

자기누설 탐상 시스템의 성능 향상에 관한 연구

김덕건, 서강, 박관수
부산대학교 전자전기공학과

The performance improvement of magnetic flux leakage system

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

Abstract - 자기누설 탐상(Magnetic Flux Leakage) 시스템은 비파괴 검사의 일종으로 대상 물체를 자화시켜 결합 및 부식 등을 탐지하는 시스템이다. 지하 가스배관의 결합 판정에 있어 기존의 신호처리 기법을 통한 노이즈 제거와 검출 성능 향상을 한계가 있다. 이는 후처리 단계로써 각종 노이즈를 포함하고 있기 때문이다. 따라서 검출 신호 크기의 증가를 통한 결합 검출 성능을 향상시키기 위해 본 논문에서는 브러쉬와 백요크의 크기 및 형상 변화에 따른 자기장 분포 해석을 하고 시스템 제작 및 실험을 통해 자기누설 탐상 시스템의 성능 향상을 검증하였다.

1. 서 론

비파괴 검사(Nondestructive Inspection)는 시험대상 물을 손상, 분리, 파괴시키지 않고 원형그대로 유지하면서 대상물의 표면 내부의 결합 유무와 그 상태 또는 대상물의 성질, 내부구조 등을 검사하는 방법이다. 비파괴 검사 일종인 자기누설 탐상법은, 자성체인 대상 물체를 자화시켜 결합부위에서 자기 누설량을 측정함으로써 구조물의 결합 및 부식 등을 탐지하는 시스템으로 현재 지하나 수중에 매설되어 있는 가스배관의 결합검사에 응용되고 있다. 가스배관의 결합을 탐지하도록 개발된 PIG(Pipe In Gas)는 자기센서를 탐지하여 배관 속을 주행하며 결합 신호를 취득하는데 각종 노이즈로 인한 신호의 왜곡을 보정해주어야 한다. 취득한 신호는 적응신호처리, 뉴럴 네트워크 등의 신호처리 기법을 통해 보정하지만 이는 후처리 단계로써 모든 노이즈를 포함하고 있어 결합 판정의 정확성을 향상시키기에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 검출 신호 크기의 증가를 통한 결합 검출 성능을 향상시키기 위해 MFL PIG의 브러쉬와 백요크의 크기 및 형상 변화에 따른 자기장 분포 해석을 하고 시스템 제작 및 실험을 통해 자기누설 탐상 시스템의 성능향상을 검증하였다.

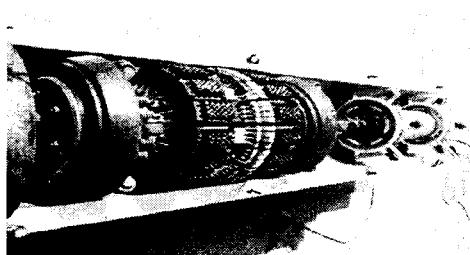


그림 1 기존의 MFL PIG

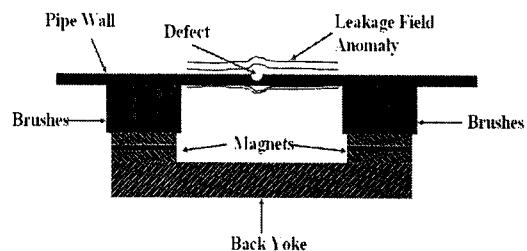


그림 2 MFL의 원리

2. 본 론

2.1 자기누설 탐상 시스템의 구조와 원리

MFL PIG 시스템의 구조는 그림 1에서 앞부분의 가스관 내벽에 밀착시키는 브러쉬와 중앙의 누설 자속을 검출하는 홀센서와 결합의 안과 밖을 구분하는 역할을 하는 와전류 센서로 이루어져 있다. 시스템 내부에는 강자성체인 백요크를 설치하고 그 위에 영구자석을 배치함으로써 자기효율을 높이도록 구성되어 있다.

자기누설 탐상 시스템은 영구자석 등을 이용해 대상 물체를 자화시켜 그림 2와 같이 하나의 자기회로를 형성한다. 결합 부위에서 단면적이 줄어들어 내부 자기저항이 증가하게 되고 자속이 대상 물체를 다 통과하지 못하고 외부로 흐르게 된다. 외부로 누설 자속량이 증가함에 따라 자기 센서를 이용해 결합의 유무 및 크기 등을 판정하게 된다.

