

탐사체의 실시간 추정 장치 개발에 관한 연구

박은식* · 박관수**

*한국해양대학교 대학원, **한국해양대학교 전기전자공학부 교수

A Study on the Real Time Estimation of the Object.

Eun Sik Park* · Gwan Soo Park**

*Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

**Dept, Electrical Electronical Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요 약 : 본 연구는 탐지 대상물체의 형상인식이 가능한 비접촉, 원격 탐지장치의 개발에 관한 것이다. 형체인식용 비접촉 시스템은 주로 Magneto-Impedance법과 Magneto-Inductance법이 있으며, Magneto-Inductance법은 왜곡이 적고, 인체나 탐지대상탐사체에 손상을 가져오지 않는다. 본 연구에서는 2극으로 디자인 된 Magnetic Tomography System을 이용하여 탐사체의 위치에 따른 투자율 변화량을 계산 및 실측하였다.

핵심용어 : Magnetic, Tomography, 유한요소법, 비파괴, 비접촉

ABSTRACT : This paper describes a development of magnetic tomography system using two poles perpendicular magnetic field. In the system, the relative permeabilities of the object are detected by Hall sensors located along with tube circumference. The signals according to the size and position of the object could be separated in case the relative permeability of the object are over 10. Moreover, the size and location of the object could be determined in real time.

KEY WORDS : Magnetic, Tomography, F.E.M, NDT, NCT

1. 서 론

Tomography는 비파괴 검사나 MRI 처럼 보이지 않는 곳을 절단하지 않고도 볼 수 있도록 나타내는 기술로 Tomography의 핵심 기술은 센서내의 탐사체의 재질을 센서로 감지를 한 후 센서신호를 재구성하여 실시간으로 배관 내부의 상태를 검진하는 것이다[1].

Tomography의 종류에는 크게 반사파를 이용한 Reflection Tomography와 전자를 이용한 Emission Tomography, 또 전자장을 이용한 Magnetic Tomography가 있다. 자성체의 탐지용으로 사용할 수 있는 센서로는 첫째로 Induction Type이 있다. 이것은 인가되는 교류자기에 의하여 유기되는 탐지대상의 와전류를 측정하는 방법으로 현재 원자력 발전소의 순환배관의 결

함검출용으로 주로 사용되고 있다. 이것은 탐지대상의 도전율의 변화를 교류자기측정은 서치코일, 직류자기측정은 회전코일로서 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 설치가 가능하며 비교적 저렴한 장치가 필요하게 된다. 본 논문에서는 Magnetic Inductance 타입의 센서를 구성하여 민감도를 향상시키는 방법을 서술한다[2-5].

2. 본 론

2.1 개 요

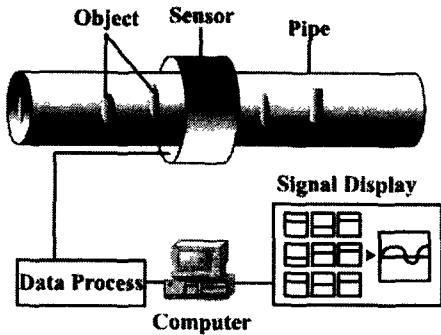


그림 1 시스템 개요도

그림 1은 Magnetic Tomography의 개요도이다. 원통형 센서 안에 어떠한 탐사체가 있다고 가정했을 때 그 탐사체의 투자율이 1일 때의 B값을 검출한 후 탐사체가 있을 때의 투자율 변화에 따른 B값의 차이를 검출한다. 이 ΔB 의 값으로 탐사체의 위치 및 크기, 탐사체가 수를 알아내는 것이 목적이다. 탐사체의 위치를 추적하기 위해 우선 탐사체의 투자율 값과 위치를 임의로 선정하여, 유한요소 해석 프로그램을 통하여 디자인 한 후 데이터 베이스를 구성한다.

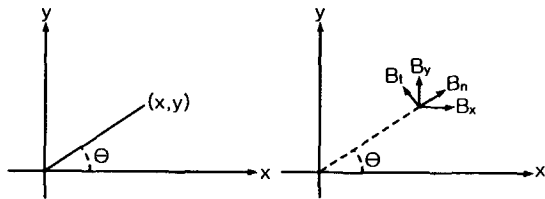


그림 2 B_n 의 벡터선도

본 논문에서는 ΔB 의 값을 검출하기 위하여 2극 Magnetic Tomography를 설계하였다. 우선 3상유도기에 한 상만 전류를 인가하여 2극을 만들어 실험 하였다. 홀 센서의 위치는 각 코일 당 한 개 씩 24개를 사용하였다. 이 때 센서에서 검출 할 수 있는 B값은 B_n 성분이다. 그림 2의 벡터선도를 보면 B_n 의 값은 B_x 와 B_y 의 합성 벡터임을 알 수 있다.

