

2극 및 4극 Magnetic Tomography System의 특성에 관한 연구

박은식, 박관수
한국해양대학교 전기전자공학과

Study on the analysis of the Magnetic Tomography System using two poles and four poles.

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

Abstract - 본 연구는 탐지대상물체의 형상인식이 가능한 비접촉, 원격 탐지장치의 개발에 관한 것이다. 본 연구에서는 2극 또는 4극의 정자기장을 인가할 때 탐지대상물체에 의한 자기장의 자계 왜곡을 홀센서로 감지하여 탐지대상물체를 인식하는 원격감지시스템을 설계하고 제작하여 특성을 분석한 결과 2극과 4극 시스템 모두 비 투자율의 변화를 감지 할 수 있었고, 특히 탐사물체의 위치 파악에는 2극 시스템이 4극 시스템에 비하여 좋은 특성을 보였다.

1. 서 론

Tomography는 비파괴 검사나 MRI처럼 보이지 않는 곳을 절단하지 않고도 볼 수 있도록 나타내는 기술로 Tomography의 핵심 기술은 센서내의 탐사체의 재질을 센서로 감지를 한 후 센서신호를 재구성하여 실시간으로 탐사체 내부의 상태를 검진하는 것이다. Tomography의 종류에는 크게 반사파를 이용한 Reflection Tomography와 전자의 여기를 이용한 Emission Tomography, 또 전자장을 이용한 Magnetic Tomography가 있다[1-4]. 자성체의 탐지용으로 사용할 수 있는 Sensor로는 첫째로 Impedance Type이 있다[5,6]. 이것은 인가되는 교류자기에 의하여 유기되는 탐지대상의 와전류를 측정하는 방법으로 현재 원자력 발전소의 순환배관의 결함검출용으로 주로 사용되고 있다. 탐지대상의 도전율의 변화를 탐상 코일이나 검침코일로서 감지하는 방식이므로 탐지대상이 도전율이 높은 재료에서 유용하나 도전율이 높지 않은 탐사체를 감지하기 어렵다[7]. 둘째로, 탐사체의 투자율 변화를 감지하는 방식으로 Inductance Type이 있다[8,9]. 이 방식은 도전을 대신 투자율을 감지하는 방식으로 근래 들어 감도가 높은 자기센서들이 개발됨에 따라 분해능이 높은 시스템 개발이 가능하게 되었다[10]. 탐지용으로 사용되기 위해서는 MRI나 SQUID와 같은 고가의 장비를 사용하는 것이 비현실적이며 설치에서도 문제가 된다 [11-13]. 따라서 간편하게 이동 및 설치가 가능하며 비교적 저렴한 장치가 필요하게 된다. 본 연구에서는 탐사체에 2극과 4극의 수직자계를 인가하고 홀센서를 이용하여 탐사체를 감지하는 Inductance Type의 Magnetic Tomography를 개발, 비교 분석하였다.

2. 본 론

2.1 개요

Magnetic Tomography system은 탐사체의 투자율 변동을 비접촉으로 감지하는 시스템으로서 그림 1은 Magnetic Tomography의 개요도이다. 배관과 같은 원통형 센서 안에 어떠한 탐사체가 있다고 가정했을 때 그 탐사체의 투자율은 공기와는 서로 다르다. 따라서 탐사체가 없을 때, 즉 비 투자율이 1일 때의 자속밀도 B 2극 수직자계를 이용한 Magnetic Tomography의 설계와 제작

값을 검출한 후 탐사체가 있을 때의 비 투자율 변화에 따른 B 값의 차이를 검출한다. 이 자속밀도 변화량 ΔB 의 값으로 탐사체의 위치 및 크기, 탐사체의 개수를 알아내는 것이 목적이이다. 탐사체의 위치를 추적하기 위하여 우선 탐사체의 비 투자율 값과 위치를 임의로 설정하여 유한요소 해석 프로그램을 통하여 디자인 한 후 이에 따른 데이터베이스를 구성한다.

