

누설자속을 이용한 지하가스관 외부 금속물체의 자기신호 해석

김철¹ 하정우¹ 김한들¹ 신판석¹ 박관수²
¹홍익대학교 전기공학과 ²부산대학교 전기공학과

A Magnetic Flux Leakage Analysis of Metal Object for Underground Gas Pipeline

Chul Kim¹ Jung-Woo Ha¹ Kim Han-Deul¹ Pan-Seok Shin¹ Gwan-Soo Park²
¹Hongik University ²Pusan National University

Abstract - 지하에 매설된 가스관의 경우 MFL(Magnetic Flux Leakage, 자기누설탐상) PIG를 이용하여 금속관의 여러 가지 기계적인 손상을 감지하여 사고예방이나 유지관리의 정보로 활용하고 있다. 이러한 비파괴검사는 당장 수리가 필요한 손상에서부터 장래에 위협이 될 수도 있는 지하 매설관 외부의 금속물체(Metal object)까지 찾아낼 수 있어야 한다.

이 논문은 지하 매설관 외부의 금속물체의 크기, 모양 및 이격거리 등에 따른 자기누설 신호를 유한요소법을 이용하여 simulation 하고, MFL PIG를 이용하여 지하 매설관에 대한 비파괴검사를 할 경우 나타나는 여러 가지 자기적 신호를 보정하여 metal object의 크기나 위치 등을 판별할 수 있도록 기본적인 자기누설 정보를 제공하기 위한 연구이다. MFL PIG의 형상과 금속물체의 크기 종류 의 정확한 분석을 위하여 3차원 해석을 하였다.

MFL PIG는 지하나 수중에 매설되어 측정이 어려운 배관의 손상, 균열, 부식정도를 측정하기 위한 것으로, 배관 내부에 삽입되어 주행하면서 지하에 매설되어 있는 배관의 내, 외벽에 발생하는 결합이나 부식상황을 감지하는 장치이다. MFL PIG를 가스배관내부에 삽입하면 가스의 흐름을 따라 이동하며, 요크와 영구자석을 이용한 자기시스템으로 가스관을 적절히 포화시킨 후, 결합이나 외부물체로 인해 발생하는 누설자속을 홀센서를 이용하여 검출하는 장비이다.

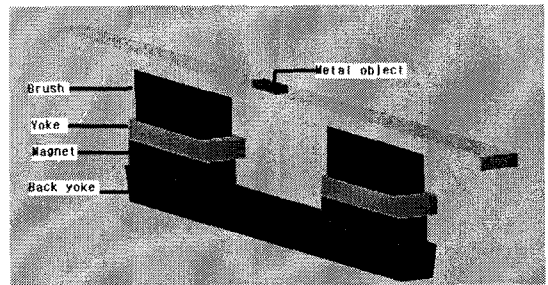


그림 1. MFL PIG

Metal object는 가스관 주변의 미지의 금속물체를 의미하며, 경우에 따라서 파이프라인에 손상을 줄 수 있다. Metal object의 폭, 길이, 두께, 이격거리 등에 변화를 주어가면서 simulation하였다.

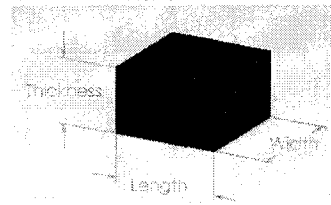


그림 2. Metal object의 정의

1. 연구개요

현대에 이르러 도시가스 사용이 대도시뿐 아니라 지방 소도시 까지 확산되면서 천연가스 보급용 파이프라인이 확장되고 있으며, 이 파이프라인은 정기적인 비파괴 검사 필요로 하고 있다. 항구를 통해 수입된 천연가스를 각 지역별 도시가스 사업자에게 공급하기 위한 지하 가스관은 현재 수백키로미터에 달하고 있으며, 이 가스배관망의 검사 및 관리를 위하여 매년 수십억원의 용역비를 영국이나 캐나다 등에 지불하여 왔다. 국내에서는 수 년전부터 MFL PIG의 국산화를 위한 연구가 진행 중이다. 지하매설관의 상태 검사기술로는 자기누설탐사(MFL : Magnetic Flux Leakage)기술, 초음파(Ultrasonic)기술, CCD카메라를 이용한 영상처리기술 등이 있다. 가스배관은 내부보다는 외부에 대부분의 손상이 존재하기 때문에 자기누설 탐사방법이 가장 적당하다. 또한 MFL기술을 이용하면 가스파이프라인 자체의 손상은 물론 장래에 위협이 될 수 있는 파이프라인에 접촉하거나 근접한 물체(Metal object)까지도 탐지가 가능하다.

