

비 투자를 감지에 의한 Magnetic Tomography 개발에 관한 연구

박은식, 박관수  
한국해양대학교 전기공학과

Study on the Magnetic Tomography to Detect the Magnetic Permeability

Eun-Sik Park and Gwan Soo Park  
Dept. Electorical Engineering, Korea Maritime University

**Abstract** - 본 연구는 탐지대상물체의 형상인식이 가능한 비접촉, 원격 탐지장치의 개발에 관한 것이다. 본 연구에서는 2극 또는 4극의 정자기장을 인가할 때 탐지 대상 물체에 의한 자기장의 자계외곡을 32개의 Hall Sensor로 감지하여 탐지 대상 물체를 인식하는 원격 감지 System을 설계하였다. 투자율에 따른 민감도는 10 이하에서 우수한 특성을 보였고, 위치에 따른 민감도는 2극에서는 어느곳에 있어도 특성이 좋았고 4극에서는 중심에서는 특성이 좋지 않으나 물체가 센서 가까이에 있을 때 특성이 좋았다.

1. 서 론

Tomography는 비파괴 검사나 MRI 처럼 보이지 않는 곳을 절단하지 않고도 볼 수 있도록 나타내는 기술로 오늘날 Tomography는 의학이나 산업분야에 널리 쓰이고 있다. Tomography의 핵심 기술은 센세내의 물체의 재질을 센서로 감지를 한 후 수학적으로 재구성을 하여 물체를 직접 보는 듯한 효과를 가져 오는 것이다.

Tomography의 종류에는 크게 반사파를 이용한 Reflection Tomography와 전자를 이용한 Emission Tomography, 또 전자장을 이용한 Magnetic Tomography가 있다. 이 중에서 Magnetic Tomography를 분류하면 Inductance, Impedance 타입으로 나눌수 있다. 기존의 Electrical Impedance Tomography는 환자피부에 전극을 달아 전류를 흘리고 전압으로 표면의 전류 흐름을 측정 한 다음 환자내부의 저항분배에 따라 재구성하는 구조였다. 이는 부정확하거나 잘못된 위치에 전극을 달면 일그러진 이미지가 생성 되고 또한 환자 신체에 전극을 대는 것은 문제가 있었다. 따라서 인체 탐지용 Tomography는 환자표면이 아닌 외부에서 인가하는 Magnetic Impedance Tomography로 발전하게 되었다. 최근의 Tomography 테크닉은 Alternating electric current 방식과 Electromagnetic Field 방식이 있는데 이는 전의 Tomography 기술보다 더 정교한 센싱을 요구하고 있다는 것을 입증한다.

자성체의 탐지용으로 사용할 수 있는 Sensor로는 첫째로 Induction Type이 있다. 이것은 인가되는 교류자기에 의하여 유기되는 탐지대상의 와전류를 측정하는 방법으로 현재 원자력 발전소의 순환배관의 결함검출용으로 주로 사용되고 있다. 이것은 탐지대상의 도전율의 변화를 Searching Coil이나 Rotating Coil로서 감지하는 방식으로 탐지대상이 도전율이 낮은 재료는 탐지하지 못한다. 탐지용으로 사용되기 위해서는 MRI나 SQUID와 같은 고가의 장비를 사용하는 것이 비현실적이며 설치에서도 문제가 된다. 따라서 간편하게 이동 및 설치가능하며 비교적 저렴한 장치가 필요하게 된다.

따라서 본 논문에서는 Magnetic Inductance 타입의 센서를 구성하여 민감도를 향상시키는 방법을 서술한다.

2. 본 론

2.1 개요

그림 1에서처럼 원통형 센서 안에 어떠한 물체가 있다고 가정했을 때 그 물체의 투자율은 공기 중에서와 다르다. 따라서 물체가 없을 때, 즉 투자율이 1일 때의 B값을 센싱한 후 물체가 있을 때의 투자율 변화에 따른 B값의 차이를 센싱한다. 이 ΔB의 값으로 물체의 위치 및 크기, 물체가 몇 개 있는지를 알아내는 것이 목적이다. 하지만 ΔB의 값에 따라 위치를 추적한다는 것은 그리 쉬운 일은 아니다. 따라서 물체의 위치를 추적하기 위하여 우선 물체의 투자율 값과 위치를 임의로 선정하여 유한요소 해석 프로그램을 통하여 디자인 한 후 이에 따른 데이터 베이스를 구성하여 역 유한 요소법을 통하여 물체의 이미지를 재구성하는 과정을 거쳐게 된다.

