

자기 누설 탐상 시스템에서 용접부위에서의 부식 판정에 관한 연구

정 현원, 서 강, 박 관수
부산대학교 전자전기컴퓨터정보공학부

Research of corrosion decision on a region weld in MFL system

Hyun Won JEONG, Kang SEO, Gwan Soo PARK
Department of Electrical and Computer Engineering, ~usan National University

Abstract - 자기 누설 탐상(Magnetic Flux Leakage : MFL) 시스템은 비파괴 검사의 한 방법으로 검사 대상 물체를 적절히 포화시켜 부식이나 결합 부위에서의 누설 자속을 측정하여 결합의 유·무와 크기를 판단하는 방법이다. 대부분 가스관과 가스관을 연결하는 방법으로 용접을 가장 많이 사용하고 있으며 용접부위에서 부식이 가장 많이 발생하고 있다. 용접으로 인해 발생하는 자기 누설신호는 부식신호에 많은 영향을 미친다. 따라서 본 연구는 용접신호가 부식 신호에 미치는 영향을 분석하기 위해 가스관의 용접과 부식과의 거리에 따른 자기누설을 해석하고, 분석하였다. 또한 용접에 의해 왜곡된 부식신호를 보정하고, 판정을 위한 방법을 제시하였다.

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 연구자석을 이용하여 자기 시스템으로 만든 후, 가스관을 적절히 포화 시킨 후 결합으로 인해 발생하는 누설자속을 검출하는 방식이다. 이러한 자기누설 탐상방법을 가스관에 적용하여 부식이나 결합의 유·무를 판단하는 시스템이 Magnetic Flux Leakage Pipe In Gas (MFL PIG)이다. 대부분의 가스공급 업체에서는 가스관과 가스관을 연결하는 방법으로 용접이 가장 많이 사용되어지고 있다. 이러한 용접으로 인해 가스관의 코팅이 벗겨지게 되고, 이 부위에 부식이 가장 많이 발생하고 있다. 용접으로 인해 발생하는 자기누설은 부식에 의한 자기누설보다 매우 크므로 신호 또한 용접에 의해서 매우 크게 나타난다. 따라서 본 연구는 가스관의 용접과 부식과의 간격에 따른 자기누설을 해석하였고, 용접신호가 부식신호에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 용접에 의해 왜곡된 부식신호를 보정하고, 판정을 위한 방법을 제시하고자 하였다.

2. 자기누설 탐상 시스템의 원리와 구조

2.1 자기누설 탐상 시스템의 원리와 구조

자기누설탐상시스템을 가스관에 적용한 것으로 가스관을 포화시키기 위한 자석과 자기효율을 높이기 위한 백요크와 가스관의 내벽에 밀착하여 PIG가 진행해야함으로 브러쉬를 이용하여 자기회로를 형성하였다. 이러한 자기회로에 의해 대상물체는 자화되고 결합이 있을 경우는 대상물체의 일부분에서 단면적이 줄어들게 되어 자기저항이 커지게 되고, 외부로 자기누설이 발생하게 된다. 이렇게 외부로 발생하는 자기누설을 자기센서로 측정하게 되는 것이다.

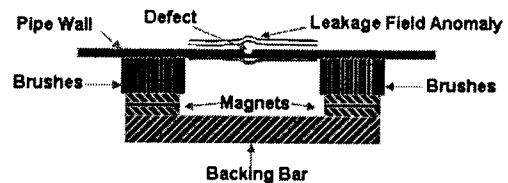


Fig. 1 Principle and Structure of MFL PIG

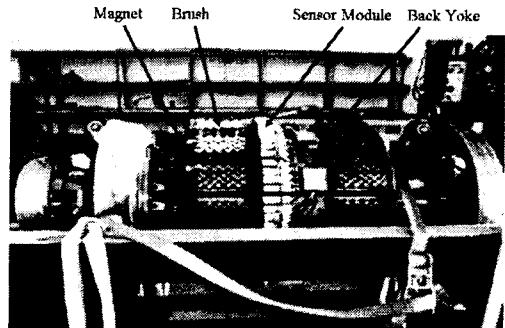


Fig. 2 MFL PIG

2.2 MFL PIG

Fig. 2는 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 밖 구분뿐 아니라 defect를 판정하는데도 사용이 가능하다.

3. 자기장에 의한 MFL 신호

3.1 지배방정식

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

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

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

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

여기서 μ_0 는 진공에서의 투자율(permeability), A 는 자기벡터 포텐셜이다. 히스테리시스 현상이 없는 문제에서

자화량은 자화율 χ 로서

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

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.

$$M = \chi H + M \quad (5)$$

식(5)를 식(2)에 대입하면

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

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 관계로 부터

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

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

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

3.2 유한요소 정식화

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

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

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.

