구한 자계 H_n이 ±50A/m, ±60A/m, ±121A/m, ±157A/m, ±179A/m, ±190A/m, 195A/m, ±198A/m의 8개의 자계쌍 중에서 ±121A/m, ±179A/m, ±198 A/m일 때의 VM_n을 나타낸 것이다. 이 그림에서 두 VM의 교점은 축소함의 중앙부근에서 나타나며 H_n의 증가와 함께 수평 전체 신호의 크기는 증가하지만 교점의 크기 즉 VM이 감소함을 알 수 있다. Fig. 6은 4개의 VM_t의 설정치에 대해 VM의 H_n 의존성을 나타낸 것으로, 이 그림으로부터 VM_n이 H_n에 대해 선형적으로 감소함을 알 수 있다. Fig. 7은 Fig. 6의 마지막 H_n을 인가한 후에 측정한 VM_t를 설정치와 비교한 것이다. 이 때 VM_t가 400nT일 때는 H_n(최종자계)이 185A/m, H_{n+1}(H_n 다음에 계산된 자계)은 185.2A/m, VM_t가 600nT의 H_n과 H_{n+1}은 각각 190A/m, 190.3A/m, VM_t가 800nT의 경우에는 198A/m와 197.9A/m, Vm_t가 1000nT의 경우에는 203A/m, 204.8A/m 였다. 따라서 각 VM_t의 설정치에서 H_n과 H_{n+1}이 거의 동일하여 H_n을 최종 인가자계로 하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 VM_t의 측정치와 설

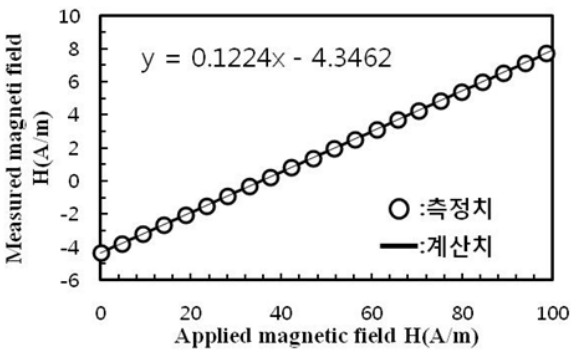
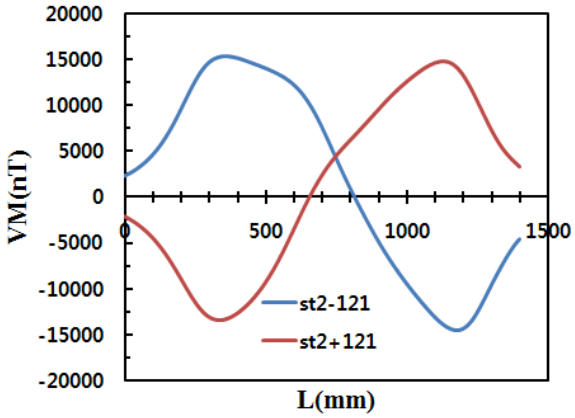
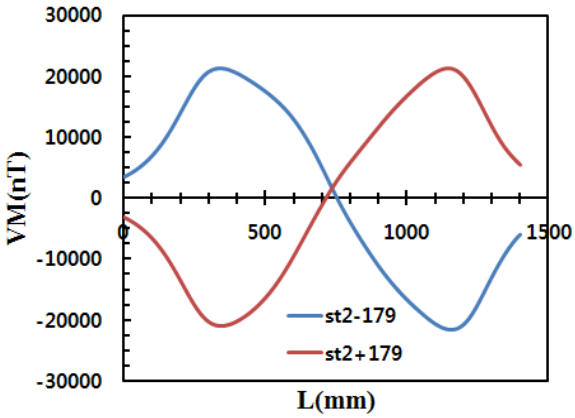


