

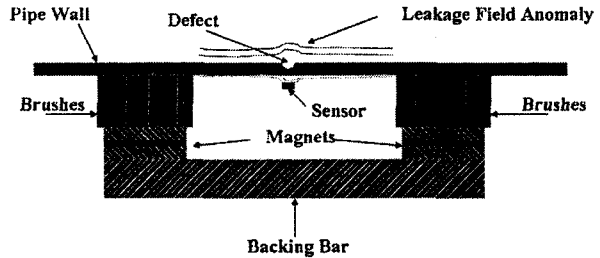
자기누설탐상시스템에서 배관의 두께 변화가 탐상신호에 미치는 영향

서강, 박관수
부산대학교 전기공학과

Effect on detecting signal according to transition of pipeline thickness in Magnetic Flux Leakage system

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

Abstract - 자기누설탐상시스템은 지하에 매설된 가스관에서 발생되는 부식이나 크랙 또는 기계적 변형을 탐지하기 위한 방법으로 비파괴검사 방법의 하나이다. 가스관은 Nd자석에 의해 착자가 되고, 가스관에 부식이 발생했을 경우 가스관의 단면적이 작아지게 되어 자기누설이 발생하며, 발생된 자기누설을 홀센서로 검출하여 부식의 유무, 크기, 모양 등을 판별하게 된다. 지하매설 배관은 배관의 직경은 같으나, 배관의 두께는 다양하게 존재한다. 특히 30inch의 배관에는 배관의 두께가 11.1, 14.3, 17.5 mm 등이 있다. 자기누설탐상시스템은 배관의 단면적 변화를 감지하는 것이기 때문에 배관의 두께에 따라 그 특성이 변화하게 된다. 또한 두께에 따른 결함의 종류에 따라서 검출신호도 변화하게 된다. 따라서 본 논문에서는 배관의 두께 변화에 따른 검출신호를 분석하였으며, 두께 변화의 영향을 적용하여 검출신호를 보정하기 위한 방법을 제시하였다.



<그림 2> MFL의 원리

1. 서 론

NDT(Non Destructive Test)는 대상체에 손상을 가하거나 파괴하지 않고 대상체의 내·외부에 존재하는 불연속 혹은 결함을 탐지하거나 대상체의 물리적인 성질을 판단하는 방법이다. 비파괴 방법 중에서 자기 누설 탐상법은 가스관의 부식 등으로 인한 결함을 검출하는 방법으로 가스관을 요크와 영구자석을 이용하여 자기 시스템으로 만든 후, 가스관을 적절히 포화 시킨 후 결함으로 인해 발생하는 누설자속을 검출하는 방식이다. 이러한 자기누설 탐상방법을 가스관에 적용하여 부식이나 결함의 유·무를 판단하는 시스템이 Magnetic Flux Leakage (MFL PIG)이다. 검출된 실제 신호를 신호에 왜곡을 주는 요인들을 보정하고, 처리하여 defect의 Length, Width, Depth, Surface Angle(SA), Plan Roundness를 판정하여야 한다. Defect를 판정하는데 있어서 Length는 누설되는 자기장의 Axial과 Radial 신호의 폭으로 판정하고, Width는 여러 개의 sensor들의 측정되는 신호의 폭을 판정하고 있다. Defect를 판정하는 데 있어서 가장 중요한 것은 Depth의 판정이다. Depth의 판정은 검출된 신호를 보정하고 처리하여 신호의 Amplitude와 Length에 따른 Width의 비율로 추정하여 10%의 정확도를 가지고 defect를 판정하고 있다. 만일, defect 신호의 왜곡에 영향을 주는 요소들을 고려하여 defect의 depth를 판정을 한다면 10%보다 더 적은 오차로 정확하게 판정되어진다고 생각된다. Defect 신호에 왜곡을 주는 요소로는 크게 기계적 결함과 전자계적 결함으로 나누어진다. 기계적 결함에는 Surface Angle(SA), Roundness, Complex Defect가 있고, 전자계적 결함에는 속도 기전력, 가스관 착자, 자기이방성 등이 있다. 그 외에도 배관의 두께에 따라서 착자의 정도가 달라지게 되므로 그 영향에 의해서 발생하는 결함신호가 변화하게 된다. 따라서 본 논문은 가스관의 두께 변화가 결함신호 미치는 영향에 관하여 해석하고, 분석하여 결함 신호를 보정하는 기술을 개발하고자 한다.

2. 본 론

2.1 MFL PIG의 구조와 원리

<그림 1>는 MFL PIG의 실제 사진이다. 브러시 아래에 magnet가 있으며 왼쪽 브러시 옆에 있는 것이 누설 자속을 검출하는 센서 그룹이다. 한 개의 센서 그룹에는 9개의 홀센서와 1개의 와전류 센서가 들어있다. 총 홀센서는 누설되는 자기장을 측정하고 와전류 센서는 가스관에서 defect의 안과 밖에 구분뿐 아니라 defect를 판정하는데도 사용이 가능하다.

