

자기인덕턴스를 이용한 Stainless Steel 배관 내 이물질 검사에 대한 연구

주건준, 박관수
부산대학교 전기공학과

Research of detect of the object in stainless pipe
using the magnetic inductance

Gun June Joo, Gwan Soo Park
Dept. of Electrical Engineering in Pusan National University

Abstract - 각 원자력 발전소에서는 정밀성, 안전성을 확인하는 검사의 중요성을 인식하여 LPMS(Loose Part Monitoring System)을 사용하여 사고 징후를 조기에 감지하여 이에 대한 예방조치를 가능케 함으로써 설계기준 사고 발생을 사전에 방지할 수 있게 한다. 또한 이 기술은 신호 측정 및 분석 등의 기반기술 개발을 통하여 건전성 감시 기술의 신뢰성을 향상 시키고 있다. LPMS(Loose Part Monitoring System)기술은 재료, 기기, 구조물 등의 성질과 내부조작을 변화시키거나 파괴하지 않고, 배관내부에 흐르는 금속 파편들을 찾아내어 정밀성, 안전성, 신뢰성을 확보하기 위하여 검사기술이 적용되고 있다. 그러나 이 방법은 배관내의 이물질의 충격이 발생해야 감지가 가능하고, 이물질의 모양이나 사이즈를 확인하기에는 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 배관외부에서 자기장을 인가하여, 배관내의 이물질에 변화하는 자기장을 홀센서로 측정하여 기존의 LPMS 방식을 보완하는 시스템을 개발하기 위해, 배관에 필요한 자기장 발생장치를 설계하고, 이물질을 검출하기 위한 검출 감도향상에 대해 연구하였다.

1. 서 론

원자력 발전소는 자원이 부족한 우리나라에서 국내 전력의 40%의 부하를 담당하고 현재까지 우리의 생활을 쾌적하고 편리하게 해주었다. 그러나 편리를 위하여 만들어진 원자력 발전소에 대형사고가 발생한다면, 예를 들어 원자로 내 내장재 손상(계어봉 및 핵연료봉)으로 인한 방사능 누출, 안전계통상실 등 이러한 사고들이 발생한다면 우리의 풍요로운 삶과 안전을 해하고 나아가 원자력 산업의 발전은 멈출 수 있다.

따라서 핵반응에 의해 열을 생산하여 열교환기인 증기 발생기로 열을 전달하는 원자력 1차배관내 검사는 이러한 사고를 미연에 방지하는데 중점을 둔 과학기술이다. 현재 1차배관내 이물질 유무를 판독하기 위해 음향충격파 LPMS(Loose Part Monitoring System)기술을 이용하여 배관내부에 흐르는 금속 파편들을 찾아내는 검사기술이 적용되고 있다. 이 방식의 단점을 보완하기 위해 본 연구에서는 2극 자계를 이용한 이물질 탐지 장치를 개발하였다. 배관내부의 이물질에서 배관에 수직 방향으로 자계를 인가한 후 배관 둘레에 설치된 Hall sensor로 자계의 변화량을 측정하여 이물질의 크기, 위치, 모양 등을 추정하였다.

본 연구에서 설계하고자 하는 자기장 발생장치의 개요도는 아래 그림1과 같다. 컴퓨터에서 해석 프로그램을 통하여 디자인 한 후 이에 따른 데이터 원자력발전소 1차 배관에서 감지된 신호가 컴퓨터에서 분석 처리되어 그 값을 화면, 프린터 등 주제어실 근무자에게 정보를 알

려준다.

그림 2는 실제 원자력발전소 배관은 27.5인치인 큰 배관 이므로 실험용으로 약 1/10 크기인 8 Cm배관에 적용한 그림이다. 적색부분이 외부의 코일부분이 유도기이고, 내부의 노란 점들이 Hall Sensor이다.

