

## Magnetic Inductance Tomography System을 이용한 대상물체의 위치와 크기 판정

서강, 박관수, 박은식\*

부산대학교 전자전기컴퓨터정보공학부, 한국해양대학교 전기전자공학부\*

### Detection of Size and Position in Magnetic Inductance Tomography System

Kang Seo, Gwan Soo Park, Eun Sik Park\*

Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University

Department of Electrical and Electro Engineering, Korea Maritime University\*

**Abstract** - Magnetic Inductance Tomography System은 비투자율이 공기보다 큰 대상물체를 외부에서 자기장을 인가하여 자기장의 변화를 자기센서로 측정하여 대상물체의 형상, 위치, 비투자율을 측정하고 판단하는 시스템이다. Magnetic Inductance Tomography System은 비투자율이 공기보다 큰 대상물체를 외부에서 자기장을 인가하여 자기장의 변화를 자기센서로 측정하여 대상물체의 형상, 위치, 비투자율을 측정하고 판단하는 시스템이다. Magnetic Inductance Tomography System은 대상물체의 위치, 모양, 크기에 따라 자기장의 변화가 달라지게 된다. 대상물체를 실시간으로 측정하기 위하여 Magnetic Inductance Tomography System은 자기장 발생부와 신호변환부, 모니터링 부로 구분하여 구축하였다. 또한 대상물체를 위치를 이동시키거나 크기를 변경하여 대상물체의 신호를 해석, 측정하였다.

### 1. 서 론

Tomography는 비파괴 검사의 한 방법으로 보이지 않는 곳을 절단하지 않고도 볼 수 있도록 나타내는 기술로 Tomography의 핵심 기술은 센서내의 대상 물체의 재질을 센서로 감지한 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 탐지대상의 와전류를 측정하는 방법으로 현재 원자력 발전소의 순환배관의 결합검출용으로 주로 사용되고 있다. 탐지대상의 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 도전율 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.

이런 단점을 보완하기 위해서 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 개발하였다.

### 2. MIDT System의 구조

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 System을 나타낸 것이다. Fig. 3(a)는 MIDT의 센서부를 나타내는 것으로 센서의 바깥 부분에서 수직 자계를 발생시켜서 센서에서 대상 물체가 있을 때와 없을 때의 자기장 변화량으로 물체를 판단한다. Fig. 3(b)는 자기장 발생장치 내부에 센서부가 들어가 있는 것으로 자기장의 변화량을 자기장 발생장치의 내부에서 측정하는 것이다.

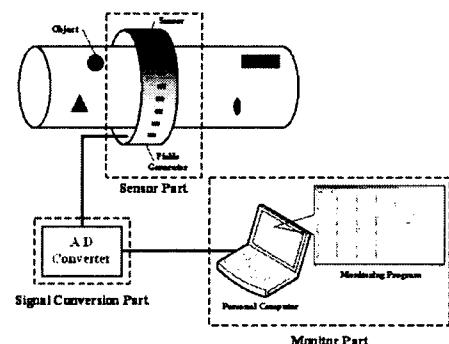


Fig. 1 Diagram of the MIDT System

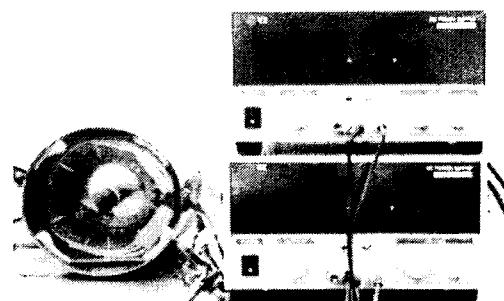
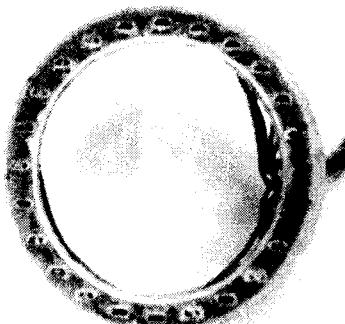
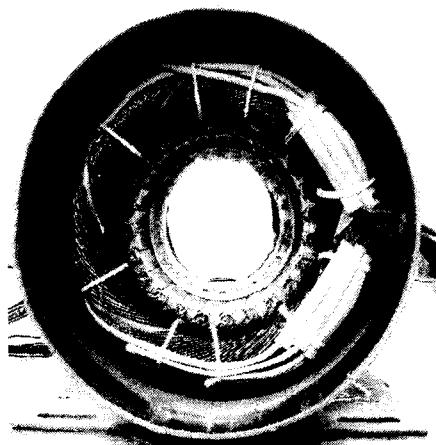


