

자기누설 탐상시스템에서 가스관의 착자에 의한 탐상신호 왜곡 및 보상에 관한 연구

박상호*, 서강**, 정현원**, 박관수**, 한성진***
 *한국해양대학교, **부산대학교, ***동아대학교

The Study on the Magneization of Gas Pipelines according to Distortion and Compensation of Measured Signals in MFL System

S. H. Park*, K. Seo**, H. W. Jung**, G. S. Park**, S. J. Han***
 *Korea Maritime Univ. **Pusan Univ. ***Dong A Univ.

Abstract - MFL PIG는 빠른 속도로 주행하면서 MFL 신호를 측정하여 기록하게 된다. PIG가 주행함에 따라 MFL 신호를 왜곡시키는데 가스관에 인가되는 강한 자기장으로 인하여 가스관이 착자되어 왜곡이 발생한다. 가스관의 착자는 종방향 착자와 횡방향 착자로 나눌수 있으며, 횡방향 착자는 검출신호를 증가시키거나 감소시키는 방향으로 왜곡을 발생시키고, 종방향 착자는 인가되는 자기장과 수직이 되므로 검출신호를 크게 왜곡시킨다. 따라서 검출신호를 보정하여 실제 결함에 의한 신호를 검출하여야 한다. 본 연구에서는 가스관의 착자에 의한 영향을 분석하고 신호보정에 관하여 연구하였다.

여기서 μ, A, J, σ, v, B 는 투자율, 자기 벡터포텐셜, 전류밀도, 도전율, 속도, 자속밀도이다. 해석영역을 고정 경계조건과 자연경계조건으로 나누고 고정 경계에서 고정경계조건을 만족시키며 한번 미분 가능한 가중함수 W 를 식 (1)에 곱한후 전체 영역에서 적분하면 아래와 같은 식을 얻는다.

$$\int_{\Omega} W(\nabla \cdot \nu \nabla) A + J + \nu, \nabla \times M \} d\Omega = 0 \quad (2)$$

Green 정리의 경계조건으로부터

$$\int_{\Omega} \{ -\nu \nabla W \nabla \cdot A + W J - \nu, \nabla W \times M \} d\Omega = 0 \quad (3)$$

을 얻는다.

$$[K_v][A] = [f] + [f_m] \quad (4)$$

해석영역을 유한개의 요소로 나누고 이를 식 (4)처럼 행렬식으로 나타낼 수 있다. 이 행렬식에서 해를 구함으로써 요소내의 자기 벡터 포텐셜을 구할수 있다. MFL을 이용한 NDT시스템은 자기포화 극선을 이용하는 비선형 문제이므로 오차가 일정값 이하로 될 때까지 유한요소법으로 계속 반복 계산하여야 한다.

1. 서 론

자기 누설 탐상(MFL: magnetic flux leakage) 방법은 가스관을 요크와 영구자석을 이용하여 자기시스템으로 만들고 이 가스관을 적절히 포화시킨 후 결함으로 인해 발생하는 누설자속을 홀센서를 이용하여 검출한다[1-3]. 그림 1은 MFL 시스템의 개요도로써 결함이 있을 때 누설자속을 나타내었다. MFL PIG는 가스관의 결함이 있을 경우 발생하는 누설자속을 홀센서로 측정하여 검출신호의 크기와 폭을 가지고, 결함의 크기, 깊이를 알 수 있다. 그러나 실제 가스관을 통과하여 검출된 신호는 가스관의 착자에 의한 영향등에 의하여 왜곡등이 발생하게 된다. 가스관의 착자에 의한 영향을 해석하여 이를 보정하여야만 실제 결함을 검출할 수 있다

본 논문에서는 PIG magnet에 의하여 가스관이 착자되어 가스관의 종방향의 착자와 횡방향의 착자가 발생하며, 이로 인하여 발생하는 자계 왜곡 현상에 대하여 해석하였다.

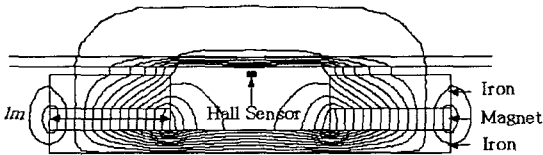


그림 1 MFL type의 비파괴검사 시스템의 개요도

2. 본 론

2. 유한요소 정식화

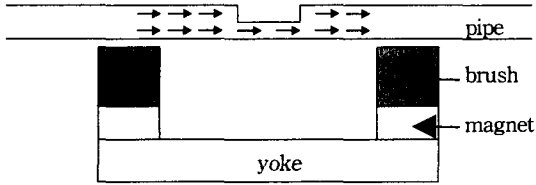
Maxwell 방정식으로부터 와전류와 착자를 고려하면 식(1)을 구할수 있다.