2.2 자기누설 탐상법의 누설 자기장

자기누설 탐상 시스템은 결합에 의한 자기저항의 변화와 자기 분포를 해석하면 자기센서에서 측정되는 신호를 해석할 수 있다. 따라서 3차원 유한요소해석법을 이용하여 자기누설 탐상 시스템의 탐상 신호를 해석하였다.

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 전공에서의 투자율(permeability), A 는 자기 벡터 포텐셜이다. 히스테리시스 현상이 없는 문제에서 자화량은 자화율 X 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 $\nu = 1/\mu$, $\mu = \mu_0\mu_r$, $\mu_r = 1+x$ 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.

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

2.3 성능향상을 위한 브러쉬 설계

자기누설 탐상 시스템에서 자기효율을 향상시키기 위해서는 그림 3과 같이 브러쉬를 이용하여 MFL PIG를 자성체인 가스배관에 밀착시키고, 자기 백요크를 이용하여 그 위에 영구자석을 위치시킨다. 브러쉬와 백요크의 크기 및 형태 변화를 통해서 자기 효율에 미치는 영향을 해석하였다.

2.3.1 브러쉬 구조 및 해석

표 1은 해석 모델의 브러쉬와 백요크의 크기 및 형태를 나타내었다. Type I은 이전의 MFL PIG 모델로서 그림 4 (a)과 같이 여러 개의 가는 철심 묶음으로 이루어져 있다. Type II는 Type I보다 자기효율을 보다 더 높이기 위해 백요크의 크기를 키웠으며, 구조상 개수를 16개에서 8개로 줄였으며 그림 4 (b)와 같다. Type III는 그림 4(c)와 같이 Type II에서 가는 판 묶음 형태로 브러쉬만 바꾼 구조이다. 그림 5는 Type III인 새로운 MFL PIG의 전체 모습이다.

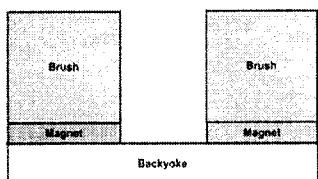
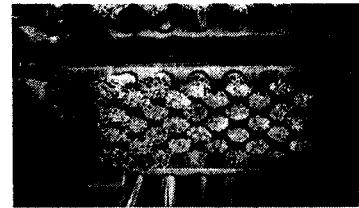


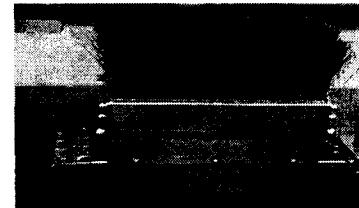
그림 3 MFL PIG의 착자 시스템

표 1 브러쉬 및 백요크 형태

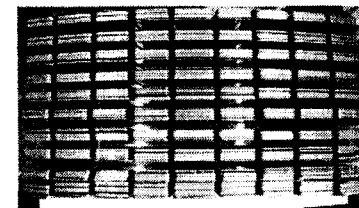
	Type I	Type II	Type III
백요크 크기	640*85*40	730*161.3*52.4	730*161.3*52.4
백요크 갯수	16	8	8
브러쉬 형태	가는 철심묶음	가는 철심묶음	가는 판 묶음



(a) Type I 구조



(b) Type II 구조



(c) Type III 구조
그림 4 Type 별 브러쉬 구조

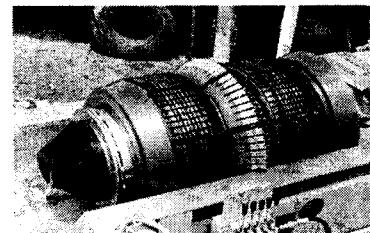


그림 5 새로운 MFL PIG(Type III)