4. Weld와 Defect의 간격에 따른 해석

4.1 해석한 Weld와 Defect의 Size

Fig. 3은 가스관에서 weld와 defect의 형태를 보여주고 있다. Table 1은 weld의 size와 weld와 defect의 간격을 보여주고 있다. defect의 size는 표준인 $3t \times 3t \times 0.1t$ 를 사용하였다. 여기서 t 는 가스관의 두께로 보편적인 가스관의 두께인 17.5mm를 사용하였다. Weld와 Defect의 간격은 defect length(깊이)의 0.4배, 0.8배, 1.2배... 등등 weld와 defect의 간격을 0.4배씩 증가 시키면서 해석을 하였다.

4.2 Defect부위의 신호

Defect부위의 신호는 Fig. 3에서 Defect만 있는 경우로

써 결합부분의 단면적이 감소하여 자속밀도가 증가하게 된다. 이 경우 결합이 있는 부분의 가스관은 자기 포화되어 누설자속이 발생하게 된다. 자기 누설에 의해 자기 센서에서 검출되는 신호는 결합이 3차원적 결합이므로 Axial, Radial, Circumferential의 세 방향으로 발생하게 되며, 주로 Axial과 Radial의 두 가지 신호로 판단하며, Fig. 4에 가스관에 결합이 발생했을 때의 신호를 나타내었다.

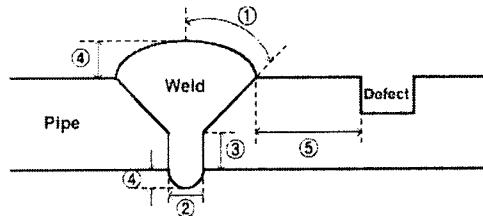
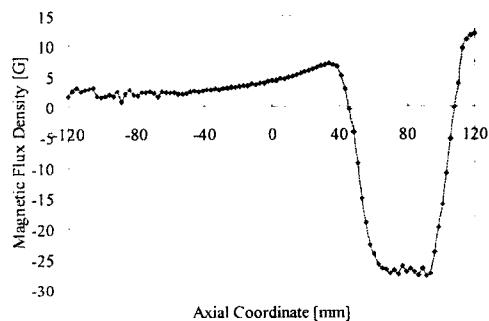


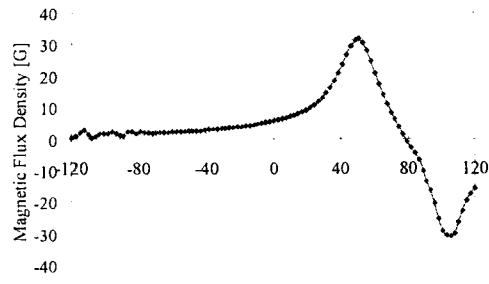
Fig. 3 Shape of Weld and Defect

Table 1 Specification of Weld

	명칭	Size	
1	베벨각도	30.7°	
2	루트각도	3.75mm	
3	루트면	2mm	
4	덧살크기	루트덧살 외연덧살	1.8mm 3mm
5	Weld와 Defect의 간격	0.4, 0.8, 1.6, 2, 2.4, 2.6, 2.8, 3배	