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times A - H_c \right) = J - \sigma \nu \times \nabla \times A \quad (1)$$

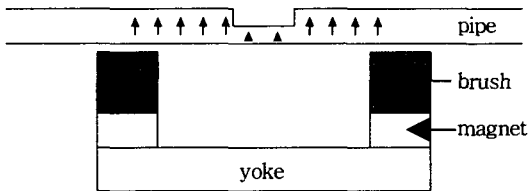
2.2 착자에 의한 NDT신호와 왜곡

MFL PIG는 가스관의 부식등의 결함을 검출하는 방법의 일종으로 가스관을 요크와 영구자석을 구성하여 적절히 포화시킨 후 결함으로 인해 발생하는 누설 자속을 홀센서를 이용하여 검출한다. 결함의 길이가 증가하면 신호의 폭이 증가하고, 결함의 깊이가 깊어지면 신호의 크기가 증가한다. 이 결과를 신호 처리하여 이미지화 하면 결함의 모양과 깊이 정도를 나타낼 수 있다. 그러나 가스관의 착자에 따른 신호의 왜곡이 발생하게 된다. MFL PIG의 주행시 PIG내의 영구자석에 의한 잔류자화로 인하여 가스관은 착자가 된다. PIG 주행후의 가스관은 잔류자화로 인하여 용접시 불꽃이 튀고, 가스관 근처의 모든 자성체가 영향을 받는등 큰 잔류자화로 착자가 되어 있다. 본 연구에서는 이러한 착자에 대한 영향을 분석하였다. 가스관은 30[inch] 배관이며 결함은 3t×3t×0.5t를 기본으로 하였으며 t는 가스관의 두께로 17.5[mm]이다. 가스관의 착자는 횡방향 착자와 종방향 착자로 나눌수 있으며, 그림 2(a)는 횡방향 착자의 개요도이며, 그림 2(b)는 종방향 착자의 개요도이다. 그림 3(a)에서 횡방향 착자에 의한 flux line이며 그림 3(b)는 종방향 착자에 의한 flux line이다. 그림 3의 화살표는 착자방향을 나타낸다. 그림 4는 횡방향 착자에 의한 영향이다. 횡방향 착자에 의한 왜곡은 axial 방향과 radial 방향 모두 신호를 증가시키는 왜곡이 발생한다. 이 이유는 횡방향으로의 착자는 인가되는 자기장의 방향과 같으므로 검출신호를

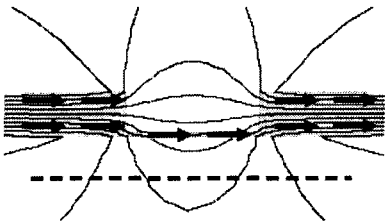
증가시키게 됩니다. 그림 5는 종방향 착자에 의한 영향이다. 종방향 착자에 의한 왜곡은 axial 방향과 radial 방향 모두 신호를 왜곡시키는 형태로 나타난다. 이것은 인가되는 자기장의 방향과 수직이 되므로 검출신호를 왜곡시키게 됩니다.



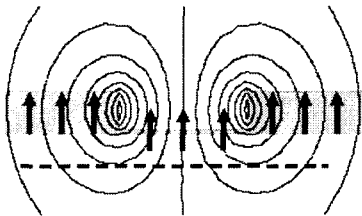
(a) 횡방향 착자의 개요도



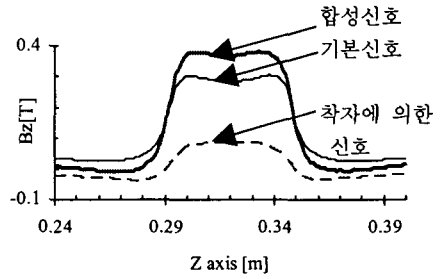
(b) 종방향 착자의 개요도
그림 2 착자의 개요도



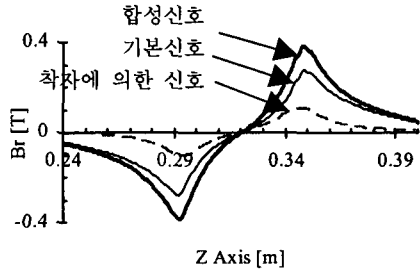
(a) 횡방향 착자에 의한 flux line



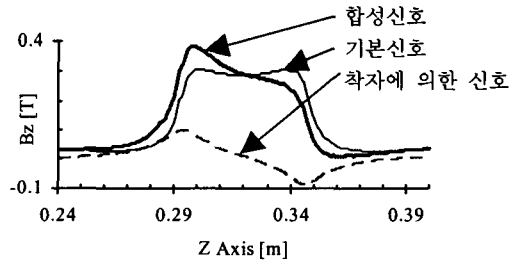
(b) 종방향 착자에 의한 flux line
그림 3 착자에 의한 flux line