이 논문은 수많은 위협요소 중 파이프라인의 외부물체(Metal object)에 대한 자기신호를 해석하는 연구를 하였다. MFL PIG를 이용하여 지하 매설관에 대한 비파괴검사를 할 경우 파이프라인의 외부물체를 감지하고 그 물체의 너비, 길이, 두께, 이격 거리 등에 따른 자기누설 신호를 해석할 수 있도록 기본적인 정보를 제공하기 위한 연구이다. MFL PIG의 형상과 Metal object의 다양한 크기 등의 정확한 분석을 위하여 유한요소 프로그램을 이용한 3차원 해석을 하였다.

2. 본 론

2.1 MFL PIG 와 Metal object

표 1 Metal object의 크기 변화와 이격거리 변화

Metal object	길이(Length)	1t~6t	4종류
Metal object (t=17.5mm)	폭(Width)	1t~6t	6종류
	이격거리(gap)	1mm간격	1~10
10mm간격		10~100	10종류

그림 1은 MFL PIG의 Metal object에 대한 자기신호를 해석하기 위하여 간략화한 3차원 simulation모델로서 맨 윗부분이 Metal object이다. 표1은 Metal object의 크기변화와 simulation 횟수를 나타낸 표이

다. 표1에서 t는 17.5mm 이며, T는 두께이고, L은 길이이다. Flux3D를 이용하여 그림2의 Metal object를 표1을 적용한 길이와 두께 변화에 따른 simulation 과 이격거리 변화를 적용한 simulation, 그리고 길이를 3t로 두께를 0.5t로 고정된 상태에서 폭을 1t~6t로 변화시키면서 simulation하였고, MFL신호를 분석하였다.

그림 3은 해석모델의 Mesh 분할 그림으로 4각mesh와 3각mesh를 병행하여 분할하였다.

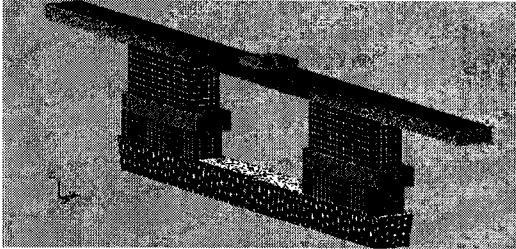


그림 3. Mesh 분할도

Pipe, yoke, back yoke metal object 등은 모두 같은 주강의 재질로서 포화자속밀도 2.0T, 초기투자율 7000의 특성을 가지고 있다. brush같은 경우는 투자율을 10으로 하여 simulation 하였다. Magnet은 Nd계 열 영구자석으로 잔류자속밀도 1.24T, 비투자율 1.05의 특성으로 해석하였다.

2.2 Simulation 결과

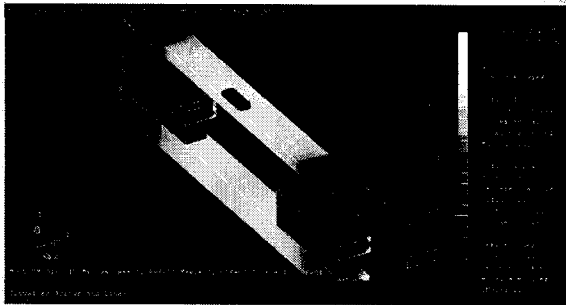


그림 4. 자속밀도 분포

그림4는 MFL PIG의 자속밀도 그림이다. 파란색 부분이 자속밀도가 낮은 부분이고 노란색으로 갈수록 자속밀도가 높아진다. back yoke와 pipe가 충분히 자화되어 있는 것을 볼 수 있으며, pipe위의 Metal object도 낮은 밀도로 자화되어 있다.

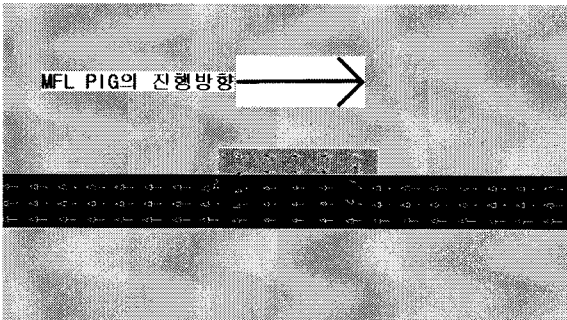


그림 5. Metal object 부근의 자속벡터

그림5는 자속벡터를 화살표로 나타낸 그림이다. 두 개의 영구자석을 서로 극성이 다르게 배치해서 자속이

MFL PIG 진행방향과 반대의 방향으로 흐르는 것을 볼 수 있다. 자속벡터의 방향이 진행방향의 반대 이므로 axial 신호는 (-)의 값을 갖게 된다.

