≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society, Volume 22, Number 2, April 2012 http://dx.doi.org/10.4283/JKMS.2012.22.2.049

자기누설 비파괴 검사 시스템에서 축방향 미소결함 측정에 관한 연구

김희민*・박관수
부산대학교 전기공학과, 부산시 금정구 장전2동, 부산 609-735

노용우・유휘룡・조성호・김동규・구성자
한국가스공사 연구개발원, 경기 안산시 상록구 일동 638-1, 426-790

(2012년 3월 10일 받음, 2012년 4월 23일 최종수정본 받음, 2012년 4월 23일 게재확정)

MFL PIG는 배관의 단면적이 변화할 때 발생하는 누설 자기장을 검출하고, 검출 된 누설 자속 신호의 분포 및 크기를 이용하여 배관 내・외벽에 결함의 발생 유무를 검사하는 방법이다. 기존의 MFL PIG는 금속 손실이나 균열, 부식과 같은 결함을 검출하는데 효과적이었으나 배관 내・외부의 압력차로 인하여 발생하는 가로축 방향의 가늘고 긴 미소결함을 검출하기 위하여 원주방향으로 자기장 누설을 최대화 할 수 있는 CMFL(Circumferencial MFL) PIG의 개발이 필요하다. 본 논문에서는 자계 해석 기법 및 3차원 비선형 유한요소법을 이용하여 CMFL PIG를 설계하고 배관의 결함 유무에 따른 누설 자계 분포를 분석하였다. 또한 CMFL PIG와 함께 결함 검출 성능 검증을 위한 모의시험 배관과 결함 및 고정 구조물을 제작하고, 이를 이용한 실험으로 누설 자계 신호를 측정하여 결함의 형상변화가 검출 신호에 미치는 영향을 비교 및 검토하였다.

주제어 : 자기누설, 비파괴 검사, 축방향 미소결함, 배관검사, 유한요소해석

I. 서 론

최근 저탄소 녹색성장의 환경정책에 따라 기존의 화석연료 에너지원을 대체하는 차세대 신재생 에너지원의 활용이 큰 관심을 받고 있다.

현재 주 에너지원으로 사용되고 있는 석유와 천연가스는 배관을 통하여 각 산업체나 가정에 공급이 되는데 대부분의 배관은 지하에 매설되어 있다. 지하에 매설된 배관은 습기나 지압, 수분 등의 외부 환경에 장시간 노출되기 때문에 부식이나 변형의 가능성이 높다. 이에 따라 결함에 의해 대형사고가 발생할 수 있으며 이를 미연에 방지하기 위해 배관의 정기적인 유지 및 보수가 필요하다.

배관을 검사하기 위한 방법으로 여러 비파괴 검사 방법 [1, 2] 중 투자율이 큰 금속배관을 검사하는데 적합한 자기누설(Magnetic Flux Leakage) 비파괴 검사 PIG(Pipeline Inspection Gauge)가 널리 이용된다[3, 4].

일반적으로 배관 내부는 에너지원의 공급을 위해 높은 압력을 유지한다. 따라서 배관 내부와 외부의 압력 차이는 매우 크며 이 상태로 장시간 운용되면 배관에 작용하는 스트레스로 인해 배관 표면에 미세한 결함이 발생한다. 이러한 결함은 육안으로 확인하기 어려울 만큼 폭이 좁고 배관의 축방향으로 길게 발생하는 특징이 있다. 또한 부식과 같은 결함에 비해 크기가 매우 작고 발생빈도는 높다.

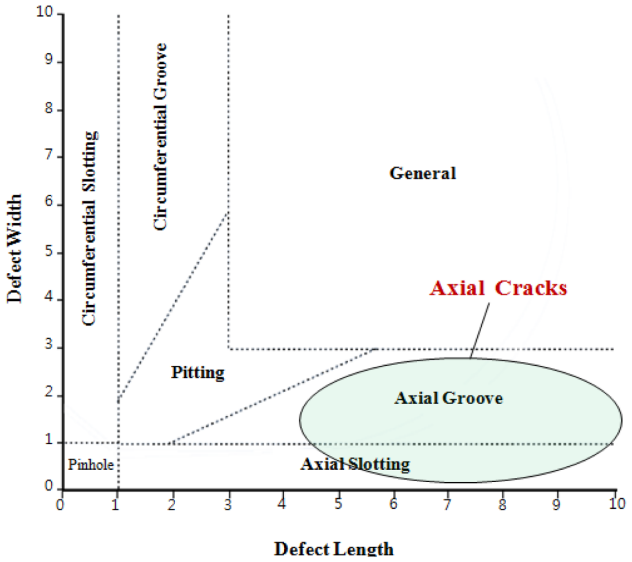


Fig. 1. (Color online) Classification of defects with POF spec.