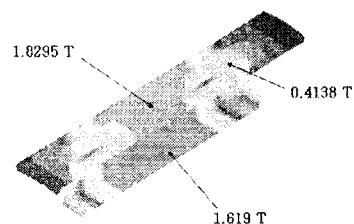


그림 6 Type I 자기장 분포

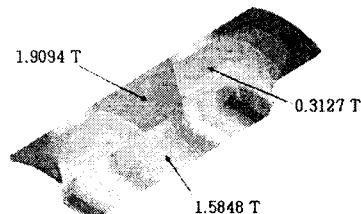
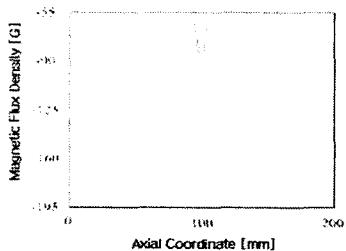
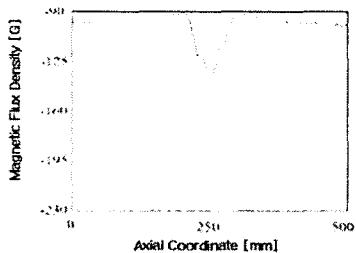


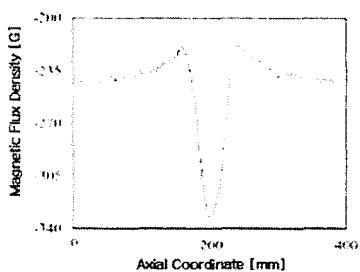
그림 7 Type III 자기장 분포



(a) Type I Axial component signal



(b) Type II Axial component signal



(c) Type III Axial component signal

그림 8 Type 별 결합에서 검출 신호(Axial성분)

표 3 Type 별 결합 신호 크기의 비교 단위:[G]

		Type I	Type II	Type III
17.5t	Axial	26.42	43.9	115.0691
	Radial	51.00	63.17	167.6445

세 가지 Type의 브러쉬 해석은 MFL PIG의 착자시스템 부분만 간략화 시켰다. 간략화하기 위해 브러쉬의 점적률과 투사율을 조절하여 모델링하였다. 그림 6은 Type I을 모델링한 것으로 가스배관의 착자 레벨이 1.8295[T]이고 백요크는 1.619[T]이고 그림 7은 Type III는 가스배관 착자 레벨이 1.9094[T]와 백요크는 1.5848[T]이다. 이로써 Type I 모델에 비해 Type III 모델이 약 0.08[T] 높은 착자 성능을 보여준다.

2.3.3 브러쉬 형태에 따른 결합 신호

그림 8은 2tX2tX0.3t의 결합에서 3가지 Type 별 Axial 성분의 실험 데이터이다. Type I에서 Type III로 가면서 노이즈가 줄었으며, 신호의 크기는 표 3과 같이

증가함을 볼 수 있다. 결합 검출 신호의 크기가 Axial 성분은 500%, Radial 성분은 약 300% 증가함으로 결합 검출 성능이 향상됨을 볼 수 있다. 이는 자기누설 탐상 시스템에서 백요크의 단면적을 3400[mm²]에서 7884[mm²]로 증가시키고 차석의 단면적 또한 10800[mm²]에서 38143[mm²]으로 증가시켰으며 벗설 구조에서 판 브러쉬 형태로 변화함에 따라 착자되는 자속 양이 증가하여 자기적인 성능을 향상되었기 때문이다.

3. 결 론

기존의 신호처리 기법을 통한 노이즈 제거와 검출 성능 향상은 한계가 있다. MFL PIG의 브러쉬와 백요크의 크기 및 형상을 변화시킴으로써 검출 신호 크기의 증가를 통한 결합 검출 성능을 향상시키고자 하였다. 새로 제안한 MFL PIG(Type III)이 착자레벨이 이전의 MFL PIG(Type I) 착자레벨보다 0.08[T] 향상된 우수한 성능을 보인다. 또한 결합 검출 신호의 크기가 Axial 성분은 450%, Radial 성분은 300% 증가함으로써 신호 잡음비(SNR)가 약 80% 증가하여 결합 검출 성능이 향상됨을 볼 수 있다. 앞으로 자기누설 탐상 시스템의 형상 변화에 따른 파라메타를 더 분석하고 결합 판정에 있어 검출 민감도를 향상시키는 연구를 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.