Simulation상에서 MFL PIG를 이동시키면서 simulation 하게 되면 해석결과를 얻기 까지 많은 시간이 걸리기 때문에, metal object가 있을 때의 simulation 값에서 Metal object가 없을 때의 simulation값의 차를 이용하여 그래프를 그렸다.

2.3 MFL 신호분석

MFL PIG의 탐사진행방향 신호(Axial)와 pipe 표면에 법선방향신호(Radial)를 분석하여 그래프로 나타내었다.

그래프에서 자속밀도의 값은 실측값이 아닌 상대적인 변화 값을 나타내고 있다. 그래프에서 자속밀도가 0인 곳은 Metal object가 없을 때의 누설자속밀도를 의미한다.

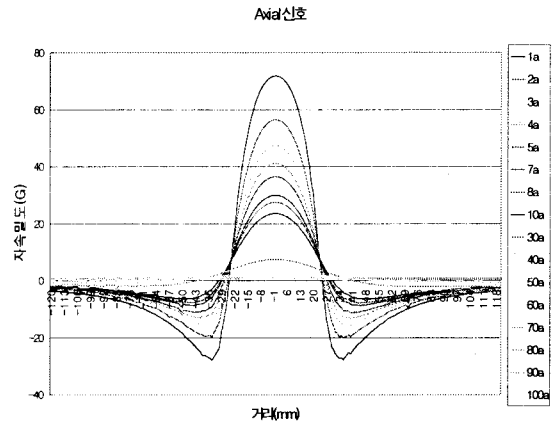


그림 6. 이격거리 변화에 따른 Axial 신호변화

그림6은 이격거리에 따른 Axial신호 그래프이다. 이격거리가 커질수록 MFL신호는 작아지고 있다.

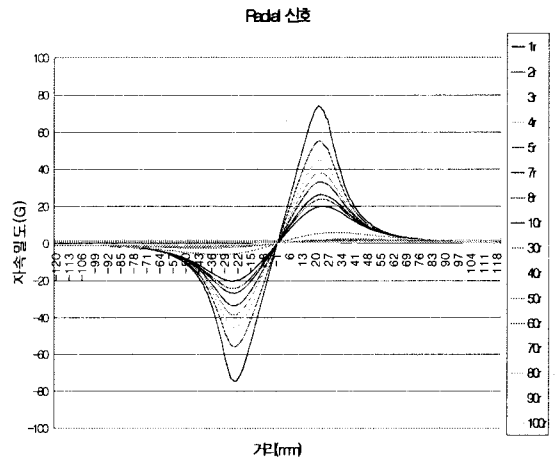


그림 7. 이격거리 변화에 따른 Radial 신호변화

그림7은 Radial 신호의 이격거리에 따른 그래프이다. Radial 신호역시 이격거리가 커짐에 따라 신호의 크기가 작아지고 있다. 신호의 폭과 신호패턴은 변화가 없다. 이격거리의 크기에 따라서 MFL신호가 어느정도 선형적으로 변화한다는 것을 알 수 있다.

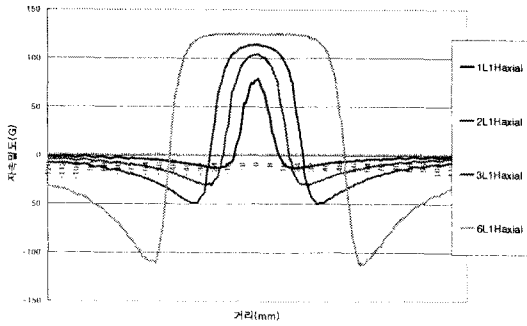


그림 8. 길이변화에 따른 Axial 신호변화

그림8은 두께를 1t로 고정하고 폭을 3t로 고정된 상태에서 길이에 변화를 주어서 얻은 그래프이다. 길이가 1t, 2t, 3t, 6t로 변화 하면서 신호의 폭과 세기가 증가하는 것을 알 수 있다.

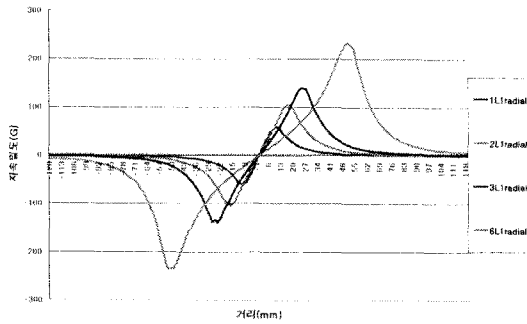


그림 9. 길이변화에 따른 Radial 신호변화

그림9는 그림8과 같은 조건에서의 Radial 신호 변화이다. 길이가 변화 하면서 신호의 폭과 세기가 증가 하는 것을 알 수 있다.

