

실시간 측정이 가능한 Magnetic Inductance Tomography System의 하드웨어 구축에 관한 연구

서강*, 박은식**, 박관수*

* 부산대학교 전기공학과, ** 한국해양대학교 전자전기공학과

A Study of Realtime monitoring Hardware Construction in Magnetic Inductance Tomography System

Kang SEO*, Eun-Sik PARK**, Gwan soo PARK*

* Dept. of electrical engineering, ** Dept. of electronic and electrical engineering

Abstract - Magnetic Inductance Tomography(MIDT) System은 외부에서 자기장을 인가하여 자기장이 인가된 공간에 일정값의 투자율을 가지는 대상 물체가 존재할 경우 자기장의 분포가 변화하게 되고 이러한 자기장의 변화량으로 대상 물체의 투자율과 크기, 위치, 형태 등을 파악할 수 있다. MIDT System은 비접촉식이고, MRI에 비해 아주 작은 자기장으로도 측정이 가능하다는 이점이 있다. 이러한 MIDT System에서 실시간으로 대상 물체의 크기와 위치에 따라 자기장의 변화량과 분포를 측정할 수 있는 하드웨어를 구축하였다.

1. 서론

Tomography는 비파괴 검사의 한 방법으로 보이지 않는 곳을 절단하지 않고도 볼 수 있도록 나타내는 기술로 Tomography의 핵심 기술은 센서내의 대상 물체의 재질을 센서로 감지를 한 후 센서신호를 재구성하여 실시간으로 대상 물체 내부의 상태를 검진하는 것이다.

Tomography의 종류에는 크게 반사파를 이용한 Reflection Tomography와 전자의 여기를 이용한 Emission Tomography, 또 전자장을 이용한 Magnetic Tomography가 있다. 자성체의 탐지용으로 사용할 수 있는 Sensor로는 첫째로 Impedance Type이 있다. 이것은 인가되는 교류자기에 의하여 유기되는 탐지 대상의 와전류를 측정하는 방법으로 현재 원자력 발전소의 순환배관의 결함검출용으로 주로 사용되고 있다. 탐지 대상의 도전율의 변화를 Searching Coil이나 Rotating Coil로서 감지하는 방식이므로 탐지대상이 도전율이 높은 재료에서 유용하나 도전율이 높지 않은 대상 물체를 감지하기 어렵다. 둘째로, 대상 물체의 투자율 변화를 감지하는 방식으로 Inductance Type이 있다. 이 방식은 도전율을 대신 투자율을 감지하는 방식으로 근래 들어 감도가 높은 자기센서들이 개발됨에 따라 분해능이 높은 시스템 개발이 가능하게 되어 그 가능성을 보이고 있다. 장소와 시간의 제약을 받지 않는 탐지용으로 사용하기에는 MRI나 SQUID와 같은 시스템은 장비가 크고, 고가라는 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 간편하게 이동 및 설치가 가능하고 저 전원에서도 동작이 가능한 시스템을 개발하였다. 이것은 대상 물체에 2극 수직자계를 인가하고 Hall sensor를 이용하여 대상 물체를 감지하는 Inductance Type의 Magnetic Tomography인 Magnetic Inductance Tomography (MIDT) System을 개발하였고, 이에 필요한 하드웨어를 구축하였다.

2. MIDT System의 구조와 원리

Magnetic Inductance Tomography(MIDT) System은 탐사체의 투자율 변동을 비접촉으로 감지하는 시스템으로 Fig. 1은 MIDT System의 개요도이다.

MIDT System은 크게 3부분으로 구성되며, 대상물체를 감지하기 위하여 자기장을 발생시키고 자기장의 변화를 감지하는 센서가 있는 센서부와 센서로부터의 신호를 컨버팅하는 신호변환부와 변환된 신호를 디스플레이하고 판단하는 모니터링부로 이루어진다. Fig. 2는 MIDT System의 센서부를 나타내는 것으로 센서의 바깥 부분에서 수직 자계를 발생시켜서 센서에서 대상 물체가 있을 때와 없을 때의 자기장 변화량으로 물체를 판단한다. Fig. 3(a)는 자기장 내에 대상 물체가 없을 때의 자기장의 분포를 나타낸 것이고, (b)는 대상 물체가 있을 때의 자기장의 분포를 나타내는 것이다. 이 두 그림을 비교해보면 확연히 자기장의 분포가 달라지는 것을 확인할 수 있고, 이러한 변화된 자기장을 센서로 측정하여 대상 물체를 판단하게 된다.