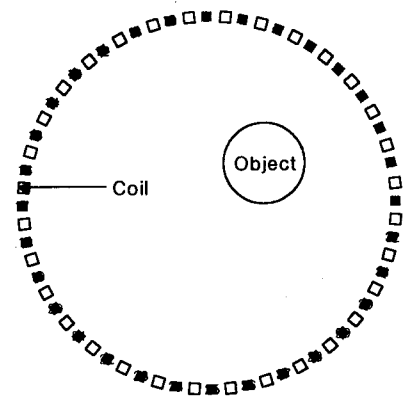


그림 1. 기본 모델

이 논문에서는 재구성 이전에 기본 모델을 통하여 얼마나 정밀한 센싱을 할 수 있는지 알아보았다.

2.1.1 관련이론

탐지대상 물체에 의한 미소 자기장을 검출할 수 있는 시스템을 해석 및 설계하기 위해서는 자성체의 결정자기 이방성(Crystal Anisotropy)과 형상 자기 이방성(Shape Anisotropy) 효과, 기계적 Stress에 의한 전자기적 영향, 자기 Hysteresis에 의한 영향을 해석할 수 있어야 한다. 즉 아래와 같은 Maxwell 방정식의 전개에서

$$\nabla \times H = J \tag{1}$$

$$B = \mu_0 (H + M) \tag{2}$$

$$B = \nabla \times A \tag{3}$$

식 (2)와 같이 자속밀도 B와 자계의 세기 H, 그리고 자화량 M을 독립변수로 주어야 한다. 이것은 자성체의

이방성이나 Hysteresis 현상으로 인하여 자계의 세기 H와 자속밀도 B의 선형 함수적인 관계가 더 이상 성립하지 않기 때문이다.

$$H = \nu B - \nu_r M \quad (4)$$

$$\nabla \times (\nu \nabla \times A) = J + \nu_r \nabla \times M \quad (5)$$

$$-(\nabla \cdot \nu \nabla) A = J + \nu_r \nabla \times M \quad (6)$$

따라서 식 (6)에서 자화율(Magnetic Susceptibility)  $\nu$ 를 Tensor로 처리함으로써 자기 이방성을, 자화량 M을 변수로 처리함으로써 Hysteresis를 해석할 수 있게 된다. 식 (6)으로부터 유한요소법(Finite Element Method)이 적용된다.

## 2.2 디자인 및 해석방법

그림 1에서 중심으로부터 반지름 7.5[cm] 떨어진 지점에 32개의 전류와 홀센서를 위치시키고, 내부에 도체를 1번부터 32번 지점까지  $B_n$ 값을 측정한다. 이때 도체의 투자율을 1~100사이의 값으로 변화시키며 투자율에 대한 변화와 물체의 위치를 좌측, 위쪽으로 옮겨가며 위치에 대한 변화, 또 물체의 크기에 따른 변화를 측정하고, 또 2극과 4극을 병행하여 판단해보기로 한다.

중심물체의 반경은 1.9[cm]이며 센서 하나의 전류 밀도  $J=4 \times 10^7$ [A/m<sup>2</sup>]이다. 중심선 왼쪽 부분에는 +값을 오른쪽 부분에는 -값을 주입하여 2극으로 구성하였다. 4극 센싱 방법은 영역 1, 3 분면에는 -값을 영역 2, 4 분면에는 +값을 주입하여 4극으로 구성하여 2극과 4극의 센싱의 차이와 민감도를 측정하였다

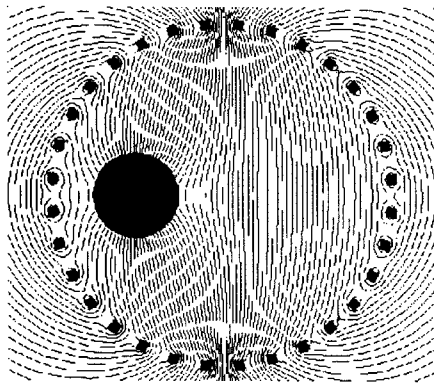


그림 2. 2극 FluxLine 예

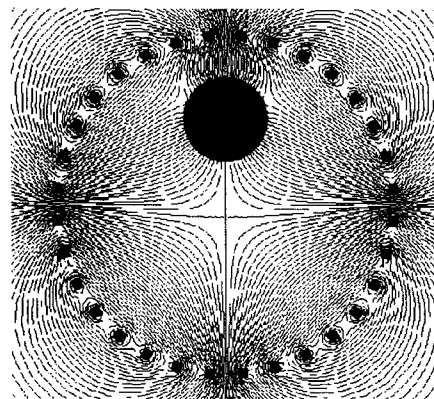


그림 3. 4극 FluxLine 예

센서에서 센싱할수 있는 B값은  $B_n$ 성분이다.  $B_n$  값을 구하기 위하여  $B_x$ ,  $B_y$  값을 센서 위치에 따른 각  $\theta$ 에 따라 좌표 변환하여 얻어낸다

