

강자성 배관의 racetrack 형 결함깊이와 응력이 누설자속에 미치는 영향

한국표준과학연구원

유권상*, 박영태

한남대학교
Queen's University

손대락
D.L. Atherton, L. Clapham

1. 서론

실시간으로 매설된 송유관이나 가스관의 내부에 누설자속 (Magnetic Flux Leakage: MFL) 탐지용 피그를 통과시킴으로써 부식을 모니터한다[1]. NdFeB 자석과 같은 강한 영구자석으로 배관을 자화시키면 부식에 의한 결함 근처에서 자속이 누설되고, 그 MFL은 Hall 프로브나 유도코일에 의해 탐지된다. 자기이방성을 이용하여 응력에 의한 누설자속신호 변화를 계산할 수 있다. MFL 신호를 정밀하게 분석하기 위해서는 측정프로브의 측정속도와 내부압력응력과 같은 운용조건을 고려하여야 한다 [2].

본 연구에서는 비선형 투자율을 이용하여 3차원 유한요소법으로 MFL을 계산하였고, 모사한 부피 응력과 racetrack 형의 결함깊이가 MFL 신호에 미치는 영향을 계산하였다.

2. 3차원 유한 요소법 모델

배관의 원주방향으로 응력을 인가하면 그 방향의 접선방향으로 홈의 양끝에 응력 집중이 일어나고 [3], 투자율은 인장응력방향으로 증가한다. 응력 집중 효과와 홈의 깊이 영향을 계산하기 위하여 Fig. 1과 같은 모델을 사용하였다. Fig. 1(a)는 x-y 면의 평면도이다. 자기장은 Plate의 양단에 있는 영구자석에 의해 x 방향으로 자화되고, 인장 응력은 y 방향으로 주어진다. Fig. 1(b)에서 볼 수 있는 바와 같이, 대칭성에 의해 모델의 1/4 면만이 MFL 신호 계산을 위하여 사용되었으며, 그 면적은 72 × 54 mm이고, 두께는 12 mm 이며, racetrack 형 홈의 장축은 60 mm이고, 단축은 24 mm이다. Plate 표면 1 mm 위의 50 × 40 mm의 넓이에 대해 MFL 신호를 계산하였다. 좌표 원점은 Fig. 1(c)와 1(d)와 같이 Plate의 중심에 있고, 자기이방성에 의해 스트레스를 인가하기 위한 특별 부분인 Outer와 Side가 홈 근처에 주어진다. Outer와 Side를 제외한 Plate 부분은 등방성이다. Fig. 1(c)와 1(d)는 각각 y-z 평면의 측면도와 x-z 평면의 정면도로 경계조건을 규정하기 위한 공기상자 (air box)를 포함하고 있다.

Outer와 Side 영역의 비선형 자성을 모델화하기 위하여 Infolytica 사의 소프트웨어 Magnet 6.5를 사용하였다. 배관 축방향으로 높은 자기장 (약 1.8 T)이 인가되도록 함으로 자화는 항상 자기장 방향으로 배향되는 것으로 가정할 수 있으며, 그 값은 arc-tangent 함수로 기술할 수 있고, 최대투자율 (μ_m)를 자기장으로 표현하면

$$\mu_m = \mu_o \left(\frac{2M_s}{\pi H_k} + 1 \right) \tag{1}$$

이다. 여기서 μ_o 는 진공의 투자율이고, M_s 는 포화자화 (=1.7 MA/m)이며, H_k 는 이방성에 종속되는 자기이방성 상수로 응력을 계산하기 위한 입력 인자이다. 식 (1)에서 알 수 있는 바와 같이 최대투자율 μ_m 은 이방성 자기장 H_k 에 반비례한다.

배관 원주 방향의 응력에 의해 홈 근처에는 인장 응력이 집중되며, 이를 모델에 반영하기 위해 응력 방향으로 보다 낮은 이방성 자기장이, 그리고 수직방향으로는 높은 이방성 자기장이 사용되었다. 세 개의 직각 이

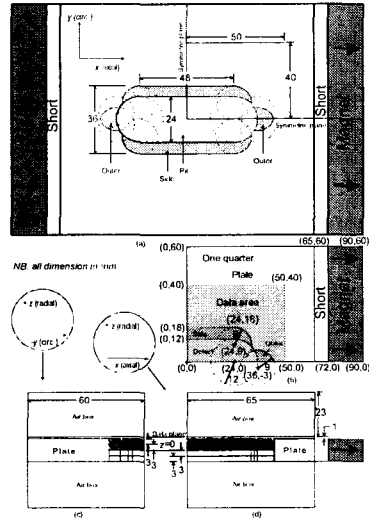


Fig. 1. Schematic diagrams of the racetrack model.

방성 자기장 H_{kx} , H_{ky} 및 H_{kz} 는 물질의 자기이방성을 나타내며, Fig. 1과 같이 x 는 배관의 축방향, y 는 원주 방향, z 는 방사상 방향을 나타낸다.

