

함정의 형상 반자계 효과가 탈자에 미치는 영향

김영학*

Influence of Shape Demagnetization Effect for Naval Vessel Deperming

Young-Hak Kim*

Department of Electrical Engineering, Pukyong National University, Pusan 48513, Korea

요 약

본 논문은 함정의 형상이 탈자 이후에 함정에 형성되는 수직자화에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 선박의 전면 전개도로부터 함정의 형상을 삼각형, 사각형, 원형으로 선택하여 지자계에 의한 수직방향의 유도자화를 FEM 정자장 해석으로 조사하였다. 탈자과정 중에 자화에 의한 자계를 측정하였으며, 탈자 이후 성분분리를 통해 영구자화에 의한 자계의 수평 및 수직성분의 크기를 바이어스 자계의 변화에 따라 조사하였다. 이 실험으로부터 함정의 형상을 고려하는 탈자처리 방법이 필요하며 방법으로 선수와 선미 쪽에 권선 간격을 좁게 하여 함정의 중앙부분보다 비교적 더 큰 자계가 인가되도록 하는 것이 바람직하다는 것을 알았다.

ABSTRACT

This paper studied on the influence of naval vessel shape on vertical magnetic field after the vessel was demagnetized. The triangular shape, the rectangular shape and circular shape were adapted from vessel's structural drawings. Magneto-static FEM analysis was performed to obtain the induced magnetic field due to earth magnetic field for those shapes. During demagnetization process, magnetic field of residual magnetization was observed. The horizontal and vertical magnetic field were calculated depending on vertical bias magnetic field through magnetic component separation. To demagnetize naval vessel ship, demagnetizing coils should be wound more finely in the bow and stern of the ship than it should be in the mid-part of the ship.

키워드 : 탈자효과, 함정형상, 수직자화, 직교자계

Key word : demagnetization effect, naval vessel shape, vertical magnetization, orthogonal magnetic field

Received 05 November 2015, Revised 26 November 2015, Accepted 10 December 2015

* Corresponding Author Young-Hak Kim (E-mail:kimyh@pknu.ac.kr, Tel:+82-51-629-6316)
Department of Electrical Engineering, Pukyong National University, Pusan 48513, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.2.445>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

기뢰는 수중에서 함정으로부터 발생하는 자계를 탐지한다. 함정에서 발생하는 자계의 수평방향성분은 함정의 침로방향에 따라 변하지만 수직방향 성분은 지자계의 수직방향성분이 북반구에서 위에서 아래로 항상 같기 때문에 일정하다. 따라서 기뢰는 수직방향성분의 자계를 탐지하여 기폭여부를 판단할 수 있다. 탈자처리 는 함정에서 발생하는 자계를 최소화하기 위해 해군에서 사용하는 기술로 두 종류의 코일을 사용한다. 하나는 함정 길이방향으로 일정폭으로 감는 코일로 솔레노이드 코일이고 이 코일에서 발생하는 자계는 지자계 보상용 바이어스 자계(수평 바이어스자계)와 순차적으로 변하는 교류자계이다. 처음 인가하는 교류자계의 크기는 함정 선체를 물리적으로 포화시킬 수 있도록 하며 이후에는 조금씩 자계의 크기를 감소시킨다. 두 번째 종류의 코일은 해저면에 설치되는 사각코일로 이 코일의 자계는 지자계의 수직성분의 방향과 반대방향으로 직류자계(수직바이어스 자계)를 발생시킨다. 소자코일을 탑재하지 않는 함정의 경우는 큰 수직바이어스 자계를 인가하여 탈자를 한다. 이것은 탈자 이후에 지자계의 수직방향 성분에 의해 유도되는 자화를 반대방향으로 부여된 영구자화로 상쇄시키기 위함이다[1-3]. 따라서 선체에는 솔레노이드 코일의 수평바이어스 자계와 사각코일에 의한 수직바이어스 자계가 서로 직교하므로 직교자계의 효과[4]를 가지게 된다. 직교자계효과는 직교자계가 없을 때보다 수직방향으로 쉽게 선체에 수직자화를 부여할 수 있다. 이것은 솔레노이드 코일의 교류자계가 선체의 자화를 포화시킬 수 있을 만큼 클 때, 사각코일에 발생하는 수직바이어스 자계가 클수록, 그리고 솔레노이드 코일에서 발생하는 수평바이어스 자계가 클수록 크다. 함정은 복잡한 형상을 가지는 강자성 물체로 선체를 정면에서 보았을 때 선수는 삼각형상, 중간부분은 사각형상, 선미는 반원형상으로 보인다. 이것은 자기공학적으로 형상의 차이에 의한 자화시키기 어려운 정도 즉, 반자계[5]가 존재함을 의미한다. 선수와 선미의 삼각형상과 반원형상은 중간부분인 사각형상에 비해 반자계가 커서 자화시키기 어렵다. 특히 해저면 사각코일에서 함정을 바라볼 때, 이 차이는 더욱 뚜렷해진다. 본 논문은 함정의 형상이 수직자화에 미치는 영향을 조사하였다. 이 연구에서 선박의 전면도