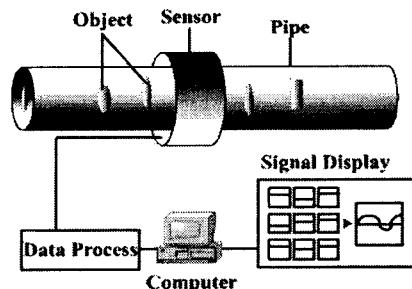


그림 1 시스템 개요도

본 논문에서는 자속밀도 변화량의 값을 검출하기 위하여 2극 및 4극 Magnetic Tomography를 설계하였다. 홀센서의 위치는 각 코일 당 한 개 씩 24개를 사용하였다.

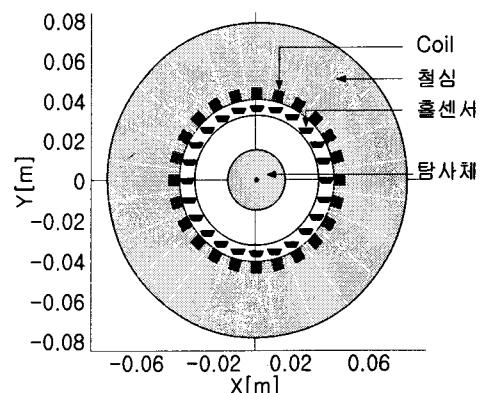


그림 2 자계 발생기 설계

그림 2는 유한요소 해석프로그램을 사용하여 설계한 설계도이다. 그림 2에서 보이듯 홀 센서는 수직으로 위치시켜 B_y 값만 검출하였다. 이는 기기를 제작하였을 때 홀 센서가 얼마나 정교하게 삽입되었는지 눈으로 판단하기 어렵기 때문에 B_n 보다는 최대값을 찾기 쉬운 B_y 값을 선택하여 오차를 줄이기 위함이다.

2.2 자계해석

탐지대상 탐사체에 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

$$\nabla \times H = J \quad (1)$$

$$B = \mu_0(H + M) \quad (2)$$

$$B = \nabla \times A \quad (3)$$

식 (2)와 같이 자속밀도 B 와 자계의 세기 H , 그리고 자화량 M 을 독립변수로 주어야 한다. 이것은 자성체의 이방성이나 Hysteresis 현상으로 인하여 자계의 세기 H 와 자속밀도 B 의 선형 함수적인 관계가 더 이상 성립하지 않기 때문이다.

$$H = v_r B - v_r M \quad (4)$$

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

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

여기서 v_r 는 자화율(Magnetic Susceptibility), v_r 은 비 투자율의 역수이며, 이 식에서 자화율 v_r 를 Tensor로 처리함으로써 자기 이방성을, 자화량 M 을 변수로 처리함으로써 Hysteresis를 해석할 수 있게 된다 [8,9]. 식 (6)으로부터 유한요소법(Finite Element Method)을 적용한다.

2.3 Magnetic Tomography의 설계

그림 3은 2극과 4극 자계 발생기의 구조이다. 따라서 모든 조건은 같은 상태에서 전류의 범위만 바꾸어서 2극과 4극을 비교 할 수 있다.

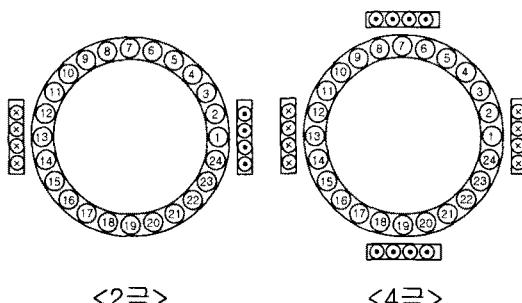


그림 3 자계 발생기의 구조

우선 극수에 따라서 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 2가지로 실험을 나누어 측정하였다. 우선 탐사체의 비 투자율을 고정시키고 위치의 변화에 따른 특성을 파악하고, 다음으로 탐사체의 위치를 고정시킨 후 비 투자율의 변화에 대한 특성을 분석한다.