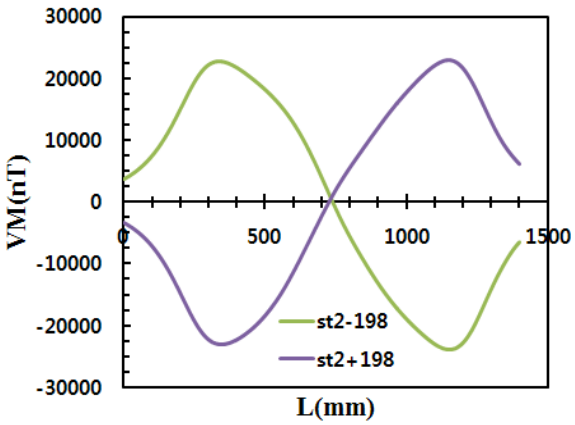
Fig. 4. Magnetic field from physically scaled vessel



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Magnetic field at the second stage of Flash D deperm

정치가 거의 일치함을 알 수 있다. Fig. 8은 3단계 이후 측정된 축소함의 자기신호를 나타낸 것으로 VM_t를 600nT로 설정하였을 때 축소함의 VM이 중앙부근에서 거의 0에 가까웠다. Table 1은 VM_t와 VM_f, VM_d (=VM_t-VM_f), χ_i를 나타낸 것이다. 이 표에서, χ_i는 식 (3)에 VM_d를 대입하여 구하였다. 이 때 nT를 A/m 단위로 환산하였다. 이 표에 계산된 χ_i는 거의 0.101-0.109이며 이 값은 Fig. 1에서 구한 기울기 0.122와 유사함을 알 수 있다.