(a) Axial Component of MFL Signal

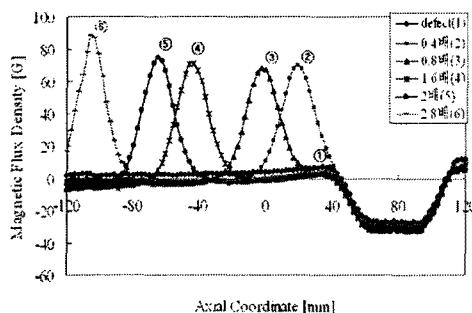


(b) Radial Component of MFL Signal

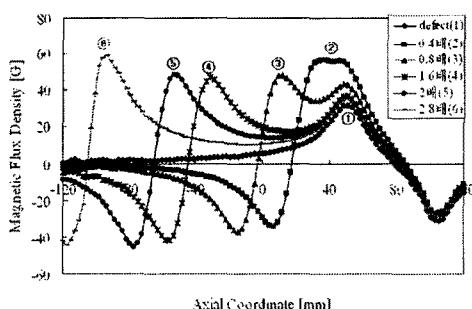
Fig. 4 MFL Signal of Defect

4.3 Weld과 Defect 신호의 왜곡

Fig. 5는 Weld와 Defect의 간격에 따른 MFL Signal이 왜곡되는 것을 보여 주고 있다. Fig. 6, 7은 Radial Signal의 최대값과 폭을 보여주고 있다. 용접에 의한 신호는 가스관과 가스관 사이에 투자율이 아주 낮은 물질로 밀봉하여 연결하거나 공극으로 구성이 되는 형태로 Defect Signal과 유사한 형태의 신호이나 결과에서 알 수 있듯이 그 크기에 있어 매우 큰 것을 확인할 수 있다. Weld와 defect의 간격이 defect length의 1.6배 보다 작은 경우는 신호의 크기와 폭이 증가하는 것으로 용접 신호가 부식신호에 많은 영향을 주는 것을 알 수 있다. Fig. 8은 용접에 의해 왜곡된 부식신호를 보정하고, 판정을 위한 방법을 제시하기 위해 Defect signal과 Distortion signal을 비교한 것이다. Defect판정은 순수 defect신호로 defect의 Length, Width, Depth를 판정하고 있다. 왜곡된 부식신호를 순수 defect신호로 만들기 위해서 그림과 같이 증가되어진 값들을 보정하여 defect를 판정해야 할 것이다.



(a) Axial Component of MFL Signal



(b) Radial Component of MFL Signal
Fig. 5 MFL Signal according to distance of weld between defect

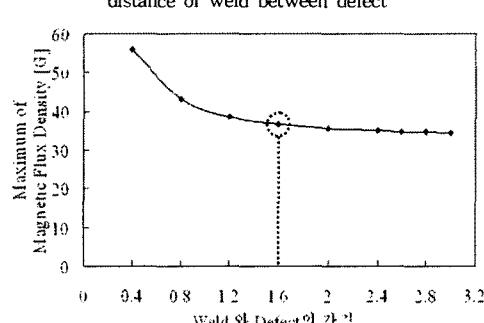


Fig. 6 Maximum of Signal according to distance of weld between defect

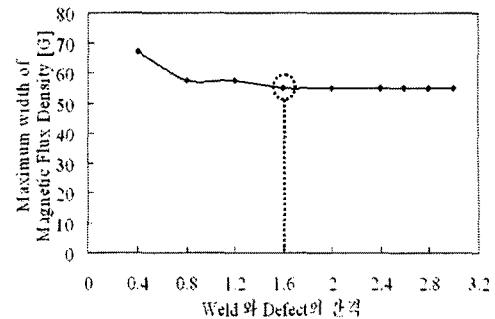


Fig. 7 Maximum Width of Signal according to distance of weld between defect

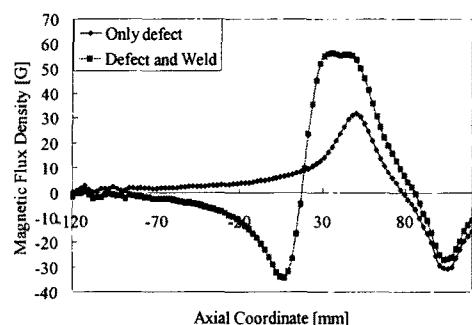


Fig. 8 Defect Signal and Distortion Signal Comparison

5. 결 론

용접신호가 부식신호에 미치는 영향을 분석하기 위해 용접과 부식의 간격에 따른 영향을 해석하였다. 용접과 부식의 간격이 1.6배 이하일 때 부식의 신호에 영향을 주는 것을 알 수 있었고, 부식신호의 최대값과 폭이 커지는 것을 알 수 있었다. 앞으로 실제 MFL Signal을 취득하여 해석 결과와 비교하고, 본 연구에서 수행한 결과를 적용하여 부식신호를 보정하고 판정하여야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Crouch A. E., "In-Line Inspection of Natural Gas Pipelines", Gas Research Institute Topical Report GRI -91/0365, pp. 12~16, 1993.
- [2] G.S.Park, S.Y.Hahn, K.S.Lee, H.K.Jung, 'Implementation of Hysteresis Characteristics using Preisach Model with M-B Variables,' IEEE Trans. Magn., vol. 29 , no. 2, pp. 1542~1545, March 1993.
- [3] Jim Cordell, C.Eng, M.I.Mech.E, F.Inst.Pet and Hershel Vanzant, "In-line inspection pigging", All about pigging, chapter 8, pp. 1~28, 1999.
- [4] J. Y. Lee, M. Afzal, S. Udupa, L. Udupa, P. Massopust, " Hierarchical Rule Based Classification of MFL Signals Obtained from Natural Gas Pipeline Inspection", Neural Networks, 2000. IJCNN 2000, Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Volume 5, 24~27 July 2000 Page(s):71 ~ 76 vol.5
- [5] G.S.Park, P.W.Jang, Y.W.Rho, "Optimum Design of a Non-Destructive Testing System to Maximize Magnetic Flux Leakage", Journal of Magnetics , vol.6, no. 1, pp. 31~35, March 2001.