

Magnetic inductance tomography system을 이용한 대상물체 위치와 밀도 변화 시의 신호해석에 관한 연구

이성호, 서강, 박관수  
부산대학교 전자전기공학과

A research of signal analysis using Magntic Inductance Tomography system according to a chance in an object's position and density

Sung Ho Lee, Kang Seo, Gwan Soo Park  
Department of Electrical Engineering, Pusan National University

**Abstract** - 본 논문에서는 Magnetic Inductance Tomography System (이하 MIDT System)을 이용하여 대상물체의 위치와 밀도 변화 시의 신호해석에 관한 연구를 하였다. MIDT System은 외부에서 자기장을 인가하고, 인가된 자기장에 의해 변화하는 자기장을 홀센서로 검출한다. MIDT System은 시스템이 간단하고 대상물체에 물리적인 손상을 가하지 않고 측정이 가능하다. 본연구에서는 MIDT System을 직접 구성하여 이론적인 해석신호와 실제 실험을 통한 해석신호의 일치여부를 비교 분석하고 MIDT System을 이용하여 대상물체 위치 변화시의 신호 해석할 수 있는 적합성 여부를 판단하였다.

1. 서 론

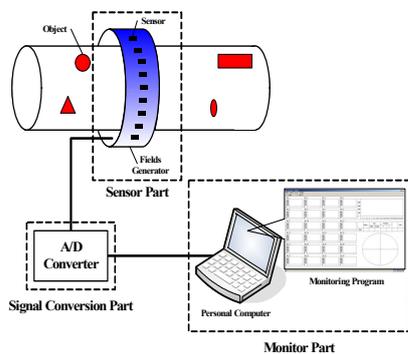
최근 불안정한 세계 경제상황과 급등하는 환율로 인하여 자원절감의 필요성이 대두되고 있다. 원료 확보 및 기술 개발, 원가 절감 등을 통해 글로벌 경쟁력을 갖추어 나아가야 한다. 특히 원가 절감을 위해서는 원재료의 배합비 최적화가 중요하다. 강자성체의 대표적인 철의 생산에 있어 배관내의 자성체 유입량을 정밀측정 하는 기술의 필요성이 증가하고 있다.

본 논문에서는 MIDT System을 구성하여 대상물체가 배관을 통과할시 위치와 밀도가 변함에 따라 센싱되는 신호가 이론적인 해석신호와 일치하는지 비교분석하고, 신호분석을 통해 대상물체의 위치와 밀도에 따른 센싱신호의 정합성을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 MIDT System의 구조

Magnetic Inductance Tomography System은 크게 3부분으로 구성되어 있다. 첫째로 대상물질을 감지하기 위하여 자기장을 발생시키고 자기장의 변화를 감지하는 센서가 있는 센서부가 있으며, 둘째로 센서부에서 발생하는 아날로그 신호를 PC에서 모델링하기 위해 디지털 신호로 변환해주는 신호 변환부가 있으며, 셋째로 신호변환부에서 전송 받은 신호를 데이터 통신을 통하여 모델링하고 Display하는 모니터부가 있다. MIDT System의 구조도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> MIDT System의 구조

2.2 지배방정식

MIDT System에서는 Maxwell 방정식과 유한요소법(FEM)을 이용하여 자기분포를 해석하였다. 변위 전류와 유도전류를 무시할 수 있는 경우 정자계에서 성립하는 Maxwell 방정식과 보조 방정식은 다음과 같다.