를 이용하여 함정의 대표형상을 추출하였으며 이 형상들에 대해 지자계의 수직성분에 의해 발생하는 자계를 정자장 유한요소법으로 해석하였다. 이 해석결과로부터 전체형상과 각 형상을 비교하여 어느 형상이 유도자화에 의한 자계를 더 크게 발생시키는 가를 검토하였다. 그리고 유한요소법으로 탈자를 해석하는 것이 용이치 않아 실제로 형상이 거의 비슷한 크기의 삼각형, 사각형, 원형 시편을 제작하여 탈자를 한 다음, 영구자화를 구하였다. 유한요소법 해석과 탈자실험의 두 가지 결과를 바탕으로 함정에 형성되는 최종 수직성분의 자화가 어느 형상에 더 크게 잔류하는 가를 고찰하였다.

II. 실험 방법

그림 1은 본 실험에서 이용한 탈자 및 측정 장치의 구조를 나타낸 것이다. 탈자를 하기 위해 시편에 인가하는 수평자계는 솔레노이드 코일로, 수직 바이어스 자계는 솔레노이드 아래에 위치한 원형코일을 이용하였다. 수평인가자계는 LABVIEW에서 만들어진 파형을 DAQ 보드와 바이폴라전원을 통하여 솔레노이드 코일에 인가된다. 탈자 전 후에 시편에서 발생하는 자계는 2축(x축:수평방향, z축:수직방향) 플럭스게이트 자계센서와 LOCK-IN 앰프로 측정된다. 시편에서 발생하는 자계신호(magnetic signature)는 시편 아래의 센서레일을 이동시켜 측정하였다. 이것은 탈자 이후에 영구자화 성분을 분리하기 위함이다. 성분분리는 기존의 방법을 이용하였다[6]. 그림 2는 탈자를 위한 전류(자계)파형을 나타낸 것이다. 파형은 상승시간, 지속시간, 하강시간 유지시간을 각각 가지는 ramp 파형이며 이 파형은 실제 함정을 탈자할 때 이용되는 것이다. Hfs는 첫 번째 인가하는 펄스(shot)이며 이 자계는 함정의 선체의 자화를 물리적으로 포화시킬 수 있는 크기여야 한다. ΔH는 후속되는 자계의 감소폭, HLb는 수평방향의 바이어스자계로 지자계의 수평방향 성분을 상쇄시키기 위해 반대방향으로 인가 된다. 수직방향의 바이어스 자계는 직류 전류를 원형코일에 흘려 발생시키며 방향은 지자계의 수직방향 성분과 반대가 된다.

그리고 영구자화를 부여하기 위해 지자계의 크기보다 훨씬 크게 하여, 수평바이어스 자계와 함께 직교를 이루게 한다.

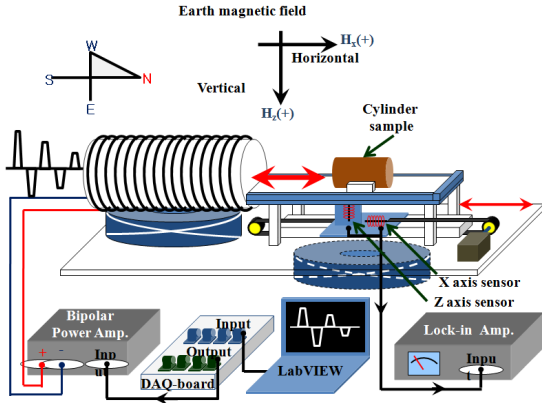


Fig. 1 experimental system.