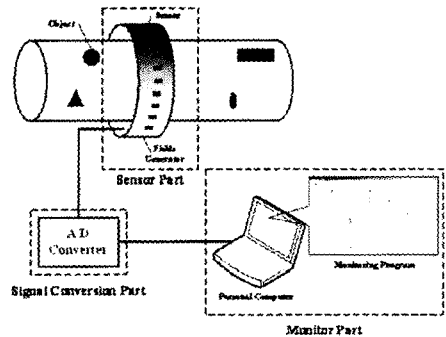


Fig. 1 Diagram of the MIDT System

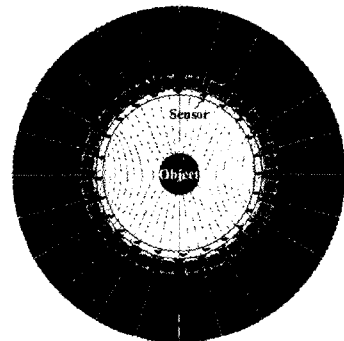
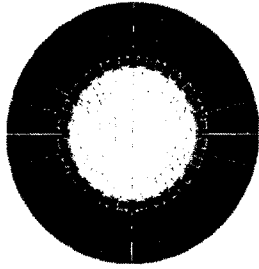
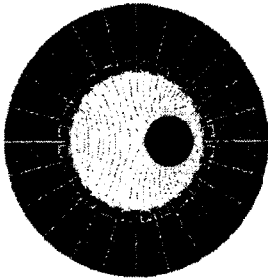


Fig. 2 Principle of MIDT



(a) without Object



(b) with Object

Fig. 3 Variation of Magnetic Fields in MIDT System

3. 자기장 변화량 해석

MIDT System의 기술적인 핵심은 측정감도를 높여 효율적인 시스템을 설계하고, 대상물체의 크기, 위치에 따른 센서신호를 예측하고 이로부터 대상물체를 추정할 수 있는 실용적인 알고리즘을 개발하는 일인데, 먼저 측정감도를 높여서 효율적인 시스템을 구성하기 위해서는 3차원 비선형 유한 요소법을 사용한다. 전자기장의 분포를 해석하기 위한 Maxwell 방정식은 고주파에 의한 변위전류를 무시할 경우 다음과 같다.

$$\nabla \times H = J_0 + J_0 \quad (1)$$

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (3)$$

$$B = \mu H \quad (4)$$

$$B = \sigma E \quad (5)$$

여기서 H는 자기장의 세기, B는 자속밀도, E는 전기장의 세기, J_0 는 여자전류밀도, J_0 는 와전류밀도, σ 는 도전율, μ 는 자기 투자율이다.

식 (3)으로부터 자기 벡터 포텐셜(magnetic vector potential)은 식 (6)의 관계로 정의되고

$$B = \nabla \times A \quad (6)$$

식 (2)와 식 (6)으로부터 다음 식이 성립한다.

$$E = - \frac{\partial A}{\partial t} - \nabla \phi \quad (7)$$

여기서 ϕ : 전위 (electric scalar potential)이다. 식 (4), (5), (6), (7)을 조합하여 식 (1)에 대입하면 다음과 같은 편미분 방정식이 유도된다.

$$\nabla \times (\nu \nabla \times A) = - \sigma \left(\frac{\partial A}{\partial t} + \nabla \phi \right) + J_0 \quad (8)$$

여기서 ν 는 자기 저항율이며 $1/\mu$ 로 주어지며 유한요소 정식화를 하여 3차원 요소 행렬식을 만들어서 해석한다.

4. MIDT System의 하드웨어 구축

실시간으로 대상물체의 크기와 위치에 따라 자기장의 변화량을 측정하기 위하여 Fig. 4와 같은 하드웨어를 구축하였다. Fig. 5는 자기장의 발생시키기 위한 부분이고 Fig. 6은 자기장의 변화량을 측정하기 위한 홀센서이다

