

자계를 이용한 배관 내의 대상물체 판별 시스템 개발

김덕건, 김재민, 서강, 박관수
부산대학교 전자전기과

The Development of Measurement system using Magnetic field in Pipe

Dug Gun Kim, Jae Min Kim, Kang Seo, Gwan Soo Park
Department of Electrical Engineering, Pusan National University

Abstract - 본 논문에서는 수직 자계를 이용한 배관 내 자성체를 측정하는 시스템을 개발 하였다. 자성체 면적 변화에 따른 측정 신호의 정밀도를 높이기 위해 배관 내 자기장의 크기 및 균일도를 고려한 설계 및 해석을 하였다. 인가 자기장의 크기는 반도체 소자의 노이즈 레벨(0.4~0.6[G])보다 크고, 대상물체의 1% 면적 변화에 따른 ΔB의 민감도를 고려하였으며, 코어의 형상 및 길이를 변화에 따른 배관 내 자기장의 크기와 균일도를 유한요소법을 이용하여 해석하였다.

1. 서 론

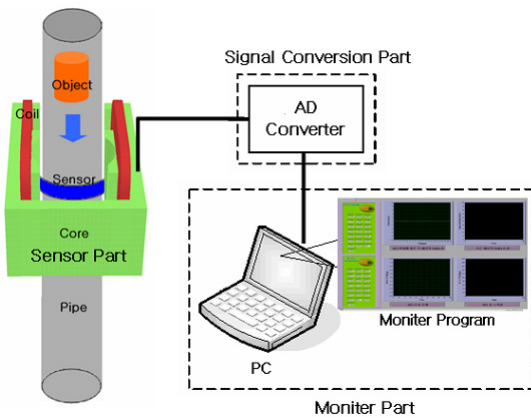
최근 국제 유가 및 원자재 가격 상승으로 인해 전세계적인 자원 전쟁이 가속화되고 있다. 원료 확보 및 기술 개발, 원가 절감 등을 통해 글로벌 경쟁력을 갖추어 나아가야 한다. 특히 극한의 원가 절감을 위해서는 원재료의 배합비 최적화가 중요하다. 강자성체의 대표적인 철의 생산에 있어 배관 내의 자성체 이동량을 정밀 측정 하는 기술의 필요성이 증가하고 있다. 전자기 원리를 이용하여 배관 내 자성체 이동량을 측정하는 자성체 측정시스템은 Single 코일 타입, Helm-Holtz 코일타입, 수직자계, 반도체 소자를 이용한 타입 등 크게 4가지 형태가 있다. 여기서 수직자계에서 반도체 소자를 이용한 형태가 자성체 밀도 변화에 따른 민감도가 가장 높게 나타났다.[1]

본 논문에서는 자성체 측정 시스템의 측정 정밀도를 높이기 위해 배관 내 자기장의 크기 및 균일도를 고려한 설계 및 해석을 하고자 한다. 자기 코어를 이용하여 자기 저항을 줄여 자속량을 늘리며, 인가 자기장의 크기는 반도체 소자의 노이즈 레벨(0.4~0.6[G])보다 크고, 대상물체의 1% 면적 변화에 따른 ΔB의 민감도를 고려하며, 코어의 형상 및 길이를 변화에 따른 배관 내 자기장의 크기와 균일도를 유한요소법을 이용하여 해석하였다.

2. 본 론

2.1 자성체 측정 시스템의 원리와 구조

자성체 측정 시스템은 배관 외부에 센서들을 부착하고 직류자기장을 인가하여 대상 물체의 비투자율(Relative Permeability)에 따른 자계의 변동을 실시간으로 측정하는 것이다. 특히 대상물체의 비투자율이 일정할 경우 인덕턴스는 자성체의 면적에 비례하며, 취득되는 자속은 인덕턴스에 비례하기 때문에 취득 신호에 따라 대상물체의 면적을 알 수 있다.



<그림 1> 자성체 측정 시스템 구조

또한 이 시스템은 간단하고 대상물체에 물리적인 손상을 가하지 않고 측정이 가능하며, 기존의 상용센서들로 구성 가능한 장점을 가지고 있다.[2][3]

자성체 측정 시스템의 기본 구성은 <그림 1>과 같으며 크게 3부분으로 구성되어 있다. 첫째 대상 물체를 감지하기 위해 자기장을 발생시키며 자기장의 변화를 감지하는 센서부가 있으며, 둘째로 센서부에서 발생하는 아날로그 신호를 PC에서 모델링하기 위한 디지털 신호로 변환해주는 작업을 하는 신호변환부가 있으며 셋째 신호변환부에서 받은 신호를 데이터 통신을 통하여 모델링하고 Display하는 모니터부가 있다.

2.2 지배방정식

변위전류와 유도전류를 무시할 수 있는 정자계에서 성립하는 Maxwell방정식과 그 보조방정식은 아래와 같다.