2. 이물질 탐지기의 구조와 원리

그림 2의 실험용에서 중심으로부터 반지름 3.5(Cm) 떨어진 지점에 24개의 전류와 Hall Sensor를 위치시키고, 내부의 이물질을 1번부터 24번 지점까지 By값을 측정한다. 이때 이물질의 투자율과 크기 및 모양을 변화시켜 By값을 측정한다. 이물질의 지름은 1.2, 2.5, 3Cm 세 개를 비교 측정하였다. 코일의 전류는 3.1이며, 한 상에 10[V]의 전압을 인가하였다. Hall Sensor의 번호는 그림 3과 같다. 각도로 보면 0도에서부터 반 시계방향으로 1~24번까지 15°마다 하나씩 위치한다. 전류의 방향도 그림 3에서와 같이 한 면은 들어

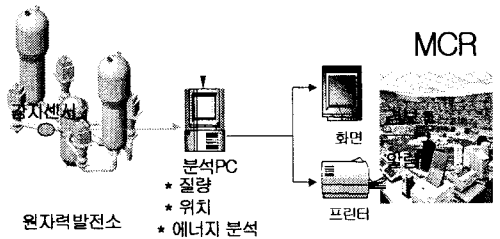


그림 1 이물질 판독의 개요도그림

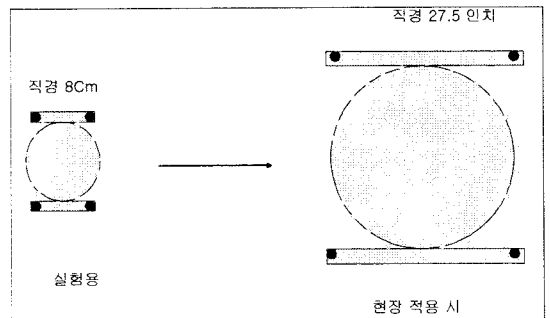


그림2 실제 자기장 발생장치의 실험용과 비교

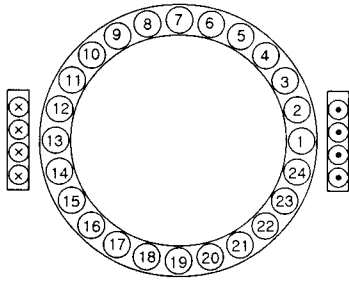


그림 3 Hall Sensor 번호 및 전류방향

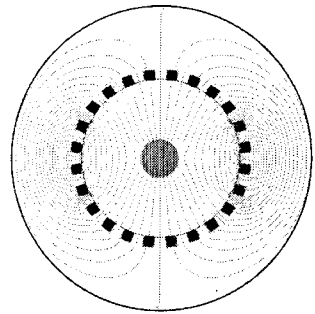


그림 4 자기장 분포

가는 전류, 다른 면은 나오는 전류이다. Hall Sensor는 병렬로 연결하여 5[V]의 전압을 인가하였다. Hall Sensor에서 나오는 신호는 오실로스코프를 통하여 하나씩 측정하였다. Hall Sensor의 Range는 0~1000[G]까지이며, 2.5[V]의 기본 전압에서 0~5[V]까지의 변화량을 측정하고 자계의 세기로 환산하여 사용하였다.

3. 설계와 제작

3.1 설계

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

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

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

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

식 (2)와 같이 자속밀도 B와 자계의 세기 H, 그리고 자화량 M을 독립변수로 주어야 한다. 이것은 자성체의 이방성이나 Hysteresis 현상으로 인하여 자계의 세기 H와 자속밀도 B의 선형 함수적인 관계가 더 이상 성립하지 않기 때문이다.

$$H = \nabla B - v_r M \quad (4)$$

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

$$-(\nabla \cdot \nabla)A = J + v_r \nabla \times M \quad (6)$$

여기서 v_r 는 자화율(Magnetic Susceptibility), v_r 은 비투자율의 역수이며, 이 식에서 자화율 v_r 을 Tensor로 처리함으로써 자기 이방성을, 자화량 M을 변수로 처리함으로써 Hysteresis를 해석할 수 있게 된다. 식 (6)으로부터 유한요소법(Finite Element Method)을 적용하였다