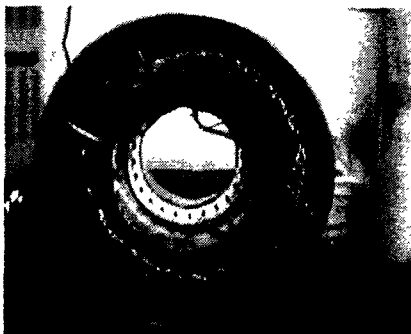


그림 3 실험장치

그림 3은 유도기를 사용하여 제작한 실험 장치이다. 외부의 코일부분이 유도기이고, 내부의 검은 점들이 홀 센서며, 밖으로 나오는 선이 홀 센서의 데이터 선이다. 그림 4는 그림 3의 실험장치의 구조를 유한요소 해석 프로그램으로 디자인 한 것이다. 그림 4에서 홀 센서는 수직으로 위치시켜 B_y 값만 검출하였다. 이는 홀 센서가 얼마나 정교하게 삽입되었는지 눈으로 판단하기 어렵기 때문에 B_n 보다는 최대값을 찾기 쉬운 B_y 값을 선택하여 오차를 줄이기 위함이다.

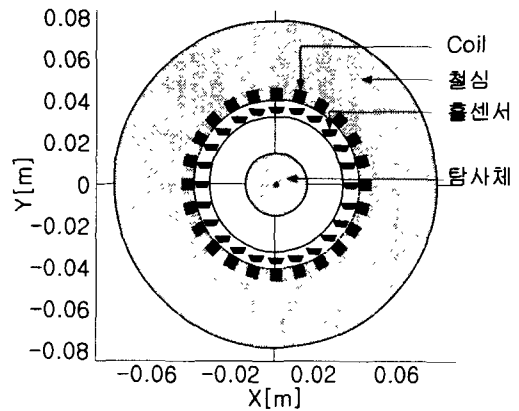


그림 4 실험장치의 설계도

2.1.1 지배방정식

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

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} \quad (1)$$

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

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (3)$$

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

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

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

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

따라서 식 (6)에서 자화율 ν 를 Tensor로 처리함으로써 자기 이방성을, 자화량 M 을 변수로 처리함으로써 Hysteresis를 해석할 수 있게 된다. 식 (6)으로부터 유한요소법을 적용한다.

2.2 디자인 및 실험방법

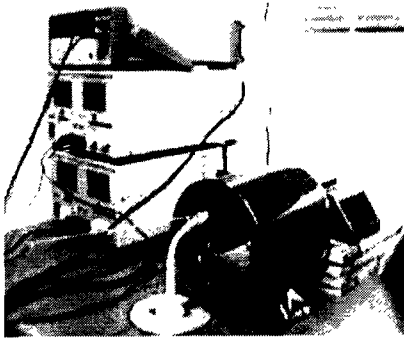


그림 5 실험장치의 전반적인 구조

그림 3에서 중심으로부터 반지름 3.5[cm] 떨어진 지점에 24개의 전류와 홀 센서를 위치시키고, 내부의 탐사체를 1번부터 24번 지점까지 B_y 값을 측정한다. 이때 탐사체의 위치를 변경하며 측정하고, 또 탐사체의 크기를 변화시켜 ΔB_y 값을 측정한다. 탐사체의 지름은 1.2, 2.5, 3[cm] 세 개를 비교 측정하며, 탐사체의 위치에 따른 ΔB_y 은 지름 3[cm]를 기준으로 위치를 변경하면서 측정하였다. 코일의 전류는 3.1[A]이며, 한 상에 10[V]의 전압을 인가하였다. 홀 센서의 번호는 그림 6과 같다. 각도로 보면 0도에서부터 반 시계방향으로 1~24번까지 15°마다 하나씩 위치한다. 전류의 방향도 그림 6과 같이 한 면은 들어가는 전류, 다른 면은 나오는 전류이다.