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

$$B = \mu_o (H + M') \quad (2)$$

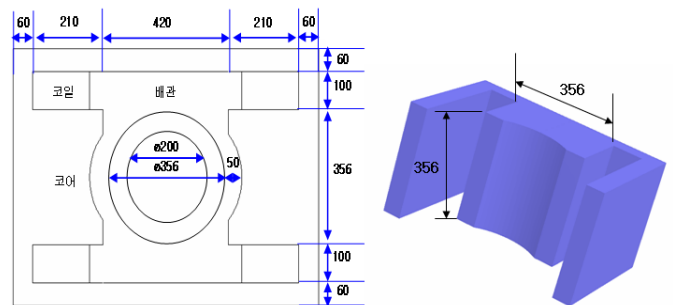
$$B = \nabla \times A \quad (3)$$

여기서 μ_o 는 진공에서의 투자율(permeability), A는 자기 벡터 포텐셜이다. 일반적으로 자화량 M'은 외부의 자계가 제거되면 사라지는 가역항(reversible component : χH)과 외부의 자계가 제거되어도 사라지지않고 자발자화 특성을 갖는 비 가역항(irreversible component : M)의 합으로 나타낼 수 있다.

$$M' = \chi H + M \quad (4)$$

식 (1)~(4)과 회전에 의한 벡터 관계식과 coulomb 게이지로부터 식 (5)과 같은 지배방정식을 얻는다.

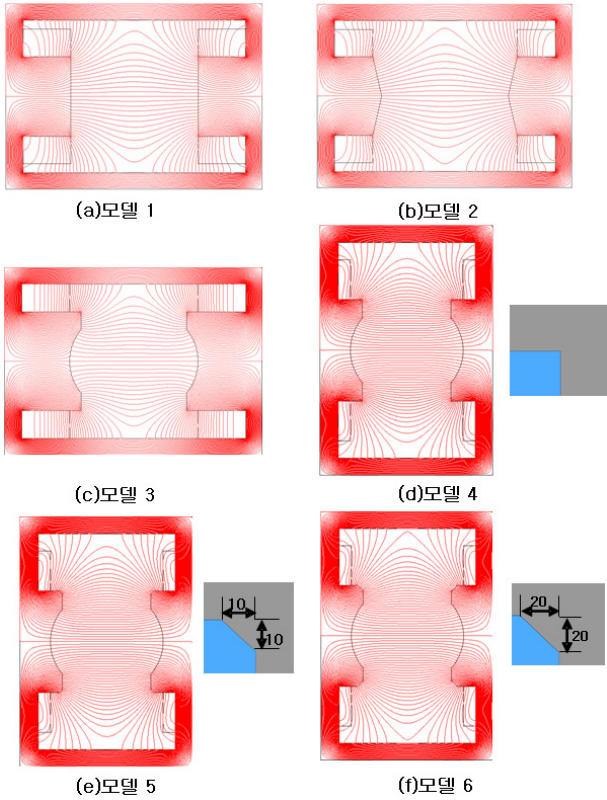
$$-(\nabla \cdot \nu \nabla) A = J + \nabla \times M \quad (5)$$



<그림 2> 자성체 측정 시스템

<표 2> 전원에 따른 배관 내 자기장

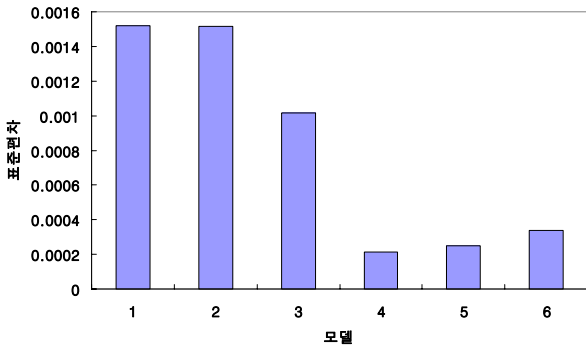
	전류[AT]	중심위치B[G]	Max ΔB
case 1	3100	164	0.18
case 2	6200	340	0.37
case 3	9200	504	0.545



<그림 3> 모델 별 Magnetic Potential Line

<표 3> 모델 별 Magnetic Flux Density

	모델 1	모델2	모델3	모델4	모델5	모델6
중심 B[G]	470	442	504	577	576	574
코어 B[G]	1425	1210	1670	2500	2460	2430



<그림 4> 모델 별 배관 내 자기장 균일도



<그림 5> 제작된 자성체 측정 장치

2.3 자성체 측정 시스템의 설계 및 해석

자성체 면적 변화에 따른 측정 신호의 정밀도를 높이기 위한 설계 및 해석시 배관 내 자기장의 크기 및 균일도를 고려해야 한다.