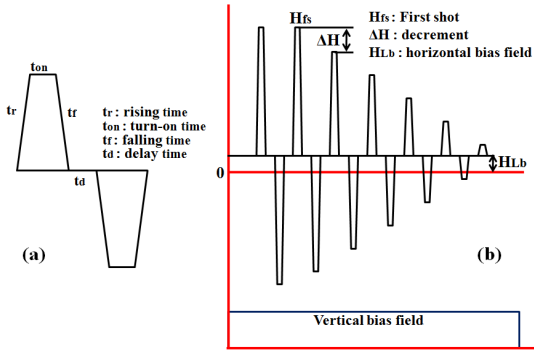


Fig. 2 Applied magnetic field shape.

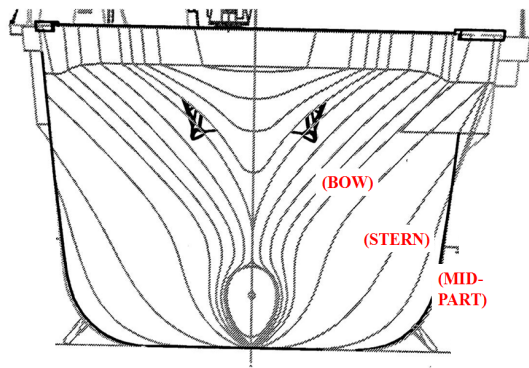


Fig. 3 Front structural drawing.

수평자계를 인가할 때, 첫 번째 자계와 크기가 같은 자계를 반대방향으로 번갈아 인가한 다음에 바로 직전 자계크기의 3% 감소폭으로 순차적으로 인가하였다.

BOW+MID-PART+STERN

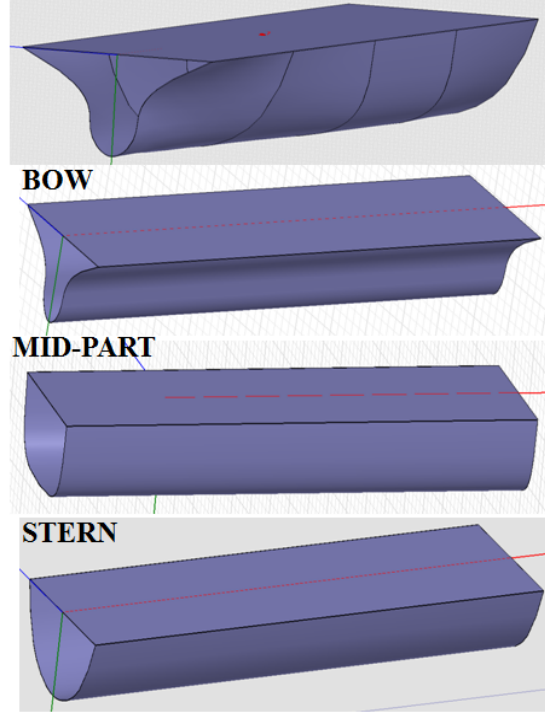


Fig. 4 FEM Model.

마지막으로 인가되는 자계의 크기는 탈자공간의 환경자계의 반으로 하였다. 위에서 언급한 탈자방법은 해군에서 사용하는 탈자절차에 따른 것이다. 이 논문에서 기술하는 자계의 측정치는 실험 공간의 환경자계를 감안하여 나타낸 것이다. 그림 3은 선박을 건조할 때 사용하는 설계도 중, 전면도를 나타낸 것이다. 선수에서 선미로 진행함에 따라 전면의 형상이 크게 변화하고 있음을 알 수 있다. 이 그림에 표시한 BOW, STERN, MID-PART는 정자장 유한요소법 해석 모델을 만들기 위해 이용한 윤곽선 부분을 표시한 것이다. 그림 4는 그림 3의 전면도에 좌표를 설정하여 각 윤곽선의 좌표점을 구해서 만든 유한요소법 해석모형을 나타낸 것이다. 이때 각 해석모델의 두께는 동일하게 하였다. 그림 5는 탈자실험을 위해 제작한 시편을 나타낸 것이다. 시편의 재질은 주석도금 강판(합석판)이며 길이와 두께는 모두 100mm와 0.15mm이며, 원형시편은 직경이 60mm, 삼각형과 사각형 시편은 모두 한 변이 60mm로 세 시편 모두 거의 같은 크기를 가지게 하였다.