홀 센서는 병렬로 연결하여 5[V]의 전압을 인가하였다. 홀 센서에서 나오는 신호는 오실로스코프를 통하여 하나씩 측정하였다. 홀 센서의 Range는 0~1000[G]까지이며, 2.5[V]의 기본 전압에서 0~5[V]까지의 변화량을 가우스로 환산하여 사용하였다.

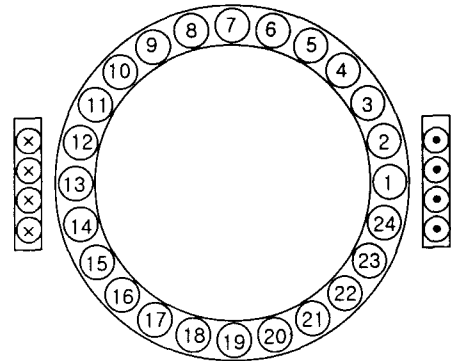


그림 6 홀 센서 번호 및 전류방향

그림 7은 자기장 분포의 한 예이다.

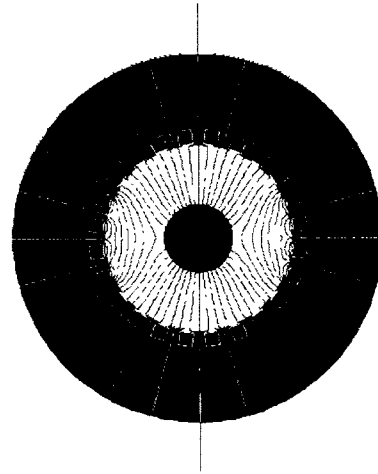


그림 7 자기장 분포의 예

중심에 들어가는 탐사체의 투자율은 1000으로 계산 하였으며 홀 센서의 Range가 크기 때문에 작은 투자율보다는 우선 철의 경우처럼 큰 투자율을 기준으로 계산하였다.

3. 결 과

3.1 탐사체의 크기에 따른 변화

우선 탐사체가 중심에 있을 때를 기준으로 지름 1.2[cm], 2.5[cm], 3[cm]의 변화량을 살펴보았다.

그림 8은 탐사체가 중심에 있을 경우 탐사체의 크기에 따른 ΔB_y 의 변화량의 그래프이다 실험 값과 계산 값의 차이는 거의 없었으며, 실험 값은 그림 8에서와 같이 약간 좌우대칭이 되지 않았는데 이는 탐사체의 위치를 정확하게 중심에 위치하지 못한 오차라 판단 할 수 있다.

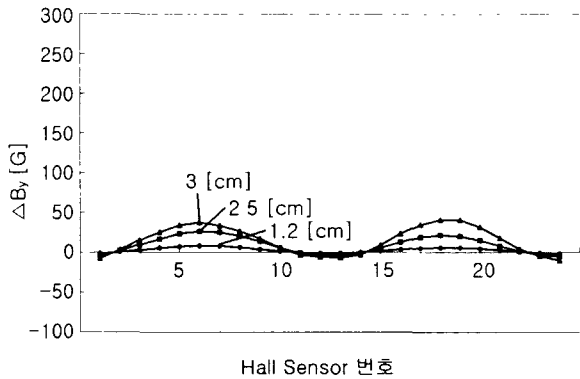


그림8 탐사체가 중심에 있을 경우

그림 9는 탐사체가 상단에 있을 경우에 대한 실험 값을 나타내고 있다. 7번 홀 센서 부근에 탐사체를 위치하였으므로 7번 홀 센서에서 가장 크다. 또한 탐사체의 지름이 크면 클수록 ΔB_y 값도 커진다는 것을 알 수 있다.

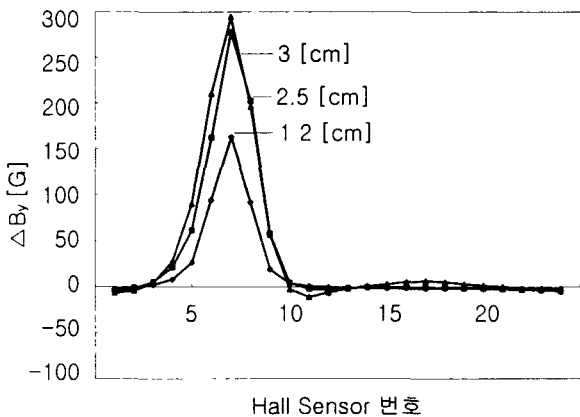


그림9 탐사체가 상단에 있을 경우

그림 10에서 탐사체가 좌측에 있을 경우에도 B_y 가 최대가 되는 위로 이동하였을 경우보다는 미흡 하지만 탐사체의 크기에 따른 변화량을 알 수 있었다.