2.3.1 배관 내 자기장의 크기

<그림 2>는 Helm-holz 코일을 이용하여 배관과 수직 자기장을 발생시키고 규소강판의 코어를 이용하여 자기저항을 줄여 자속을 증가시킨 모델이다. 배관 내 인가 자기장의 크기 및 대상물체의 1% 면적 변화에 따른 ΔB 의 민감도를 알아보기 위해 <표 1>과 같이 전류를 3100, 6200, 9200[AT]을 달리하여 비교하였다. 전류전류가 증가함에 따라 배관 내 중심 자기장이 커지고 대상물체의 1% 면적 변화에 따른 ΔB 또한 증가함을 알 수 있다. 반도체소자의 노이즈레벨이 0.4~0.6[G]임을 감안할 때 적어도 인가 전류가 9200[AT]가 되어야 한다.

2.3.2 코어 형태에 따른 배관 내 자기장 균일도

배관에서 대상 물체의 이동하는 위치 및 면적 변화에 따른 측정 신호의 정밀도는 자기장의 크기 및 분포 변화량이 중요한 영향을 미친다. 배관 내 자기장이 균일할수록 대상 물체의 위치 및 면적 변화에 따른 측정 민감도를 높일 수 있다. <그림 3>는 코어의 형태 및 길이에 대한 6가지 모델의 자기력선을 나타낸 그림이다. 모델 1~3은 <그림 2>의 모델에서 Pole 3가지 형태에 따른 자기장의 크기 및 균일도를 알아보는 설계이다. 모델 4~6은 결정된 모델 3 Pole 형태에서 코어 Pole 옆으로 흐르는 누설 자속량을 줄이고 배관 내에 자기장 크기를 증가 시키기 위해 배관과 코어 간격을 50mm에서 10mm로 줄이고, 코어의 Pole 길이를 210mm에서 80mm로 줄이며, 코어 Side 길이는 100mm에서 200mm로 늘인 모델로서, Pole 끝 가공에 따른 자기장의 크기 및 균일도를 알아보는 설계이다. 모델 1~3에서 자기력선은 오목한 Pole 형태일 때 가장 균일하게 나타난다. 모델 4~5는 Pole과 Pole 사이의 길이보다 코어 Side 길이를 길게 함으로서, 배관 내부로 흐르지 않는 누설 자속량이 모델 1~3에 비해 상당히 줄어들었음을 알 수 있다. <표 3>은 각 모델 별 배관 중심과 코어 Side 중심에서 자기장을 나타낸 것이다. 모델 1~3 비교시 오목한 Pole의 형태가 중심 자기장과 코어에서 흐르는 자기장이 크게 나타남을 알 수 있다. 모델 4~6은 모델 1~3에 비해 배관 내 중심 자기장은 최대 100[G] 증가하였고 코어내부에 흐르는 자기장은 약 1000[G] 증가하였다. Pole 끝을 가공한 모델 5,6은 모델 4에 비해 배관 내 중심 자기장 및 코어 내부 자기장이 근소하게 감소하였다. <그림 4>는 배관 내 자기장 균일도를 나타낸 것으로 모델 1~3 모델에서 모델 3은 모델 1에 비해 약 30% 개선되었으며 전체 모델에서 모델 4는 모델 3에 비해 약 80%가 개선되어 가장 균일한 것으로 나타났다. 배관 내 자기장 크기 및 균일도 고려시 모델 4가 코어 형태가 결정되었다. <그림 5>은 지금까지 설계 및 해석을 바탕으로 실제 제작한 자성체 측정 시스템이다.

3. 결 론

본 연구에서는 수직 자계를 이용한 배관 내 자성체를 측정하는 시스템을 개발 하였다. 자성체 면적 변화에 따른 측정 신호의 정밀도를 높이기 위해 배관 내 자기장의 크기 및 균일도를 고려한 설계 및 해석을 하였다. 인가 자기장의 크기는 반도체 소자의 노이즈 레벨(0.4~0.6[G])보다 크고, 대상물체의 1% 면적 변화에 따른 ΔB 의 민감도를 고려하며, 코어의 형상 및 길이를 변화에 따른 배관 내 자기장의 크기와 균일도를 유한요소법을 이용하여 해석 및 실제 제작하였다. 설계된 자성체 측정 장치 모델에서 대상물체의 1% 면적 변화를 감지하려면 인가전류가 9200[AT]이상 되어야 하며, 오목한 Pole의 형상과 두 Pole 사이의 길이보다 코어 Side 길이를 길게 할 때 배관 내 자기장의 크기 및 균일도가 증가한다. Pole 끝 가공시 배관 내 중심 자기장 및 코어 내부 자기장이 근소하게 감소하였다. 앞으로 자성체의 면적 변화에 따른 Singal을 취득하여 실제 자성체 변화량과 비교하여 신호의 선형성 및 정합성을 판단하여야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김덕건, 김재민, 서강, 박관수, "자계를 이용한 배관 내의 자성체 이동량 측정 기술", 2008년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 춘계학술대회 논문집, pp.68-70, 2008년 4월
- [2] G.S.Park and D.S.Kim, "Development of a Magnetic Inductance Tomography System", IEEE Trans. Magn., vol. 41, no. 5, pp. 1932-1935, May 2005.
- [3] 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.