Fig. 2 Magnetic Inductance Tomography System



(a) Hall-Sensor arrays



(b) Magnetic field generate device and sensor arrays

Fig. 3 Insight of the Magnetic Inductance Tomography

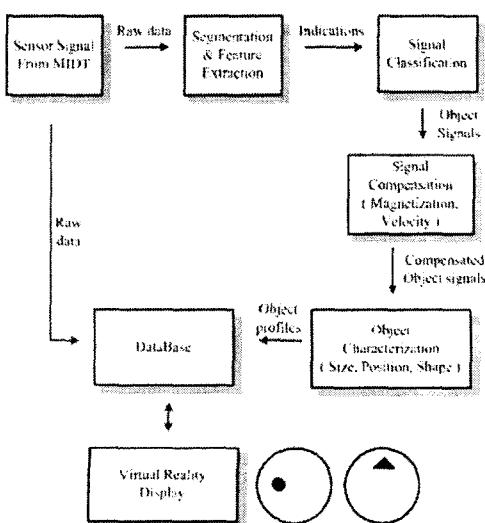


Fig. 4 Integrated data analysis system for Detection of size and position

Fig. 4는 MIDT 시스템을 이용하여 측정된 신호를 통하여 대상물체의 위치와 크기, 모양 등을 판정하기 위한 해석 시스템의 개요도이다. 홀센서로부터 취득한 신호에서 자기장의 변화량을 추출하고, 추출된 신호로부터 여러 가지 왜곡 성분을 보정하면 순수한 대상 물체의 신호만 남게 된다. 신호로부터 신호의 크기와 신호의 폭, 기울기 등을 이용하여 대상물체를 판단하게 되고 프로그램을 통하여 디스플레이하게 된다.

### 3. 이동물체의 의한 자기 분포 변화

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 3 차원 비선형 유한 요소법을 사용한다. 전자기장의 분포를 해석하기 위한 Maxwell 방정식은 고주파에 의한 변위전류를 무시할 경우 다음과 같다.

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

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

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

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

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

여기서  $H$ 는 자기장의 세기,  $B$ 는 자속밀도,  $E$ 는 전기장의 세기,  $J_0$ 는 여자전류밀도,  $J_\theta$ 는 와전류밀도,  $\sigma$ 는 도전율,  $\mu$ 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.

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

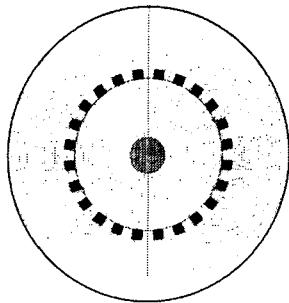
여기서  $\phi$ 는 전위 (electric scalar potential)이다. 식 (4), (5), (6), (7)을 조합하여 식 (1)에 대입하면 다음과 같은 편미분 방정식이 유도된다.

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

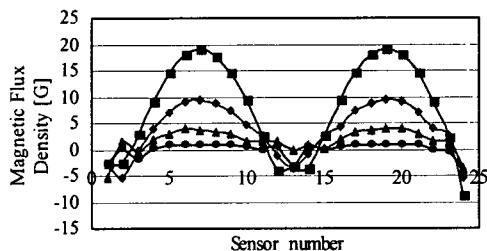
여기서  $\nu$ 는 자기 저항률이며  $1/\sigma$ 로 주어지며 유한요소 정식화를 하여 3차원 요소 행렬식을 만들어서 해석한다.