본 논문에서 등방성 물질인 경우 $H_{kx} = H_{ky} = H_{kz} = 9000$ A/m로, 높은 이방성에 의해 원주방향의 응력을 모사하기 위해 $H_{kx} = 6000$ A/m, $H_{ky} = 4000$ A/m, $H_{kz} = 9000$ A/m를 대입하여 계산하였다. 응력을 계산하기 위한 이방성 파라미터가 Table 1에 주어져 있다.

3. 결과 및 논의

일반적으로 결함 탐상용 pig는 배관 내부를 지나기 때문에 data plane은 배관 내부면 위 1 mm에서 생성된 축, 원주 및 방사상 MFL 신호의 축 (x) 방향에 대한 profile, x - y 평면에서의 등고선 및 표면 도면 (surface plot)에 대해 흠이 없을 때의 MFL 신호를 뺀 값이 각각 Fig. 2(a)에 주어져 있고, 방사상 방향에 대한 MFL 신호의 응력 영향을 나타내기 위하여 High anisotropy에서 계산한 MFL 신호에서 Isotropic에서 계산한 MFL 신호를 뺀 값을 나타내는 그래프가 Fig. 2(b)에 각각 주어져 있다. 깊이 및 응력에 대한 효과가 Fig. 3에 주어져 있으며, 방사상 방향에 대한 MFL 신호는 깊이가 깊어질수록 응력이 커질수록 그 값이 커진다. Fig. 4 배관 내부면에서 등방성에 대한 세 가지 이방성의 백분율 MFL 변화를 나타내고 있으며, 백분율 변화는 이방성이 커질수록 증가한다.

4. 결론

흠의 깊이를 해석하기 위해 배관 내부압력에 의해 생성된 tensile circumferential stress, 배관 내부 면의 흠 깊이를 isotropic solution. 이가 MFL 신호에 미치는 효과를 조사하기 위하여 3 차원 유한요소법을 사용하였다. 응력이 증가하거나, 배관 내부 면의 흠 깊이가 깊어질수록 MFL 신호는 증가하였다. 응력과 관련된 MFL 신호의 변화는 자화 용이축의 방향 변경과 배관강의 이방성 정도에 기인한다.

MFL 검사의 목적은 배관의 최대 허용 압력을 계산하기 위해 흠의 깊이를 평가하는 것이다. MFL 신호를 정밀하게 해석할 필요가 있을 때, 결함 주변에 집중하는 응력 효과와 자기이방성의 국부적인 변화에 의한 MFL 신호변화를 고려할 수 있다.

5. 참고문헌

[1] D.L. Atherton, Oil & Gas J., 87(32), 52(1989).
 [2] D.L. Atherton et al., Oil & Gas J., 88(5), 84(1990).
 [3] T.W. Krause et al., Res. Nondestr. Eval., 8, 83(1996).

Table 1. Anisotropic parameters of specified regions.

	Outer		Side	
	H_k (kA/m)	Direction	H_k (kA/m)	Direction
Isotropic	9	x,y,z	9	x,y,z
Low anisotropy (High permeability)	8	y	8.5	x
Medium anisotropy (Medium permeability)	6	y	7	x
High anisotropy (Low permeability)	4	y	6	x

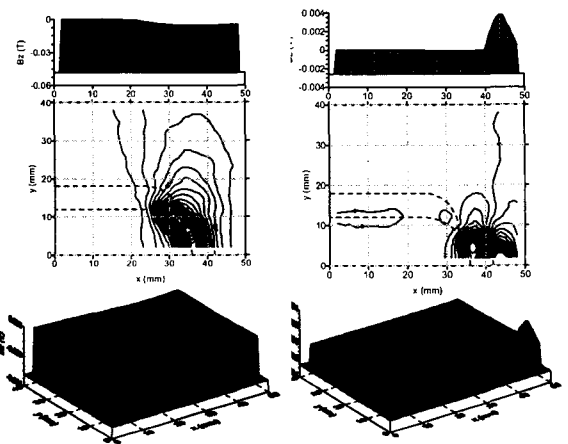


Fig. 2. Axial (x direction) profiles, contour map, and surface plot of the anomalous radial MFL generated 1mm above the plate by a near-side 50% racetrack penetration (60mm major axis and 24mm minor axis) by subtracting (a) the no pit solution, and (b) the corresponding

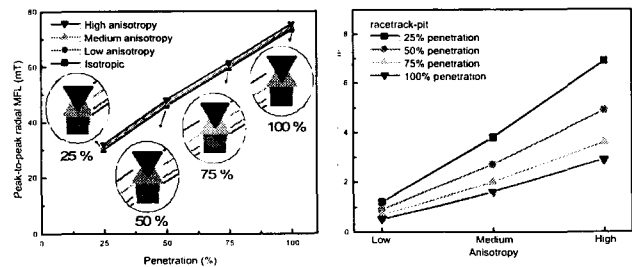


Fig. 3. Peak-to-peak radial MFL, along ($y=0$ mm, $z=7$ mm) for Isotropic, Low, Medium, and High anisotropy with respect to the no-stress value at various anisotropies the two pits), Side and Outer for 25%, 50%, 75%, and regions versus near-side pit 100% near-side penetration for racetrack.