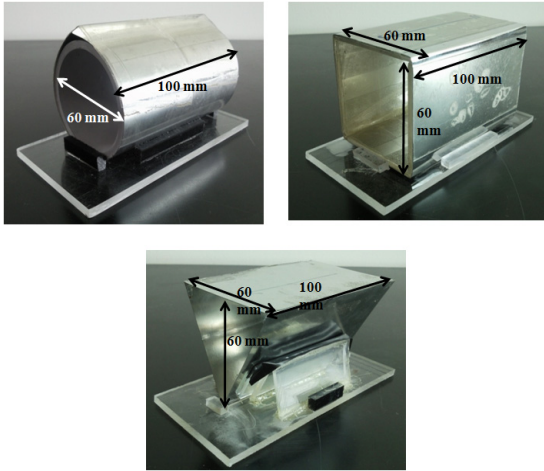


Fig. 5 Specimens with 3 different shapes.

III. 실험 결과

3.1. 유도자화에 의한 자계 FEM 해석

그림 6은 정자장 유한요소법 해석결과이다. 지자계의 수직성분에 의해 유도되어 발생하는 자계를 계산하므로 지자계의 수직성분의 크기를 해석의 경계조건으로 입력하였고 각 해석모델의 물성치로서는 투자율만 부여하였다. 그림에는 시편에서 발생하는 자계 중, 수직성분의 자계만을 나타내었다. 각 형상에서 발생하는 자계는 MID-PART, STERN, BOW순으로 전체형상의 자계모양을 닮아가고 있다. 이것은 전체모양의 수직방향의 자계에 선수와 선미의 형상의 자계가 지배적으로 기여하고 있음을 알 수 있다.

3.2. 바이어스 자계에 의한 잔류자화의 변화

그림 7은 삼각형시편을 이용하여 인가자계를 2000 A/m에서 2000A/m의 자계를 인가하였을 때 시편의 잔류자화에 의해 발생하는 자계를 측자계의 인가순서는 탈자와 같이 먼저 +2000A/m, 다음에 -2000A/m를 각각 인가한 후, 자계를 감소시키면서 +방향과 -방향으로 번갈아 인가하였다. 그림에서와 같이 잔류자화에 의한 자계는 강자성체의 히스테리시스 특성을 가지며 인가자계가 1000 A/m 이상의 인가자계에서 잔류자화가 포화가 됨을 알 수 있다. 따라서 탈자실험에서 수평방향의 인가자계를 1500 A/m로 한 것이 타당함을 알 수

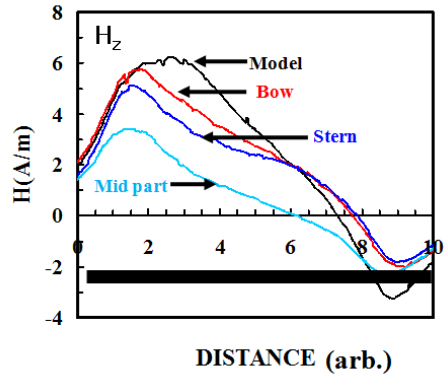


Fig. 6 FEM calculating results for 3 different shape (induced magnetization field).

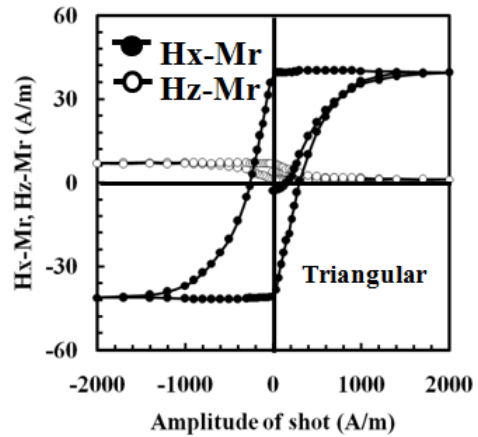


Fig. 7 The relation between applied magnetic field and measured magnetic field.