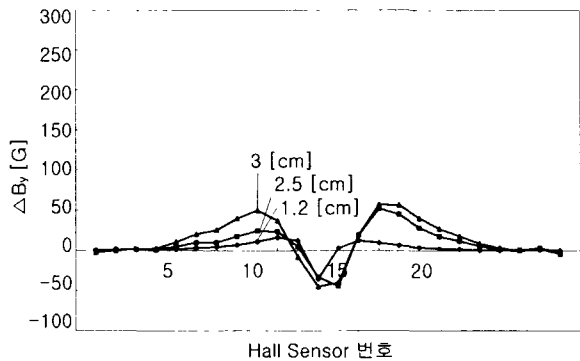


그림10 탐사체가 좌측에 있을 경우

따라서 탐사체의 크기에 따른 ΔB_y 의 검출에 있어서 실험 값이 계산 값과 거의 일치하며 탐사체의 크기를 검출할 수 있었다.

3.2 탐사체의 위치에 따른 변화

위치에 따른 ΔB_y 의 변화량 측정은 탐사체를 중심에서 좌로 0.75[cm]씩 옮겨가며 측정해 보았고, 또 탐사체를 위로 이동시켜 측정도 해보았다. 이 때 탐사체가 위로 이동하였을 경우는 B_y 의 값이 최대가 되는 방향으로 이동하였기 때문에 ΔB_y 의 값이 최대가 되었다.

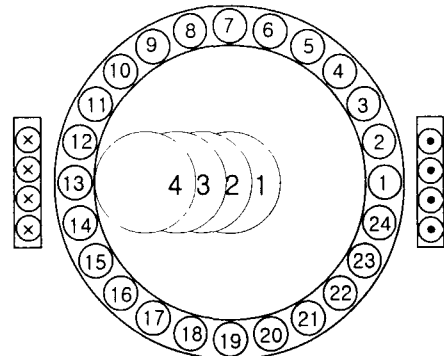


그림 11 탐사체가 좌측으로 이동할 때

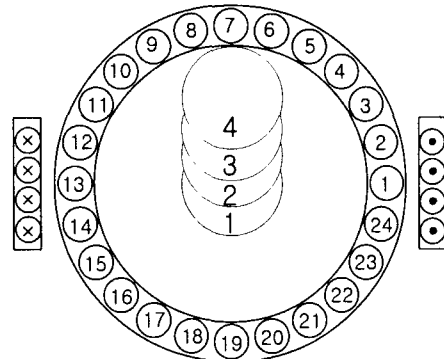


그림 12 탐사체가 상단으로 이동할 때

그림 11, 그림 12는 탐사체의 위치에 따른 경우를 4가지로 표현한 것이다. 그래프에 위치를 나타내기 위해서 편의상 1, 2, 3, 4의 위치로 표현한다. 탐사체가 위로 이동할 경우의 번호도 동일한 순서로 표현한다.

그림 13은 탐사체가 좌측으로 이동할 때의 그래프이다. 탐사체가 좌로 이동할 때는 B_y 의 변화량이 적기 때문에 ΔB_y 값이 크지 않다. 하지만 위치가 변화함에 따라서 그래프의 모양도 다가가는 홀 센서 주변의 값이 커짐을 알 수 있다.