자기누설탐상법이란 검사하고자 하는 대상물체를 외부에서 자기장을 인가하여 착자를 시켜 <그림 2>와 같이 자기회로를 형성한다. 이러한 자기회로에 의해 대상물체는 자화되고 결함이 있을 경우는 대상물체의 일부분에서 단면적이 줄어들게 되어 자기저항이 커지게 되고, 외부로 자기누설이 발생하게 된다. 이렇게 외부로 발생하는 자기누설을 자기센서로 측정하게 되는 것이다.

2.2 자기장에 의한 MFL 신호

센서에 의해 측정되는 누설자속은 Magnetic yoke로부터 발생한 자기분포에 기인한다. 따라서, 3차원 유한요소해석법을 이용하여 결함의 모양과 깊이에 따른 자기 분포를 해석하였다.

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

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

$$B = \mu_0 (H + M) \tag{2}$$

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

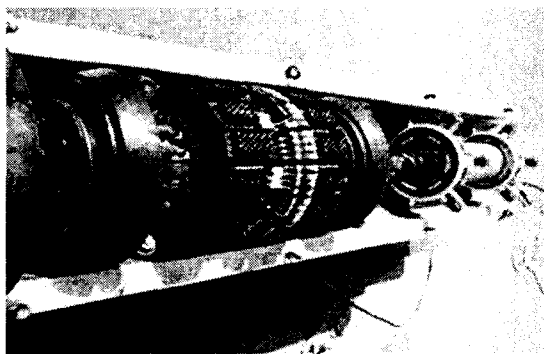
여기서 μ_0 는 진공에서의 투자율(permeability), A는 자기 벡터 포텐셜이다. 히스테리시스 현상이 없는 문제에서 자화량은 자화율 χ 로서

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

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 : χH)과 외부의 자계가 제거되어도 사라지지 않고 자발자화 특성을 갖는 비 가역항(irreversible component : M)의 합으로 나타낼 수 있다.

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

식(5)를 식(2)에 대입하면



<그림 1> MFL PIG

$$H = \nu B - M \quad (6)$$

와 같은 식을 얻는다. 여기서 $\nu = 1/\mu$, $\mu = \mu_0 \mu_r$, $\mu_r = 1 + \chi$ 이다. 이것을 식 (1)에 대입하면 식 (6)의 관계로부터

$$\nabla \times (\nu \nabla \times A) = J + \nabla \times M \quad (7)$$

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

$$-(\nabla \cdot \nu \nabla) A = J + \nabla \times M \quad (8)$$

해석영역을 고정 경계조건과 자연경계조건으로 나누고 고정 경계에서 고정경계조건을 만족시키며 한번 미분 가능한 가중함수 W 를 식 (8)에 곱한 후 전체 영역에서 적분하면 아래와 같은 식을 얻는다.

$$\int_{\Omega} W \{ (\nabla \cdot \nu \nabla) A + J + \nabla \times M \} d\Omega = 0 \quad (9)$$

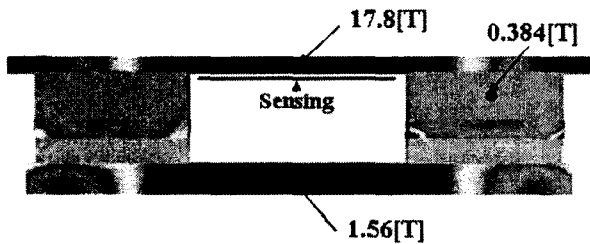
Green 정리와 경계조건으로부터

$$\int_{\Omega} \{ -\nu \nabla W \nabla \cdot A + W J - \nabla W \times M \} d\Omega = 0 \quad (10)$$

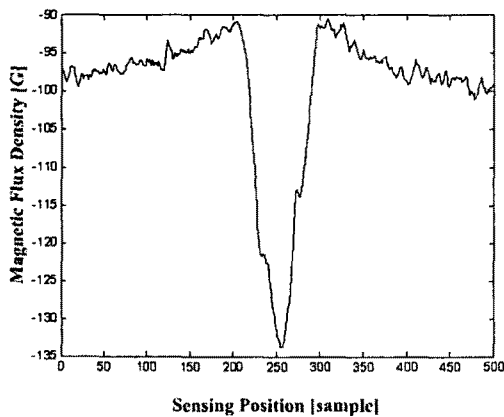
를 얻는다. 해석영역을 유한개의 요소로 나누고 요소내의 자기 벡터 포텐셜을 구할 수 있다. MFL을 이용한 NDT시스템은 자기포화 곡선을 이용하는 비선형 문제이므로 오차가 일정 값 이하로 될 때까지 식 (6)을 유한요소법으로 계속 반복 계산하여야 한다.