있다. 그림 8은 직교자계[수평자계+수평 바이어스자계(LBF), 수직바이어스 자계(VBF)를 인가하여 탈자할 때, 자계와 시편에서 발생하는 자계를 측정할 것을 나타낸 것이다. 자계의 인가순서는 탈자와 같이 먼저 수평방향으로 +1500A/m, 다음에 -1500A/m를 각각 인가한 후, 3%씩 감소시켜 +방향과 -방향으로 번갈아 인가하였다. 시편에서 발생하는 자계를 측정할 때는 각 인가자계를 제거하고 측정하였고 이를 잔류자화에 의한 자계 Hz-Mr로 나타내었다. 이 그림에서 두 곡선의 기울기 변화로부터 직교자계효과를 알 수 있다. 즉, 수평방향의 바이어스 자계가 없을 때보다 있을 때의 곡선의 기울기가 더 커짐을 알 수 있다.

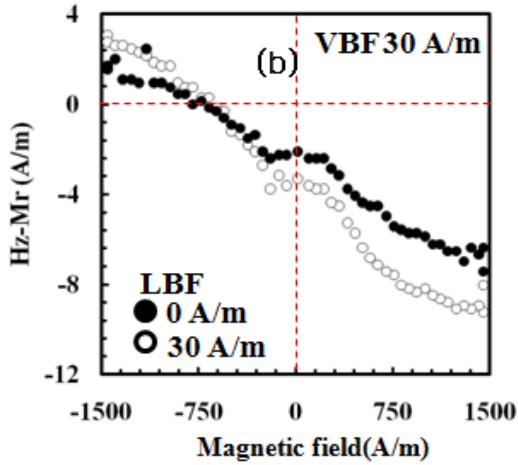


Fig. 8 Dependence of measured magnetic field on applied magnetic field.

이것은 수직방향의 바이어스 자계가 커지면 클수록 기울기 더 커져 수직방향으로 쉽게 자화를 부여할 수 있음을 의미한다. 또한 수직방향의 바이어스 자계에 의해 잔류자화에 의한 자계의 크기도 - 방향(지자계 수직 성분의 방향과 반대)으로 시프트됨을 알 수 있다. 그림 9는 원형, 삼각형, 사각형 시편에 대해 수직바이어스자계를 변화시키며 탈자한 후 자화분리[6]를 통해 얻은 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 PLM(Permanent longitudinal Magnetization)과 PVM(Permanent Vertical Magnetization)은 영구자화의 수평(PLM:permanent longitudinal magnetization) 및 수직(PVM:permanent vertical magnetization)방향성분의 자계이다. 그림에서 횡축의 0A/m의 데이터는 초기 상태를 부여하기 위해 수평 및 수직의 결과이다. 그림 8(a)-(c)에서 수직방향의 바이어스 자계를 증가시켜 탈자할 때 탈자결과인 PVM이 선형적으로 변화함을 알 수 있다.

그리고 어느 시편도 수직바이어스자계의 변화에 따라 같은 비율로 PVM이 변화하고 있음을 알 수 있다. 즉, 탈자에 의해 부여되는 영구자화는 시편의 형상에는 영향을 받지 않음을 나타내는 것이다. 이것은 수평인가 자계가 커서 시편의 자화를 충분히 포화시키기 때문에 과거의 잔류자화력이 전부 소멸된다는 것과 직교자계 효과에 의해 형상차이에 의한 반자계 효과가 작아짐을 의미하는 것이다.