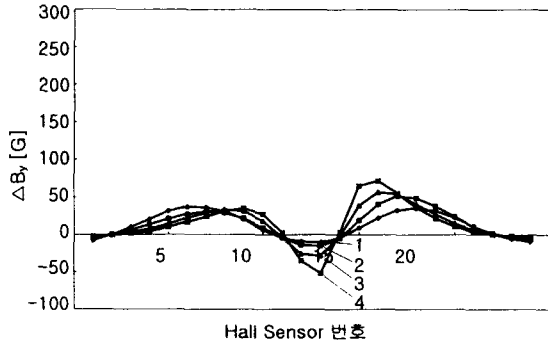


그림 13 탐사체가 좌측으로 이동시 그래프

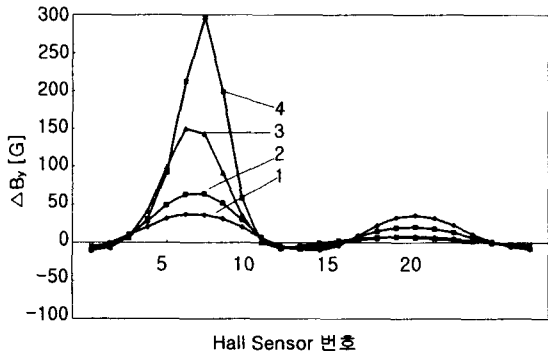
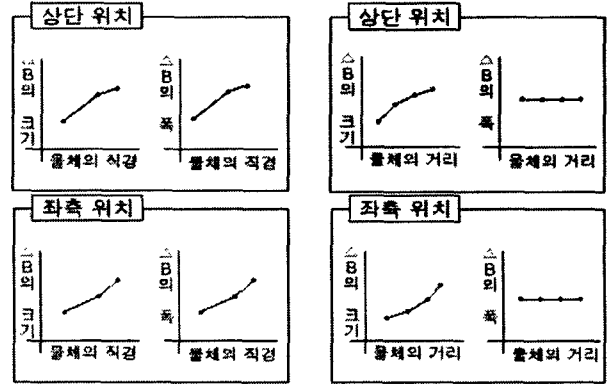


그림 14 탐사체가 상단으로 이동시 그래프

그림 14는 B_y 의 값이 가장 큰, 탐사체가 상단으로 이동하는 그래프이다. 따라서 ΔB_y 의 값은 가장 크며 이동하는 위치에 따른 ΔB_y 의 값도 많은 차이를 보였다.

3.3 탐사체의 위치와 크기에 따른 검출신호 비교

위치나 크기에 따른 ΔB_y 의 변화량 측정에서 보이듯 위치와 크기가 변화하면 ΔB_y 의 값도 변한다. 따라서 탐사체의 위치가 변하여 ΔB_y 의 값이 변하였는지 탐사체의 크기가 변하여 ΔB_y 의 값이 변하였는지 판별할 수 있는 알고리즘이 필요하게 된다. 이때 주의하여 살펴보아야 할 것은 ΔB_y 의 값의 크기뿐만 아니라 폭도 살펴보아야 한다는 것이다. 그림 9와 그림 14을 비교하면, 그림 9는 ΔB_y 의 값이 커짐과 동시에 ΔB_y 의 폭도 증가하고 있음을 알 수 있다. 반면 그림 14에서는 탐사체의 거리가 홀 센서에 가까워질수록 ΔB_y 의 값 크기 자체는 커지나 ΔB_y 의 폭은 같음을 알 수 있다. 따라서 탐사체의 위치나 크기가 동시에 변경이 된다하여도 ΔB_y 의 값의 크기와 폭을 고려한다면 충분히 판별 가능하다.



탐사체의 크기에 따른 영향 탐사체의 위치에 따른 영향

그림 15 탐사체의 위치와 크기에 따른 검출신호 비교

4. 결 론

위에서 세 가지의 크기에 대하여 테스트해 본 결과 B_y 값의 변화량은 홀 센서 만으로도 충분히 측정할 수 있는 값을 얻었다. 또, 위치 변화에도 민감한 반응을 보여 좋은 결과라고 판단되어진다. 크기의 변화량과 위치의 변화량은 센서감지 범위의 폭으로 구분할 수 있었다. 또한 실험 값과 측정값의 오차가 거의 없었으며 오차는 대부분 홀 센서의 각도에 따른 오차였다. 실험 결과, 낮은 투자율에서의 검출을 위하여 보다 정밀한 범위를 갖는 센서를 사용하여야 한다. 또한 이 실험 결과를 컴퓨터를 통하여 데이터화하여 실시간 모니터링 시스템을 구축할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Journal of Communications Technology and Electronics, Vol. 42, No. 4.1, pp. 469-474. 1997. Translated from Radiotekhnika i Elektronika, Vol. 42, No. 4, pp. 506-512, 1997.
 - [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., 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
- restrictions for application", NDT International, vol.20, no.2, pp.101-104, April 1987