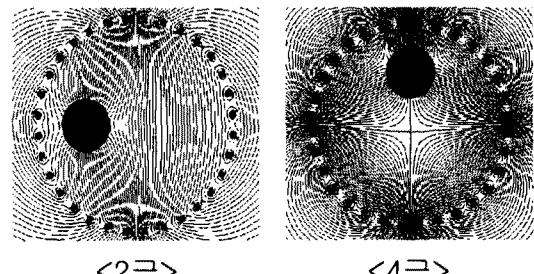


그림 4 극수에 따른 자기장 분포 예

그림 4는 2극과 4극의 자기장 분포에 대한 예제이다. 2극에서는 자기장이 수직으로만 나누어지고 4극에서는 4등분 형태로 존재하게 된다.

3. 결과

3.1 탐사체의 위치에 따른 Magnetic Tomography 특성

탐사체의 위치에 따라서 ΔB_y 값을 측정하기 위하여 그림 5에서처럼 좌측으로 이동할 경우와 상단으로 이동할 경우로 나누어 측정하였다.

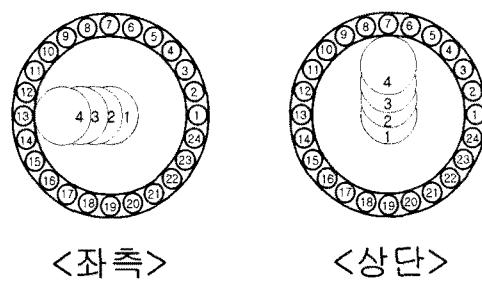


그림 5 탐사체의 위치

그림 5에서 가운데 보이는 것이 탐사체의 위치이며 안쪽에서 밖으로 측정한다. 상단으로 이동시도 마찬가지로 측정한다. 비 투자율은 100으로 고정시키고 1번에서부터 4번 위치까지 이동시키면서 측정하였다.

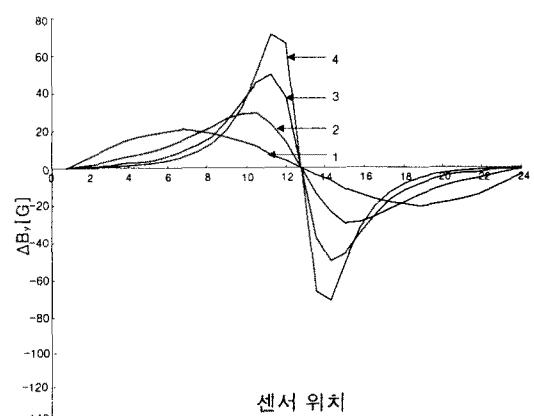


그림 6 2극 탐사체가 좌측으로 이동할 때

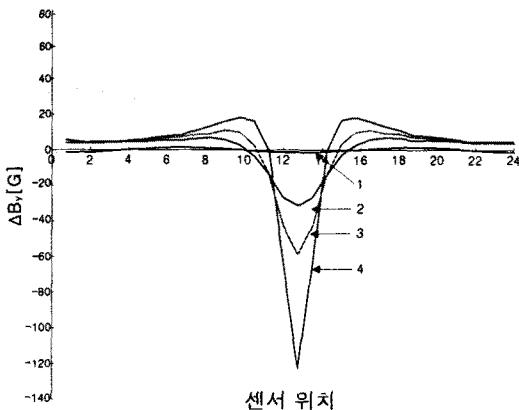


그림 7 4극 탐사체가 좌측으로 이동할 때

그림 6과 그림 7은 탐사체가 좌측으로 이동할 때 2극과 4극의 ΔB_y 값에 따른 그래프이다. 4극에서 ΔB_y 값의 최대 값이 2극에서 ΔB_y 값의 최대 값보다 높음을 알 수 있다. 하지만 1번 위치, 즉 탐사체가 중앙에 있을 경우에는 2극의 값이 높음을 알 수 있다. 또한 탐사체가 좌측으로 이동할 경우에는 2극과 4극의 그래프의 파형이 다를 수 있다. 2극에서 좌측으로 이동할 경우에는 수직자기장이 존재하는 곳에서 수평으로 이동하기 때문에이고 4극에서는 수평자기장이 존재하는 곳에서 수평으로 이동하기 때문이다.