### 4. 대상 물체의 신호

대상물체의 크기와 위치에 따라 자기장의 변화량을 유한 요소법으로 해석하였다. Fig. 5(a)는 원형의 대상 물체가 중심에 있을 경우에 대상 물체에 의해 발생하는 자기장의 분포를 나타낸 것이다. Fig. 5(b)는 센서부의 중앙에 원형의 대상물체가 있을 때 대상물체의 크기에 따른 MIDT 신호를 나타낸 것이다. 대상물체의 크기가 클수록 신호가 커지고 좌우로 대칭의 형태를 나타낸다.

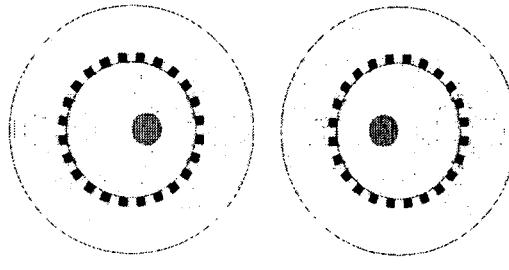


(a) Magnetic Field Distribution

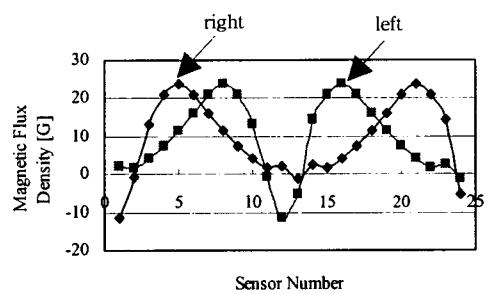


(b) Sensor Signals

Fig. 5 Variations of magnetic field according to object size at center location

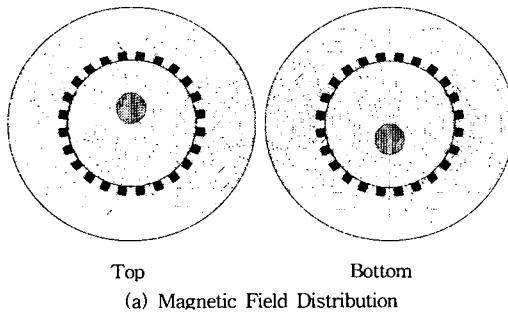


right  
left  
(a) Magnetic Field Distribution

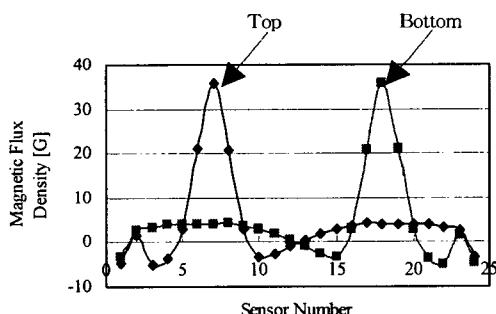


(b) Sensor Signals

Fig. 7 Variations of magnetic field at right and left location



Top  
Bottom  
(a) Magnetic Field Distribution



(b) Sensor Signals

Fig. 6 Variations of magnetic field at top and bottom location

Fig. 6(a)는 원형의 대상 물체가 위쪽 또는 아래쪽으로 치우쳐 있을 경우에 대상 물체에 의한 자기장 분포를 나타내었다. Fig. 6(b)는 MIDT의 신호로 대상물체가 수직 방향으로 치우쳤을 경우는 대상물체와 가까이에 있는 센서 하나가 가장 민감하게 반응함을 확인할 수 있다. Fig. 7(a)는 원형의 대상 물체가 왼쪽과 오른쪽으로 치우쳐 있을 경우에 대상 물체에 의한 자기장 분포를 나타내었다. Fig. 7(b)는 MIDT의 신호로 대상물체가 수평 방향으로 치우쳤을 경우는 대상물체와 가까이에 있는 센서 두개가 가장 민감하게 반응함을 확인할 수 있으며, 좌우가 대칭적인 형태로 나타남을 확인할 수 있다.

## 5. 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. 대상물체의 위치에 따라 민감하게 동작하는 센서가 하나에서 두 개이며, 이를 통하여 센서의 위치를 파악할 수 있다.

## [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 testing with probes: physical principles and restrictions for application", NDT International, vol.20, no.2, pp.101 -104, April 1987