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

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

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

여기서 각 기호의 기호는  $H$  : 자기장의 세기[A/m],  $J$  : 전류밀도[A/m<sup>2</sup>],  $B$  : 자속밀도[Wb/m<sup>2</sup>],  $\mu_o$  : 진공자기투자율[H/m],  $M$  : 자화량[A/m],  $A$  : 자기 벡터 포텐셜[Wb/m]이다. 히스테리시스 현상이 없는 문제에서 자화량은 자화율  $\chi$ 로서,

$$M = \chi H \tag{4}$$

와 같이 표현되지만 해석 영역 내에 히스테리시스 특성을 갖는 매질이 포함되어 있는 경우에는 자화량은 자계의 세기나 자속밀도에 관한 단순한 식으로 표현되지 않으므로 미지수로 남겨두어야 한다. 일반적으로 자화량  $M'$ 은 외부의 자계가 제거되면 사라지는 가역항(reversible component :  $\chi H$ )과 외부의 자계가 제거되어도 사라지지 않고 자발자화 특성을 갖는 비가역항(irreversible component :  $M$ )의 합으로 나타낼 수 있다.

$$M = \chi H + M \tag{5}$$

식(5)를 식(2)에 대입하면,

$$H = \nu B - M \tag{6}$$

와 같은 식을 얻는다. 여기서  $\nu = 1/\mu$ ,  $\mu = \mu_o \mu_r$ ,  $\mu_r = 1 + \chi$ 이다. 이것을 식 (1)에 대입하면 식 (6)의 관계로부터,

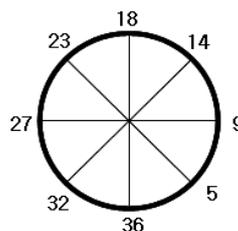
$$\nabla \times (\nu \nabla \times A) = J + \nabla \times M \tag{7}$$

회전에 의한 벡터 관계식과 coulomb 게이지로로부터 식 (8)과 같은 지배방정식을 얻는다.

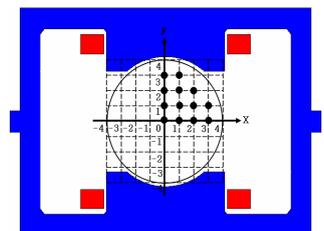
$$-(\nabla \cdot \nu \nabla) A = J + \nabla \times M \tag{8}$$

2.3 대상 물체의 위치와 밀도 변화에 따른 영향

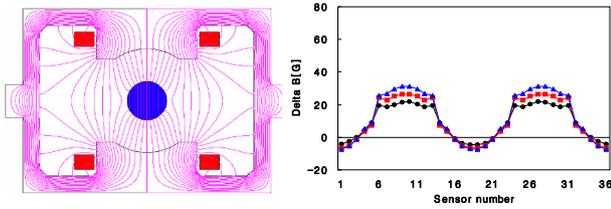
MIDT System에서 대상물체의 특징에 따라서 검출되는 신호가 달라진다. 검출 신호를 변화시키는 요인으로는 대상물체의 투자율, 위치, 크기, 밀도 등이 있다. 그 중 본 연구에서는 MIDT System에서 자성체의 위치 변화에 따른 취득 신호의 정합성을 검토하기 위해 <그림2.1>처럼 센서마다 번호를 부여하고 <그림 2.2>와 같이 외철형 구조의 Tomography system 내부를 좌표로 표시하여 위치 식별이 가능하게 하였으며 밀도 변화에 따른 취득 신호의 정합성을 검토하기 위해 같은 부피의 샘플관에 전체 부피의 30%, 35%, 40%의 대상 물체로 밀도 센싱신호를 취득하였다.