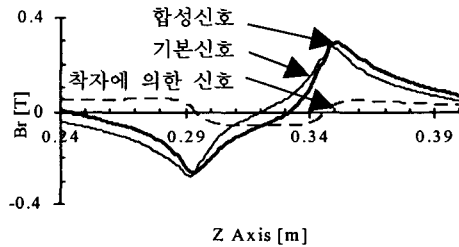
(a) Axial 방향의 MFL 신호



(b) Radial 방향의 MFL 신호
그림 4 횡방향 착자에 의한 영향



(a) Axial 방향의 MFL 신호

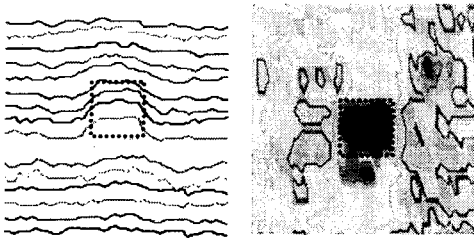


(b) Radial 방향의 MFL 신호
그림 5 종방향 착자에 의한 영향

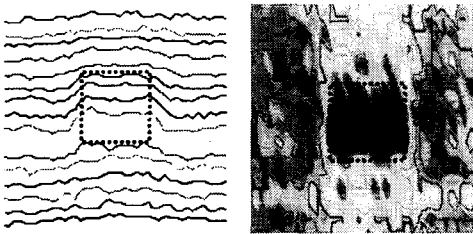
2.3 표준결합의 실측 데이터

표준결합이 있는 가스관에서 측정된 신호를 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 그림 6은 Axial 방향의 신호파형과 이미지 처리한 것이며, 그림 7은 Radial 방향의 신호파형과 이미지 처리를 한 것이다. 그림 6과 그림 7의 (a)는 $2t \times 2t \times 0.3t$ 결합이며 (b)는 $3t \times 3t \times 0.2t$ 의 결합이다. 그림 6과 그림 7의 왼쪽 그림이 신호파형이며 오른쪽 그림이 이것을 이미지 처리한 것이다. 이미지 처리를 하게 되면

실제 이미지를 검출할 수 있다.

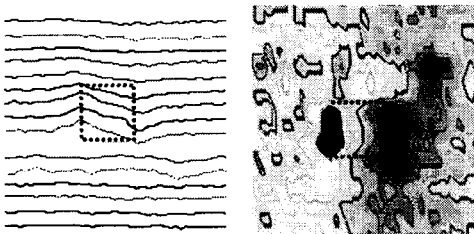


(a) 결함 크기 = $2t \times 2t \times 0.3t$

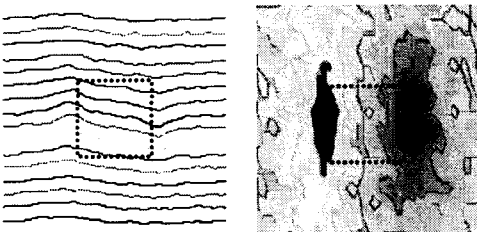


(b) 결함 크기 = $3t \times 3t \times 0.2t$

그림 6. Axial 방향의 결함신호와 이미지처리 결과



(a) 결함 크기 = $2t \times 2t \times 0.3t$



(b) 결함 크기 = $3t \times 3t \times 0.2t$

그림 7. Radial 방향의 결함신호와 이미지처리 결과

3. 결 론

본 논문은 지하매설 가스관의 착자가 검출 신호에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. 비선형 3차원 유한요소법을 사용하여, 가스관의 결함이 있을 경우 결함의 크기, 깊이에 따른 결함 신호를 해석하였다. 그러나 PIG 주행시 가스관을 통과한 신호는 가스관의 착자에 의한 영향에 의하여 왜곡이 발생하게 된다. 본 연구의 결과 MFL PIG의 주행시 PIG내의 영구 자석으로 인한 잔류자화로 인하여 가스관은 착자가 된다. 이때 가스관의 횡방향 착

자에 의한 영향은 인가되는 자기장의 방향과 같으므로 검출 신호의 크기를 증가시키는 방향으로 작용하고, 종방향 착자의 경우는 신호를 인가되는 자기장과 수직 방향이므로 검출 신호 자체를 왜곡시킨다.

본 논문에서 얻은 결과를 이용하면 PIG의 주행에 따른 속도기전력에 의한 와전류 및 배관 착자에 의한 감지신호의 왜곡정도를 보상할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jim Cordell, C. Eng, M. I. Mech. E,F.Inst.Pet and Hershel Vanzant, 1999, "In-line Inspection pigging", All about pigging, chapter 8, pp. 1-28.
- [2] H. Haines et al., "Advanced MFL signal analysis aids pipe corrosion detection", Pipeline & Gas Industry, pp. 49-63, March 1999.
- [3] K. K. Tandon, "MFL Tool Hardware for Pipeline Inspection", Materials Selection & Design, pp. 75-79, February 1997.