3.2 자기장 분포 해석

그림 4와 같이 코일에 의해서 분포된 자기장에서 원자력 발전소 1차 배관 안에 어떠한 이물질이 있다고 가정했을 때 그 이물질의 투자율은 없을 때와 다르다. 따라서 이물질이 없을 때, 즉 투자율이 1일 때의 B값을 뺄

간색인 홀센서로 검출한 후 이물질이 있을 때의 투자율 변화에 따른 B값의 차이를 검출한다. 이 ΔB 의 값으로 컴퓨터에서 해석 프로그램을 통하여 디자인 한 후 이에 따른 데이터 처리 값을 화면, 프린터 등 주제어실 근무자에게 정보를 알려준다.

3.3 제작

이물질 탐지기는 그림 5과 같이 아주 간단한 구조를 가지고 있다. 자기장을 발생시키는 자기장 발생부와 검출부, 그리고 변환부, 모니터부로 구성이 된다. 자기장 발생부는 특별한 구조로 되어 있는 것이 아니라 자기장의 DC Field를 발생시키기 위해 코일이 감겨져 있고, 이 코일에 의해서 한 방향으로 Static Field가 만들어진다. 자기 효율을 위하여 코어를 이용하여 자기 패스를 만들었다. 코일은 3상의 형태로 와인딩되어 있으며, 코일에 흐를 전류의 크기에 따라서 자기장의 방향과 자기장의 크기를 결정할 수 있다.

철심의 안쪽에 자기장을 측정할 수 있도록 그림 5에서와 같이 자기장 측정부가 위치하고 있다. 자기장 측정부는 24개의 홀센서로 구성되어 있으며, 직경이 80mm이다. 홀센서는 알레그로사의 홀센서를 사용했으며 측정범위는 -500 ~ 500 [G]이고, 분해능은 5mV/G이다. 센서들은 자기장의 Radial 성분을 측정하는 것이 아니라 한 방향의 성분만을 측정하였으며, 이것은 자기장 발생방향과 동일하게 위치시켜 측정한다. 자기장 발생을 위해 입력하는 전원 공급장치와 측정하고자 하는 대상물체가 자기장 발생부의 안쪽에 위치하여 자기장의 변화를 유발하게 되는 것이다. 이렇게 하여 변화된 자기장의 자기장 측정부의 홀센서에서 검출이 되고 이렇게 검출된 24의 신호가 컴퓨터로 전달되고 검출된 24개의 신호를 분석하여 대상물체의 크기, 비 투자율 등을 판별하게 된다.

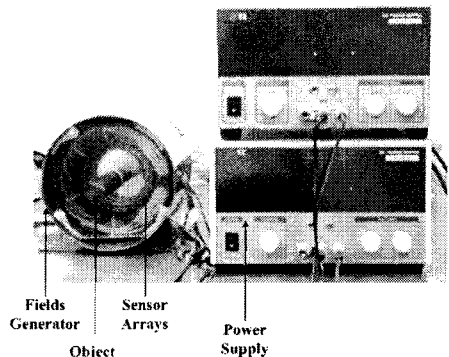


그림5 이물질 탐지기 제작도

4. 결 과

4.1 이물질의 투자율에 따른 By값의 변화

그림 6은 투자율 변화량에 대한 그래프이다. 투자율을 점점 증가시키면서 신호의 변화를 측정하였다. 결과 이물질의 투자율이(relative permeability)이 10정도에서도 감지 신호의 차이가 큼을 알 수 있다. 따라서 비교적 비 투자율이 낮은 경우에도 잘 감지됨을 알 수 있다.

4.2 이물질의 크기에 따른 By값의 변화

이물질이 중심에 있을 때를 기준으로 지름1.2[Cm], 2.5[Cm], 3[Cm]의 변화량을 살펴보았다.

그림7은 이물질의 크기에 따른 ΔB_y 의 변화량의 그래프이다. 실험 값과 계산 값의 차이는 거의 없었으며, 실험 값은 그림 7에서와 같이 약간 좌우대칭이 되지 않았는데 이는 이물질의 위치를 정확하게 중심에 위치하지 못한 오차라 판단 할 수 있다.