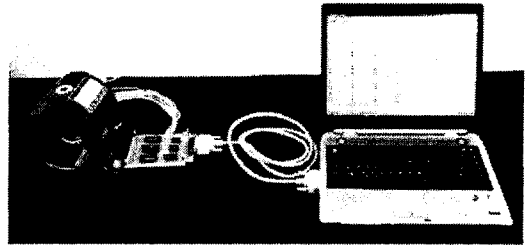


Fig. 4 Magnetic Inductance Tomography System

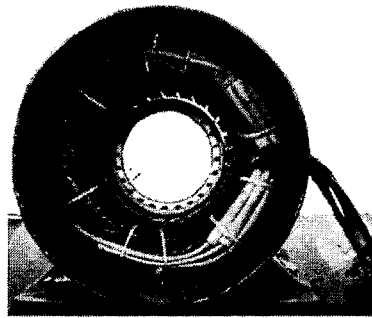


Fig. 5 Fields Generator

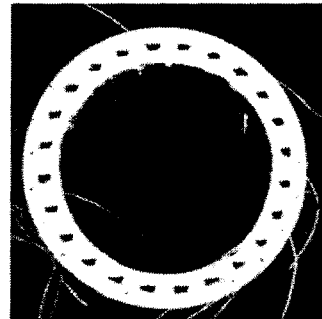


Fig. 6 Hall Sensors

5. 대상물체의 측정

Fig. 7과 같이 대상 물체가 있을 경우에 대하여 홀센서의 값을 측정하였으며, 대상물체가 없을 경우와 비교하여 자기장의 변화량과 분포를 측정하였다. 그 결과를 비투자율에 따라서의 자기장의 변화량을 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 9는 대상물체가 중앙에 있을 경우 크기에 따른 자기장의 변화량을 Bx, By로 구분지어 나타내었다. Fig. 10은 대상물체가 오른쪽에 있을 경우의 대상물체의 크기에 따른 자기장의 변화량이며, Fig. 11은 대상물체가 위쪽에 있을 경우의 대상 물체의 크기에 따른 자기장의 변화량을 나타낸 것이다.

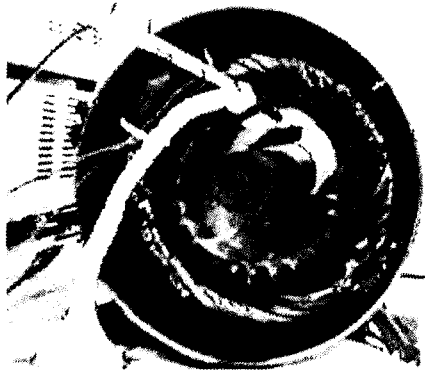


Fig. 7 Measured Object with MIDT System

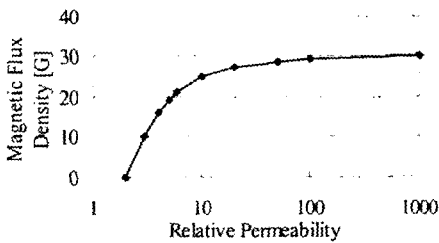


Fig. 8 ΔB_x according to the object permeability

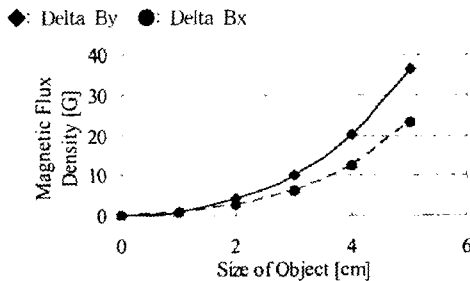


Fig.9 Variation of magnetic fields with respect to the size of the sensing object

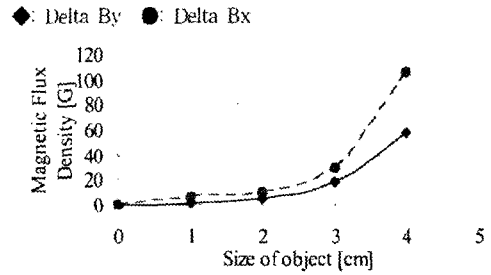


Fig. 10 Variation of magnetic fields with respect to the size of the sensing object at right side

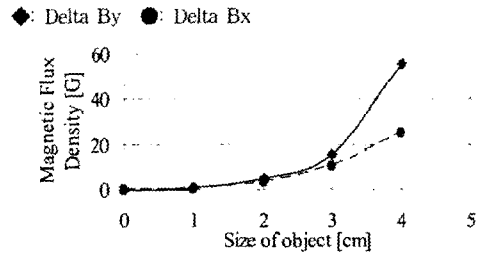


Fig. 11 Variation of magnetic fields with respect to the size of the sensing object at top side

Fig. 8은 대상물체의 비투자율에 따른 자기장의 변화량으로 비투자율이 5정도만 되어도 센싱이 가능하다는 것을 알 수 있다. Fig. 10을 통하여 대상물체가 수평방향으로 움직일 경우 Bx성분이 크게 변화하며 Fig. 11을 통하여 대상물체가 수직방향으로 움직일 경우 By성분이 크게 변화하는 것을 확인할 수 있다.

6. 결 론

Magnetic Inductance Tomography System은 배관 속을 흐르는 대상 물체의 비 투자율의 변화를 감지하여 탐사대상의 크기, 위치를 추정할 수 있는 시스템으로 배관 내부를 흐르는 대상 물체를 실시간으로 간편하게 추적할 수 있음을 보였다. 앞으로 더 많은 형태의 대상물체에 대한 해석과 실제적인 MIDT System을 구축하여 실시간으로 측정이 가능한 System을 구현하였다. 차후 대상물체가 이동할 경우에 대한 속도 기전력에 의한 영향과 자기 이방성에 영향이 센싱 신호에 미치는 영향에 대하여 연구하여야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 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
- [2] D.L.Atherton and M.G.Daly, "Magnetic leakage flux testin with probes: physical principles and restrictions f application", NDT International, vol.20, no.2, pp.101-110 April 1987