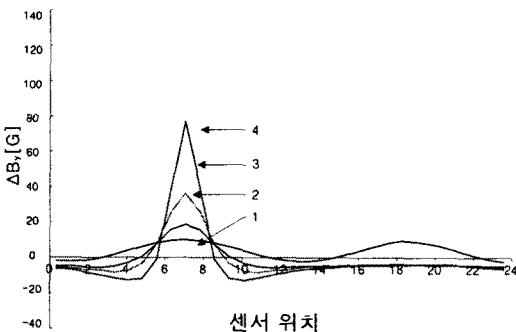


그림 8 2극 탐사체가 상단으로 이동할 때

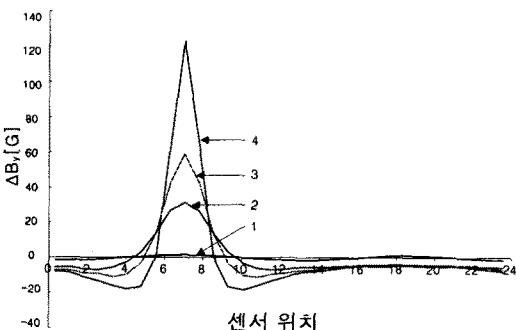


그림 9 4극 탐사체가 상단으로 이동할 때

그림 8과 그림 9는 탐사체가 상단으로 이동할 경우의 2극과 4극의 ΔB_y 값에 따른 그래프이다. 2극과 4극 모두 같은 모양의 파형이 검출되었고, 4극에서 ΔB_y 값의 크기가 더욱 커졌다. 그러나 1번 위치, 즉 탐사체가 중앙에 있을 경우는 좌측의 경우와 같이 2극이 좀 더 2극 수직자기장을 이용한 Magnetic Tomography의 설계와 제작

좋은 특성을 보이고 있다. 파형이 같은 이유는 2극이나 4극 모두 수직 자제방향으로 탐사체가 이동하였기 때문에 같은 모양의 파형을 가지게 된다.

3.2 탐사체의 비 투자율에 따른 Magnetic Tomography 특성

탐사체의 위치에 따른 그레프에서는 4극 자제가 우수함을 알 수 있었다. 하지만 탐사체가 중앙에 있을 경우에는 2극이 좀 더 낭음을 알 수 있다. 따라서 탐사체가 중앙에 있을 경우에 대하여 비 투자율에 따라 그 특성을 분석 할 필요가 있다.

그림 10과 그림 11은 탐사체가 중심에 있을 경우 비 투자율 5, 10, 100 세 가지에 대한 2극과 4극의 ΔB_y 그래프이다. 2극에서는 비 투자율에 따라 ΔB_y 그래프의 차이가 명확하나, 4극에서는 비 투자율의 차이에도 거의 ΔB_y 값이 차이가 적으며 최대값도 2극보다 적다. 이는 4극에서는 자속이 중앙으로 통과하는 것이 작기 때문에으로 판단된다. 2극에서 비 투자율이 5일 경우 ΔB_y 의 값은 상대적으로 작으나 그림 5에서 보듯이 ΔB_y 의 차이 즉 변동폭은 10, 100일 때보다 우수한 것을 알 수 있었다.

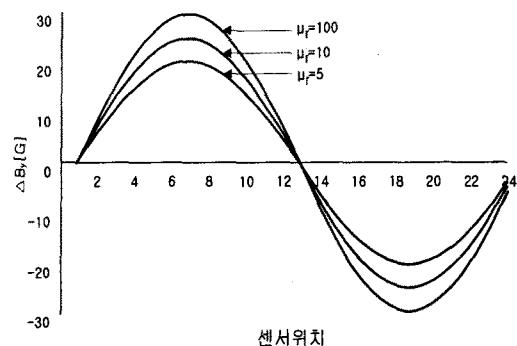


그림 10 2극에서 탐사체가 중앙에 있을 때

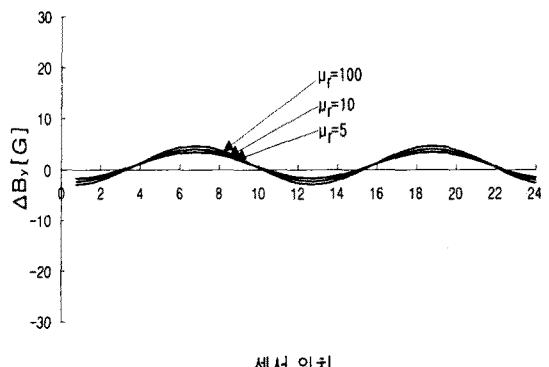


그림 11 4극에서 탐사체가 중앙에 있을 때

4. 결 론

본 논문에서는 2극과 4극 자제를 이용한 Magnetic Tomography system을 설계하고 비교 분석하였다.