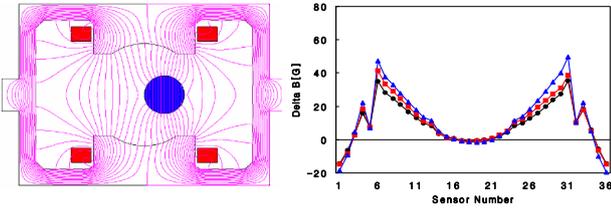
<그림2.1> 센서 위치도



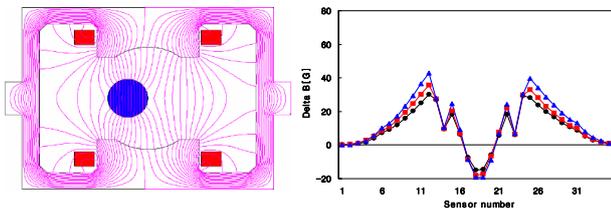
<그림2.2> 시스템 내부의 좌표



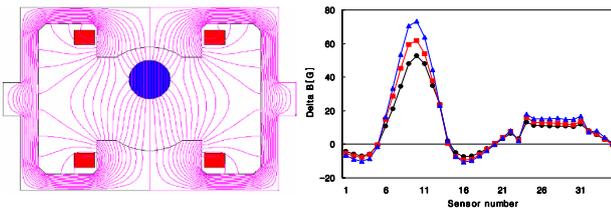
<그림3> 중앙위치(0,0)의 자기장분포와 검출신호



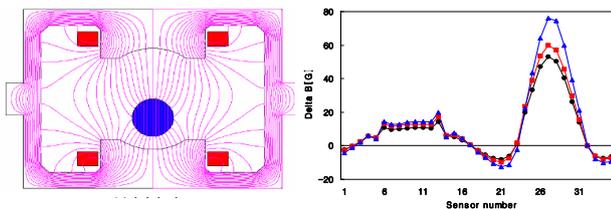
<그림4> 우단위치(2,0)의 자기장분포와 검출신호



<그림5> 좌단위치(-2,0)의 자기장분포와 검출신호



<그림6>상단위치(0,2)의 자기장분포와 검출신호



<그림7> 하단위치(0,-2)의 자기장분포와 검출신호

**2.3.1 중앙 위치에서 대상 물체 밀도에 따른 결과**

대상물체가 중앙에 있을 경우, 즉 좌표(0,0)에 있을 경우 자기장의 분포와 대상물체 밀도 변화에 따른 검출신호를 <그림3>에 나타내었다. 자기장의 분포는 대상물체를 중심으로 좌우 대칭의 형태가 되며, 검출 신호의 패턴도 센서 18번을 중심으로 대칭의 형태를 나타낸다. 표1의 center의 값은 대상 물체의 검출 신호로부터 얻은 정보를 종합하여 검출 신호의 최대값과 전체 신호 크기를 합한 값을 비교한 것이다.

**2.3.2 우단 위치에서 대상 물체 밀도에 따른 결과**

대상물체가 우단에 있을 경우, 즉 좌표(2,0)에 있을 경우 자기장의 분포와 대상물체 밀도 변화에 따른 검출신호를 <그림4>에 나타내었다. 자기장의 분포는 오른쪽으로 집중되며, 검출 신호의 패턴은 대칭의 형태가 아닌 오른쪽의 센서에서 가장 크게 나타나는 것이 특징이다. 대상 물체의 크기에 따른 검출 신호의 패턴은 일치하며, 표1의 Right와 같이 단면적이 증가함에 따라 검출신호의 크기와 최대값이 증가함을 알 수 있다.

**2.3.3 좌단 위치에서 대상 물체 밀도에 따른 결과**

대상물체가 좌단에 있을 경우, 즉 좌표(-2,0)에 있을 경우 자기장의

분포와 대상물체 밀도 변화에 따른 검출신호를 <그림5>에 나타내었다. 자기장의 분포는 왼쪽으로 집중되며, 검출 신호의 패턴도 센서 18번을 중심으로 대칭의 형태를 보이면서 대상물체에 접근한 센서에서 그 변화가 크게 나타난다. 그러나 대상물체의 위치가 일치하면 크기에 관계없이 자기장의 변화가 가장 크게 나타나는 센서는 12번과 25번으로 동일하다. 표1의 Left와 같이 단면적이 증가함에 따라 검출신호의 크기와 최대값이 증가함을 알 수 있다.