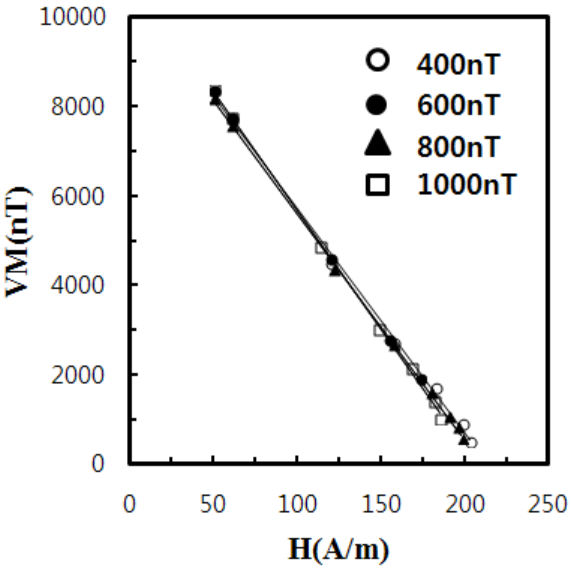


Fig. 6. Magnetic field due to a pair of applied field

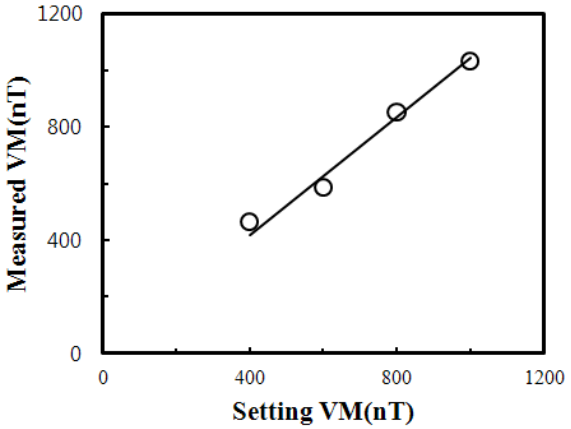


Fig. 7. Setup magnetic field and observed magnetic field at the second stage

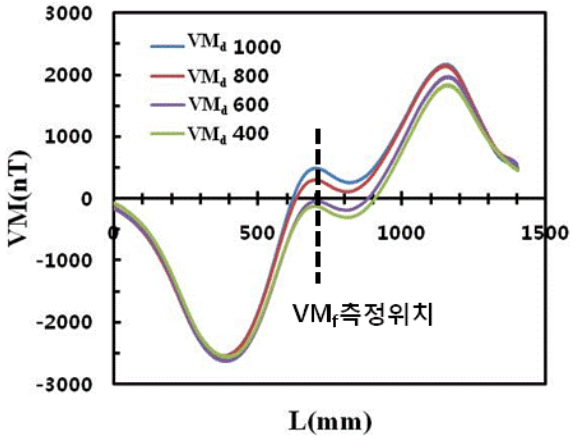


Fig. 8. Magnetic field at the third stage

Table 1. VM_t, VM_d, VM_f, χ_i

VM_t(nT) Stage 2	VM_f(nT) Stage 3	VM_d(nT)	χ_i
1034	493.51	540.49	0.101
852	298.51	553.49	0.102
588	-39.58	627.58	0.109
466	-128.53	594.53	0.106

4. 결 론

본 연구로부터 얻은 결과를 아래와 같이 나타낸다.

1. stage 2에서 측정된 수직자화에 의한 자계값과 설정된 수직자화에 의한 자계값이 거의 동일할 때, 최종자계와 그 전에 계산된 자계는 거의 동일하였다.
2. stage 3 종료 후에 잉여수직 자화에 의한 자계값은 541nT-628nT 사이의 값을 가졌으며 이 값으로부터 구한 χ_i는 0.101-0.109의 값을 가졌고. 축소함에 수직자계를 인가하여 측정한 수직자화에 의한 자계는 인가자계에 대해 0.122의 기울기가 얻어져 이 두 값은 거의 일치하였다.
3. Flash D 탈자에서 잉여수직자화에 의한 자계를 구하기 위해 필요한 χ_i는 축소함에 인가한 수직자계에 대한 축소함에서 발생한 수직자계의 기울기를 구함으로써 구할 수 있음을 알았다.

후 기

이 논문은 2012학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임(C-D-2012-0499).

References

[1] S. Chikazumi, Physics of Ferromagnetism, 2nd ed. Clarendon Press · Oxford, pp. 471-472, 1997.

[2] K. Yamazaki, K. Kato, S. Hirosato, K Muramatus, T. Shimizu, T. Sato, A. Haga and K. Huziwara, "Investigation on Demagnetization of Residual Mangeization in Architectureal Components using 3-D Magnetic Feidl Analysis," IEEE Trans. Magn., Vol. 41, pp. 1976-1979, 2005.

[3] P. Oxley, "Apparatus for Magnetzation and Efficient Demagnetization of Soft Magnetic Material," IEEE Trans. Magn., Vol. 45, pp. 3274-3283, 2009.

[4] Henk M. J. Boots and Kees M. Schep, "Anhysteretic Magnetization and Demagnetization Factro in Preisach Models," IEEE Trans. Magn., Vol. 36, pp. 3900-3909 2000.

[5] K, Koester, "A Contribution to Anhysteretic Remanence and Ac Bias Recording", IEEE Trans. Magn., Vol. 11, pp. 1185-1187, 1975.

[6] C. S. Yang and H. J. Chung, "Study on Analysis Method for Ship's Ferromagnetic Signature using Magnetic Mock-up Model," Jounal of the KIMST, Vol. 10, No. 4, pp. 38-51, 2007.

[7] T. M. Baybes, G. J. Russel and A. Bailey, "Comparison of Stepwise Demagnetization Techniques," IEEE Trans. Magn., Vol. 18, pp. 1753-1758 2002.

[8] T. M. Baynes, "Analysis of the Demagnetization Process and Possible Alternative Magnetic Treatments for Naval Vessel," Doctor Thesis Chapter. 4, pp 131-132, 2002.