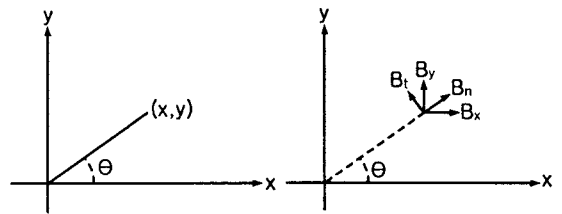


그림 4.  $B_n$ 의 벡터선도

### 2.2.1 투자율에 따른 변화

우선 물체가 중심에 있을 때를 기준으로 2극과 4극을 판별해 보았다. 디자인의 검토를 위해선 물체의 투자율 변화, 위치의 변화는 별개로 측정 할 수 있지만 2극과 4극은 각각의 경우에 따라 전부 측정해야 하기 때문에 특별히 따로 분류 설명하지 않고 비교해가며 설명하겠다.

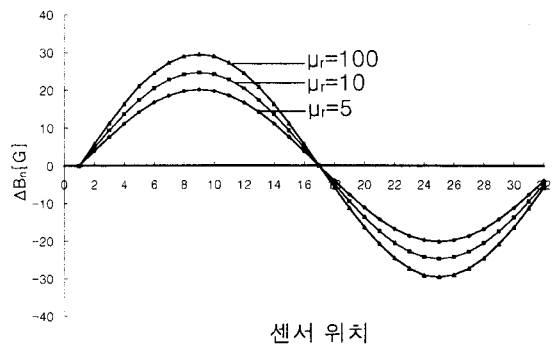


그림 5. 2극일 때  $\Delta B_n$

그림5는 2극일 때 투자율 변화량에 대한 그래프이다. 물체가 중심에 있을 때 4극에서는 투자율에 대한 변화량이 거의 보이지 않았다 따라서 2극의 특성을 고려하여 판단 해보기로 한다. 그래프에서 보이듯 투자율이 5, 10, 100 세 가지의 그래프를 그려본 결과 5일 때는 차이가 10, 100일 때보다 우수한 것을 알 수 있었다. 따라서 정밀하게 검토를 하기 위하여 좀 더 세분화하여 Max가 되는  $B_n$ 값을 측정해보았다.

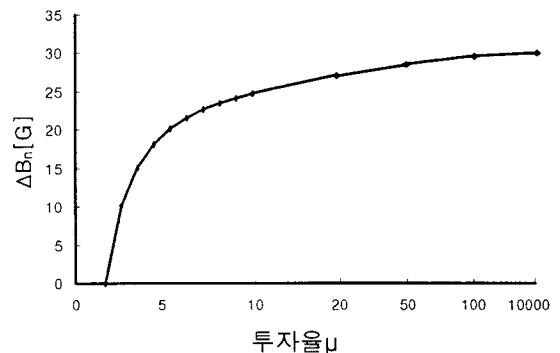
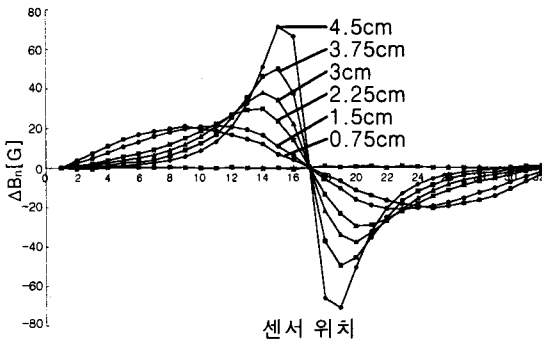


그림 6. 투자율에 따른  $\Delta B_n$

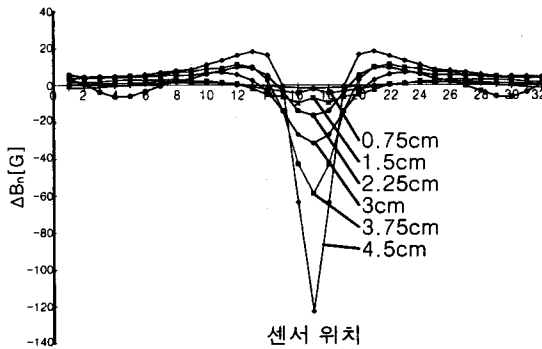
그림6를 보면 투자율이 20이후에는 거의 변화가 없으며 특히 5이하에서 특성이 우수함을 알 수 있었다. 따라서 앞으로 위치의 변화와 물체의 크기의 변화는 투자율을 5로 고정시켜서 측정하기로 한다.