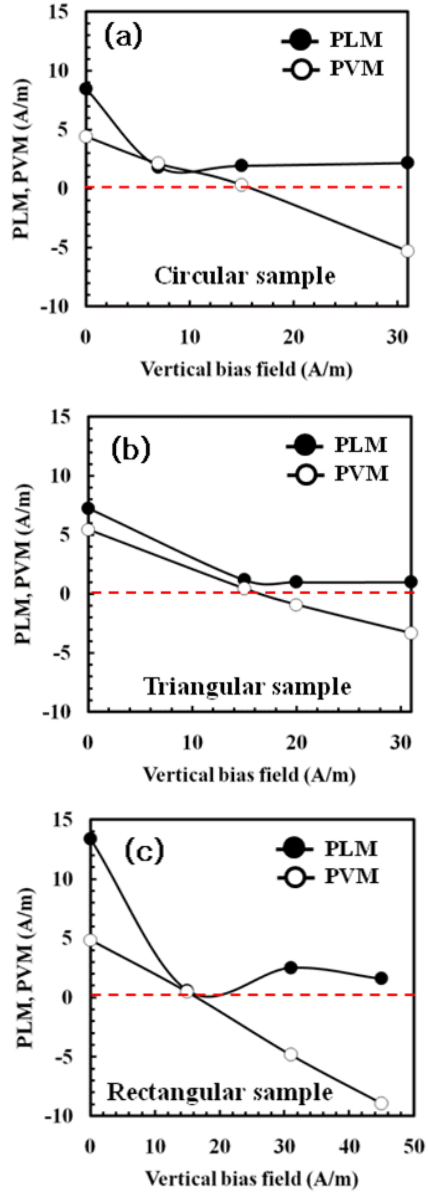


Fig. 9 PVM and PLM depending on vertical magnetic bias field.

따라서 본 실험으로부터 함정의 형상 차이는 유도자화와 영구자화에 각각 다르게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이것은 유도자화와 영구자화가 서로 상쇄되는 지자계 공간에서는 선수인 삼각형과 선미인 원형이 유도자화에 의한 자계가 커기 때문에 중간부분인 사각형

보다 수직방향의 자계를 완전히 상쇄하기 어렵다는 것을 의미한다.

IV. 결 론

본 논문은 합정의 형상이 탈자 이후에 합정에 형성되는 수직자화에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 유도자화의 수직방향의 자계는 선수와 선미의 형상에 가까운 삼각형 및 원형의 형상이 합정의 중간부분에 해당하는 사각형보다 전체형상의 자계에 더 가깝게 나타났다. 탈자 이후, 영구자화에 의한 수직방향의 자계는 어느 형상이든 거의 같은 크기를 나타내었다.

본 논문의 결과로부터 합정의 형상을 고려하는 탈자 처리 방법이 필요하다. 즉, 선수와 선미 쪽에 권선 간격을 좁게 하여 합정의 중앙부분보다 비교적 더 큰 자계가 인가되도록 하는 것이다. 이로써 선수와 선미에 직교자계효과가 극대화되므로 기존의 방법보다 좀더 엄밀한 탈자처리가 가능하리라 생각된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University(2015 Year)



김영학(Young-Hak Kim)

1986 부산수산대학(공학사)
1991 일본동북대학(공학석사)
1994 일본동북대학(공학박사)
1995 부경대학교 전기공학과 교수
※ 관심분야 : 해양안보 및 군사/국방과학

REFERENCES

- [1] Ki-Chan Kim, Kwan-Seop Yoon, Chang-Seob Yang, Kwang-Ho SHin, Hae-Yong Jeong, and Young-Hak Kim "Remnant Magnetization Prediction in the Demagnetization Process by Orthogonal Magnetic Field," *IEEE Transaction on Magnetics*, vol.47, no 10, pp.4360-4363, October 2011.
- [2] T. M. Baynes, "Comparison of Stepwise Demagnetization Techniques," *IEEE Transaction on Magnetics*, vol. 38, no.4, pp.1753-1758, July 2002.
- [3] Y.H. Kim and J. Doh, "A Study on Initial Susceptibility for the Prediction of Vertical Magnetization in Flash D Demagnetization", *Journal of the KIMST*, vol. 17 no. 5 pp.585-590, October 2014.
- [4] Y. Bi and D. C. Jiles, "Measurement and Modeling of Hysteresis I Magnetic materials under the actio fo an orthogonal bias field", *IEEE Transaction on Magnetics*, vol. 35, no.5, pp.3787-3789, September 1999.
- [5] D. C. Jiles, *Magnetism and Magnetic Materials*, p 50, 2nd Ed, Chapman & Hall, 1993.
- [6] Y.H. Kim and J. Doh, "Investigation on the component separation of magnetic signal generated form a ferromagnetic vessel", *JKIICE*, vol. 18, no. 18 pp.2051-2056, August 2014.