2.3 두께 변화에 따른 자기장의 분포

배관의 두께가 변화하게 되면, 자기회로에서 배관의 단면적이 변화하게 되어 배관의 착자 정도가 변화하게 된다. <그림 3>은 배관의 두께가 17.5 mm일때의 MFL의 자기장의 분포를 나타낸 것이고, <그림 4>는 배관의 두께가 11.1 mm일때의 MFL의 자기장의 분포를 나타낸 것으로 배관과 Back-Yoke의 착자정도가 다르다. 이것은 배관의 두께가 감소하면서 단면적이 감소하여 되어 착자정도가 커지고, 자기누설이 커지는 것이다. 그러나 같은 결함일 경우에 자기누설에 의해 발생하는 Global Amplitude는 거의 일치함을 확인할 수 있다.

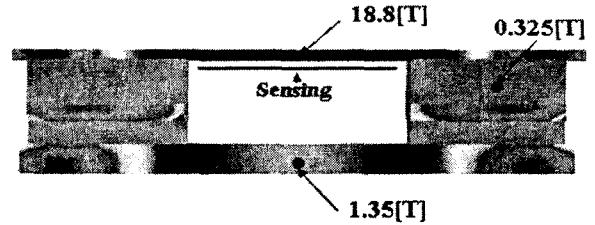


(a) 자기장 분포 해석

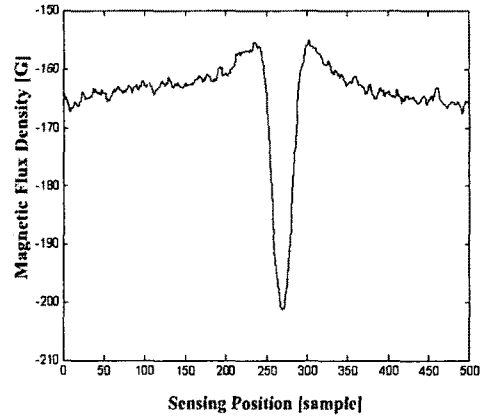


(b) 검출신호 (Axial Component)

<그림 3> 배관두께 17.5mm에서 결함 검출신호



(a) 자기장 분포 해석



(b) 검출신호 (Axial Component)

<그림 4> 배관두께 11.1mm에서의 결함 검출신호

3. 결 론

본 논문에서는 가스배관의 두께 변화에 따른 결함 검출 신호의 영향을 확인하였다. 배관의 두께 변화는 단면적이 변화하는 것이고, 변화된 단면적에 의해서 배관의 착자 정도가 변화하여 발생하는 자기누설도 변화하게 된다. 그러나 배관의 두께와는 상관없이 결함이 일치할 경우 결함신호의 레벨은 달라지지만 Global Amplitude는 거의 일치하였다. 이러한 결과를 바탕으로 가스배관의 두께를 판정할 수 있으며, 배관두께가 일정한 배관에서의 결함 크기 추정 알고리즘으로 다른 두께의 배관에서의 결함을 추정이 가능할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ruiz, N. Vera, P. Curpian, J. Martinez, D. Mata, "Matching pursuit-based signal processing method to improve ultrasonic flaw detection in NDT applications", Electronics Letters, vol.39, issue 4, pp.413-414, Feb. 2003
- [2] Dyck, D.N. Gilbert, G. Forghani, B. Webb, J.P. "An NDT pulse shape study with TEAM problem 27", Magnetics, IEEE Trans. on, vol.40, issue 2, pp.1406-1409, March 2004
- [3] Clauzon, T. Thollon, F. Nicolas, A. "Flaws characterization with pulsed eddy currents NDT", Magnetics, IEEE Trans. on, vol.35, issue 3, pp.1873-1876, May 1999
- [4] Hyang-Beom Lee, Dong-Hun Kim, "Impedance calculation for a plate with crack in eddy current NDT using 3D indirect BIEM", Magnetics, IEEE Trans. on, vol.36, issue 5, pp.3131-3133, Sept 2000
- [5] Chen, W.; Zhang, G.S.; Sun, Y.S.; Chen, M.J, "Integrated third kind boundary condition for 2D eddy current problems and its application in NDT", Magnetics, IEEE Trans. on, vol.29, issue 23 pp.1812-1815, Mar. 199
- [6] Hyang-Beom Lee, Dong-Hun Kim, "Numerical analysis of eddy current NDT for a tube with cracks using 3D indirect BIEM", Magnetics, IEEE Trans. on, vol.35, issue 5, pp.3724-3726, Sept. 1999
- [7] Vasic, D. Bilas, V. Ambrus, D. "Pulsed eddy-current nondestructive testing of ferromagnetic tubes", Instrumentation and Measurement, IEEE Trans. on, Vol.53, Issue 4, pp.1289-1294, Aug 2004
- [8] Ida, N. Lord, W, "A finite element model for three-dimensional Eddy current NDT phenomena", Magnetics, IEEE Trans. on, Vol.21, Issue 6, pp.2635-2643, Nov. 1985