### 2.2.2 위치에 따른 변화

위치에 따른 변화량 측정은 물체를 중심에서 좌로 0.75cm씩 옮겨가며 측정해 보았고, 또 물체를 위로 이동시켜 측정도 해보았다. 이 때 물체가 극의 기준을 중심으로 수평으로 이동하면 그 위치의 홀센서의  $B_n$ 값은 최대가 대며 수직으로 이동하였을 경우는  $B_n$ 값의 변화량은 없었다. 따라서 물체가 좌측으로 이동하였을 경우에는 2극과 4극의 그래프는 전혀 다른 모양을 나타내었고 위로 이동하였을 경우에는 같은 모양에  $B_n$ 값의 크기에만 변화가 있었다. 또한 4극에서는 물체가 중심에 있을 때  $B_n$ 값의 변화가 거의 없었듯이 물체가 한쪽으로 치우치기 시작했을 때 갑자기 변화량이 커진 반면 2극에서는 4극보다 변화량은 작으나 꾸준히 변화하는 그래프를 나타내고 있다.



2극 중심에서부터의 거리에 따른 그래프



4극 중심에서부터의 거리에 따른 그래프

그림 6 2극과 4극의 비교

그림6은 물체가 중심에서부터 좌측으로 치우칠 때의 2극과 4극의 그래프이다. 중심부를 보면 2극에서는 변화량이 없는 반면 4극에서는 최대 변화를 보이고 있다. 또 물체가 중심에서 멀어질수록 4극은 변화량이 특히 커졌다.

### 3. 결 론

위에서 세 가지의 경우에 대하여 테스트해 본 결과  $B_n$  값의 변화량은 홀센서 만으로도 충분히 측정할 수 있는 값을 얻었다. 또, 작은 투자율 변화에도 민감한 반응을 보여 좋은 결과라고 판단되어진다. 또 2극과 4극을 병행하여 테스트 해본 결과, 2극에서는 어느 위치에 있어도 투자율 변화에 대한 꾸준한 변화를 알 수 있었지만 변화량이 크지는 않고 4극에서는 물체가 중심부에 있을 때 변화량은 작았지만 물체가 센서 가까이에 있을 때 변화량은 매우 커졌다. 따라서 2극과 4극의 특성을 조합

하여 병행하여 디자인 한다면, 물체의 투자율 및 위치를 판별할 수 있다는 결론을 얻었다.

### (감사의 말)

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-30200-022-2)지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자분들께 감사드립니다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Journal of Communications Technology and Electronics, Vol. 42, No. 4, 1997, pp. 469-474. Translated from Radiateknika i Elektronika, Vol. 42, No. 4, 1997, pp. 506-512.
- [2] Natterer, F., The Mathematics of Computerized Tomograph, Chichester: Wiley, 1986. Translated under the title Matematicheskie aspekty komp'yuternoi tomografii, Moscow: Mir, 1990.
- [3] Barber, D.C. and Brown, B.H., J. Phys. E: Sci. Instrum., 1984, vol. 17, no. 9, p. 723.
- [4] Powell, H.M., Barber, D.C., and Freeston, I.L., Clin. Phys. Physiol. Meas., 1987, vol. 8, suppl. A, p. 109.
- [5] Brown, B.H. et al, 1994. Cardiac and respiratory related electrical impedance changes in the human thorax. IEEE Trans. Biomed. Eng. 41(8):729-734.
- [6] Hong, H.D. & M.D. Fox. 1995. Magnetic backprojection imaging of the vascular lumen. IEEE Trans. Biomed. Eng. 42(1): 102-108.
- [7] Muftuler, L.T. & Y.Z. Ider. 1996. Measuring AC magnetic field distribution using MRI. In Proc. 18th Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. (Amsterdam).
- [8] Srebro, R. 1996. Iterative refinement of the minimum norm solution of the bioelectric inverse problem. IEEE Trans. Biomed. Eng. 43: 547-552.
- [9] Golub, G.H. & C.F. Van Loan. 1996. Matrix Computations. Third edition, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- [10] Williamson, S.J. & L. Kaufman. 1981. Biomagnetics topical review, J. Magnetism Magn. Mater, 22: 129-201.
- [11] H.Haines, P.C.Porter, M.Afzal and J.Y.Lee. "Advanced MFL signal analysis aids pipe corrosion detection", Pipe Line & Gas Industry, pp. 49-63, March 1999
- [12] K.K.Tandon, "MFL Tool Hardware for Pipeline Inspection", Materials Selection & Design, pp. 75-79, February 1997
- [13] C.Bal, "The latest developments in magnetic flux pigs", PIPES & PIPELINES INTERNATIONAL, pp.24-26, September 1991
- [14] D.L.Atherton, "Finite element calculations and computer measurements of magnetic flux leakage patterns for pits", British Journal of NDT, pp.159-162, May 1988
- [15] D.L.Atherton and M.G.Daly, "Magnetic leakage flux testing with probes: physical principles and restrictions for application", NDT International, vol.20, no.2, pp.101-104, April 1987
- [16] B.Brudar, "Magnetic leakage fields calculated by the method of finite differences", NDT International, vol.18, no.6, pp.353-357, December 1985