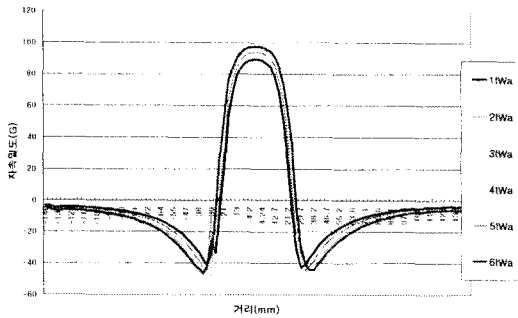


그림 10. 폭 변화에 따른 Axial 신호변화

그림10은 Metal object를 길이 3t, 두께 0.5t로 고정시킨 상태에서 폭을 1t~6t까지 변화시키면서 자속밀도의 변화를 나타낸 그래프이다. 길이 변화에 의한 그래프나 이격거리 변화에 따른 신호의 변화에 비하면 작은 변화를 보인다. 폭이 넓어짐에 따라 신호의 세기가 조금씩 증가한다.

그림11 역시 그림10과 같은 조건에서의 Radial방향 신호이다. 폭이 1t~6t로 변화하는 동안 신호가 조금씩 커지는 것을 볼 수 있다.

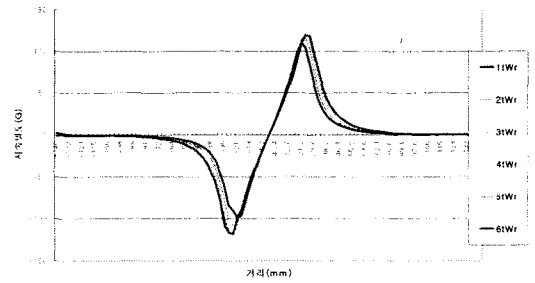


그림 11. 폭 변화에 따른 Radial 신호변화

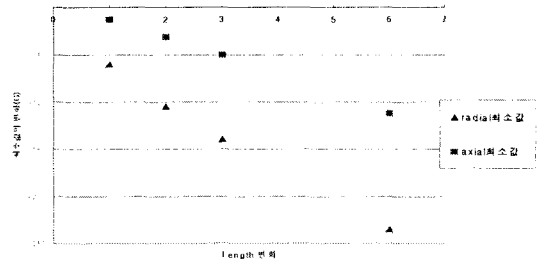


그림 12. 길이변화 따른 최소값의 변화

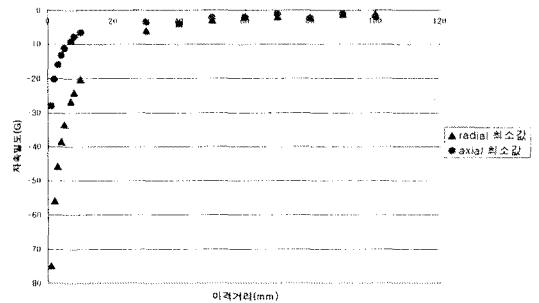


그림 13. 이격거리 변화에 따른 최소값의 변화

그림12는 길이가 1t~6t로 증가할 때, 그림13은 이격거리가 100mm까지 증가할 때의 Axial방향 신호의 최소값과 Radial방향의 최소값의 변화를 나타낸 그래프이다. 그림12는 일정한 기울기를 가진 직선의 그래프처럼 나타난다. 그림13은 이격거리 10mm구간까지는 급격한 변화를 보이지만 20mm 이상구간에서는 별로 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다

3. 결 론

본 논문은 지하매설 가스관을 MFL PIG를 이용하여 자기누설 탐사 시 Metal object의 크기 및 이격 거리가 검출 신호에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. 3차원 유한 요소법을 사용하여 simulation 하였고, Metal object와 검출신호와의 대략적인 관계를 밝혀, 검출신호로 지하에 매설되어 있는 Metal object의 크기 및 이격거리 등을 판별할 수 있는 자료를 제공하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박상호, "자기 누설 비파괴 탐상 시스템에서 PIG의 주행속도가 검출신호에 미치는 영향", 대한전기학회논문지, 제52권 10호, p475-483, 2003
- [2] S. Mandayam, L. Udpa "Invariance Transformation for Magnetic Flux Leake Signals", IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS, VOL. 32 No 3, MAY 1996