4극에서는 탐사체가 홀센서로 다가갈수록 B_y 값은 크지만 중심에서는 2극보다 작은 것을 알 수 있었다. 또 2극은 물체의 위치에 따라 파형이 다르고 탐사체가 중심에 있어도 탐지가 가능하다는 것을 알 수 있다. 따라서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

첫째, 2극 자제 발생기의 구조가 4극 자제 발생기의

구조보다 우수하다. 2극 자계 발생기에서는 비 투자율이 10 정도의 탐사체도 충분히 감지가 가능함을 확인하였다.

둘째, 2극 자계 발생기에서 탐사체의 위치가 이동할 경우 감지신호의 파형으로 탐사체의 위치와 방향을 판단할 수 있었다.

본 연구에서 개발된 2극 자계 Magnetic Tomography는 배관 속을 흐르는 탐사체의 비 투자율의 변화를 감지하여 탐사대상의 크기, 위치를 추정할 수 있는 시스템으로 배관 내부를 흐르는 탐사체를 실시간으로 간편하게 추적할 수 있음을 보였다. 본 연구에서 개발된 시스템은 배관시스템에 설치하여 원거리, 실시간, 비접촉 모니터링에 사용할 수 있으므로, 철을 다루는 배관시스템이나 오, 폐수의 모니터링에 응용 가능할 것으로 생각된다. 탐사체의 크기와 위치뿐만 아니라 모양에 관한 정보도 얻기 위해서는 자기저항센서 (Magneto Resistance sensor)와 같이 감도가 더욱 높은 센서를 사용하여 100 mG 정도의 측정감도를 갖는 시스템이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

[참 고 문 현]

- [1] Journal of Communications Technology and Electronics, Vol. 42, No. 4.1, pp. 469-474. 1997.
Translated from Radiotekhnika i Elektronika, V No., 4, pp. 506-512, 1997.
- [2] Natterer, F., The Mathematics of Computerized Tomograph, Chichester: Wiley, 1986.
Translated under the title Matematicheskie a kompyuternoi tomografii, Moscow: Mir, 1990.
- [3] Barber, D.C. and Brown, B.H., J. Phys. E: Sci. Instrum., vol. 17, no. 9, p. 723, 1984.
- [4] Powell, H.M., Barber, D.C., and Freeston, I.L., Clin. Phys. Physiol. Meas., vol. 8, suppl. A, p. 109, 1987.
- [5] 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
- [6] 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
- [7] B.Brudar, "Magnetic leakage fields calculated by the method of finite differences", NDT International, vol.18, no.6, pp.353-357, December 1985
- [8] D.L.Atherton and D.C.Jiles, "Effects of stress on the magnetization of steel", IEEE Trans. Magn., vol. 19, no. 5, pp. 2021-2023, September 1983
- [9] D.L.Atherton and A.Teitsma, "Detection of anomalous stress in gas pipelines by magnetometer survey(invited)", J.Appl.Phys. 53(11), pp. 8130-8135, November 1982
- [10] D. L. Atherton and M. G. Daly, "Finite Element Calculation of Magnetic Leakage Detector Signals", NDT International, vol. 20, no. 4, pp. 235-238, August 1987.
- [11] Brown, B.H. et al. "Cardiac and respiratory related electrical impedance changes in the human thorax", IEEE Trans. Biomed. Eng. 41(8):729-734, 1994.
- [12] Hong, H.D. & M.D. Fox, "Magnetic back projection imaging of the vascular lumen", IEEE Trans. Biomed. Eng. 42(1): 102-108, 1995.
- [13] Muftuler, L.T. & Y.Z. Ider. "Measuring AC magnetic field distribution using MRI". In Proc. 18th Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. (Amsterdam). 1996.