**2.3.4 상단 위치에서 대상 물체 밀도에 따른 결과**

대상물체가 우단에 있을 경우, 즉 좌표(0,2)에 있을 경우 자기장의 분포와 대상물체 밀도 변화에 따른 검출신호를 <그림6>에 나타내었다. 자기장의 분포는 상단 쪽으로 집중되며, 검출 신호의 패턴은 대칭의 형태가 아닌 상단의 센서에서 가장 크게 나타나는 것이 특징이다. 대상 물체의 크기에 따른 검출 신호의 패턴은 일치하며, 표1의 Top와 같이 단면적이 증가함에 따라 검출신호의 크기와 최대값이 증가함을 알 수 있다. 그러나 대상 물체의 위치가 일치하면 크기에 관계없이 자기장의 변화가 가장 크게 변화하는 센서는 10번으로 동일하다.

**2.3.5 하단 위치에서 대상 물체 밀도에 따른 결과**

대상물체가 우단에 있을 경우, 즉 좌표(0,-2)에 있을 경우 자기장의 분포와 대상물체 밀도 변화에 따른 검출신호를 <그림7>에 나타내었다. 자기장의 분포는 하단 쪽으로 집중되며, 검출 신호의 패턴은 대칭의 형태가 아닌 하단의 센서에서 가장 크게 나타나는 것이 특징이다. 대상 물체의 크기에 따른 검출 신호의 패턴은 일치하며, 표1의 Bottom과 같이 단면적이 증가함에 따라 검출신호의 크기와 최대값이 증가함을 알 수 있다. 그러나 대상 물체의 위치가 일치하면 크기에 관계없이 자기장의 변화가 가장 크게 변화하는 센서는 27번으로 동일하다.

<표 1> 대상물체의 위치, 밀도에 따른 검출신호 비교

	Position of the Object(x,y)					Ratio [%]
	Center (0,0)	Right (2,0)	Left (-2,0)	Top (0,2)	Bottom (0,-2)	
Max of $\Delta B$	30%	21.75	35.19	30.15	52.81	53.01
	35%	26.5	41.42	35.56	61.98	60.03
	40%	31.12	49.67	43	73.38	75.99
Sum of $\Delta B$	30%	337.0	339.9	338.6	345.2	342.8
	35%	388.2	388.6	386.2	396.3	395.0
	40%	453.5	454.9	456.8	462.2	461.3
Sensor NO. of Max $\Delta B$	30%	10,27	6,31	12,25	10	27
	35%	10,27	6,31	12,25	10	27
	40%	10,27	6,31	12,25	10	27

**3. 결 론**

본 연구에서는 MIDT System을 이용하여 대상물체의 위치와 밀도 변화에 따른 쿼드신호의 정합성을 실험과 해석을 통하여 검토하였다. 배관 내부의 5개 위치에서 대상물체의 밀도에 따른 검출신호를 비교하였다. 대상물체의 위치가 달라도 단면적이 같으면  $\Delta B$ 의 합이 거의 일치함을 확인할 수 있다. 결국 밀도가 같으면 대상 물체의 위치에 상관없이 동일한 검출신호 합의 값을 나타내며, 대상물체의 위치에 따라 검출신호의 패턴이 다르므로 신호의 패턴만으로 대상물체의 대략적인 상, 하, 좌, 우의 위치를 판별할 수 있다. 앞으로 대상물체의 여러 가지 특징에 따라 변화되는 신호의 연구가 필요하며, 외형형 구조의 자기장 발생장치의 최적설계와 대상물체 추정 알고리즘 보안을 통해서 보다 정밀한 측정이 가능한 실시간 자성체 이동량 측정 시스템을 구현하는 연구가 필요하다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력 양성사업의 연구결과입니다.

**[참 고 문 헌]**

[1] D.S.Kim and G.S.Park, "Development of a Magnetic Inductance Tomography System", IEEE Trans. Magn., vol. 41, no. 5, pp. 1932-1935, May 2005.  
 [2] K.Y.Kim, et. al., "Electrical impedance imaging of two-phase field with an adaptive mesh grouping scheme", IEEE Trans. Magn., vol. 40, no. 2, pp. 1124-1127, March 2004.