이물질의 지름이 크면 클수록 ΔB_y 값도 커진다는 것을 알 수 있다. 따라서 이물질의 크기에 따른 ΔB_y 의 검출에 있어서 실험 값이 계산 값과 거의 일치하며 이물질의 크기를 검출할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 이물질의 크기, 투자율을 비접촉 방식으로 추정하기 위하여 외부에서 자기장을 인가하고, 인가된 자기장에 의해 변화하는 자기장을 홀센서로 검출하여 추정하는 시스템을 연구하였다.

이것을 구성하기 위하여 자기장 발생부, 신호 검출부, 신호 변환부, 모니터링부의 4가지로 구분하여 하드웨어를 구성하였다. 구성된 하드웨어를 통하여 검출된 신호

를 통하여 투자율에 따라서 나타나는 신호 크기의 차이를 확인하고 또한 이물질의 크기에 따른 신호 크기도 확인할 수 있었다.

차후 원자력 발전소 배관 적용 시 자기장 발생장치의 개선과 대상물체 추정 data의 보안을 통하여 보다 정밀한 측정이 가능하게 하여 이물질 검출의 신뢰성을 향상시켜 원자력안전을 더욱더 높여 나갈 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Journal of Communications Technology and Electronics, Vol. 42, No. 4, 1997, pp. 469-474. Translated from Radiotekhnika i Elektronika, Vol. 42, No. 4, 1997, pp. 506-512.
- [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., 1984, vol. 17, no. 9, p. 723.
- [4] Powell, H.M., Barber, D.C., and Freeston, I.L., Clin. Phys. Physiol. Meas., 1987, vol. 8, suppl. A, p. 109.
- [5] Brown, B.H. et al, 1994. Cardiac and respiratory related electrical impedance changes in the human thorax, IEEE Trans. Biomed. Eng. 41(8):729-734.
- [6] Hong, H.D. & M.D. Fox. 1995, Magnetic backprojection imaging of the vascular lumen, IEEE Trans. Biomed. Eng. 42(1): 102-108.
- [7] Muftuler, L.T. & Y.Z. Ider. 1996. Measuring AC magnetic field distribution using MRI. In Proc. 18th Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc, (Amsterdam).
- [8] Srebro, R. 1996. Iterative refinement of the minimum norm solution of the bioelectric inverse problem, IEEE Trans. Biomed. Eng. 43: 547-552.
- [9] Golub, G.H. & C.F Van Loan. 1996. Matrix Computations. Third edition, Johns Hopkins University Press. Baltimore.
- [10] Williamson, S.J. & L. Kaufman. 1981. Biomagnetism topical review, J. Magnetism Magn. Mater, 22: 129-201.

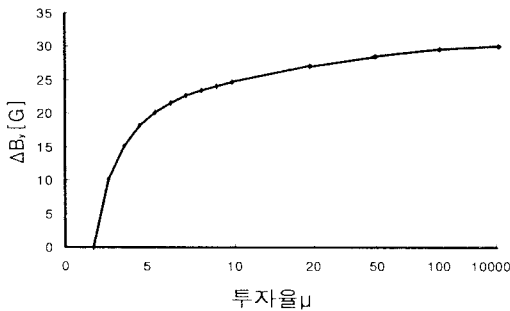


그림 6 투자율에 따른 ΔB_y

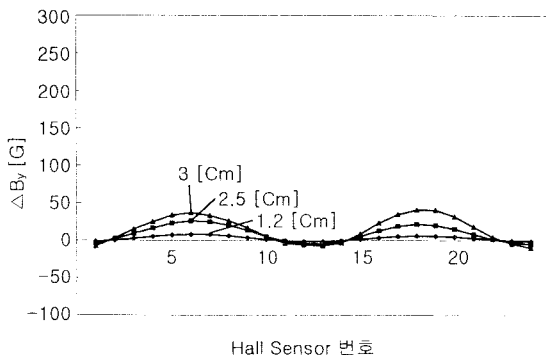


그림 7 이물질 크기에 따른 감지신호 변화