Fig. 1은 국제 규격 POF(Pipeline Operator Forum)에서의 결함분류에서 배관에 발생하는 축방향 미소결함 부분을 표시한 그림이다. 기존에 개발된 MFL PIG는 부식과 같은 결함의 검출 성능이 뛰어나지만 축방향으로 발생하는 미소결함에 대해서는 자계 인가 방향의 구조적 문제로 검출이 어렵다. MFL PIG는 배관의 축방향으로 자계를 형성하기 때문에 축

*Tel: (051) 510-1488, E-mail: hmkim@pusan.ac.kr

방향을 따라 발생하는 미소결함의 유무에 따른 자기장 통과 단면적의 변화가 거의 없다. 단면적의 변화가 없기 때문에 누설 자계가 발생하지 않으며 결함을 검출하는데 한계가 있다. 따라서 자기장을 원주방향으로 인가하도록 구조를 변경하여 크랙에서의 자기장 통과 단면적을 최대로 만들 필요가 있다. 배관의 원주 방향으로 자계를 인가하는 비파괴 탐상시스템을 CMFL PIG 라고 한다.

본 논문에서는 자계 해석 기법 및 3차원 비선형 유한요소법을 이용하여 CMFL PIG를 설계하고 배관의 결함 유무에 따른 자기장 분포를 분석하였다. 또한 CMFL PIG와 함께 결함 검출 성능 검증을 위한 모의시험 배관과 결함 및 고정 구조물을 제작하고, 이를 이용한 실험으로 자기누설 신호를 실측하여 결함의 형상변화가 검출 신호에 미치는 영향을 비교 및 검토하였다.

II. MFL 비파괴 검사시스템의 원리 및 구조

1. 자기누설 비파괴 검사의 동작원리

배관용 자기누설 비파괴 검사 시스템은 Fig. 2와 같이 금속배관을 착자시키기 위해 희토류 영구자석인 네오디뮴을 이용하여 자기장을 인가하며 전체 시스템은 자기회로를 구성한다. 배관의 결함을 검사하기 위하여 비파괴 검사 시스템은 배관을 자기 포화시키며 배관을 따라 이동하면서 검사를 수행한다. 배관에 결함이 있을 경우 결함 부분의 자기장이 통과하는 단면적이 줄어들어 배관의 비선형적 자기 특성에 의해 자기저항이 증가하게 되고, 이로 인해 인가 자기장에 의한 자속이 모두 배관을 통과하는 것이 아니라 외부로 누설된다. 배관의 외부로 누설되는 자속을 누설 자속이라고 하며, 이 누설 자속밀도는 홀센서를 이용하여 측정한다. 따라서 결함이 있는 경우와 결함이 없는 경우에 따라 센서를 통해 측정되는 누설 자속의 양이 변화하게 되고 이를 센서로 검출하여 결함의 유무를 판별한다. 또한 배관의 가로축방향 및 원주방향 성분의 거리에 대한 누설 자속 신호의 분포로부터 결함의 형상을 판정할 수 있다.

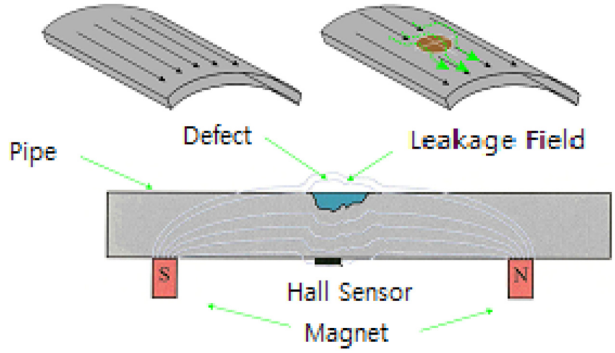


Fig. 2. (Color online) Diagram of the MFL testing method.

2. MFL 비파괴 검사 시스템의 구조

배관 검사용으로 사용되는 PIG 중 배관에서 발생하는 결함을 판정하기 위해 사용되는 일반적인 MFL PIG 구조는 Fig. 3과 같다. MFL 비파괴 검사용 PIG는 배관을 착자시키기 위한 자계 인가 시스템과 결함에 의해 발생하는 누설 자기장을 측정하기 위한 센서 시스템으로 앞부분이 구성된다. 배관에 자계를 인가 시 높은 자기 효율을 얻기 위해 Back yoke를 PIG 몸체로 사용하며, 그 위에 네오디뮴 자석 그리고 판형 브러쉬를 탑재하여 배관을 포화시키도록 배치시킨다. 또한 센서 시스템으로부터 취득한 데이터를 저장하고 PIG의 주행거리, 위도와 경도를 이용해 위치정보를 취득하는 네비게이션 시스템으로 뒷부분을 구성한다. PIG의 센서 시스템은 포화된 배관에서 발생하는 누설 자속을 측정하기 위하여 배관의 내벽에 최대한 밀착되도록 배치하며 홀센서를 이용해 누설 자속 신호를 탐지한다.

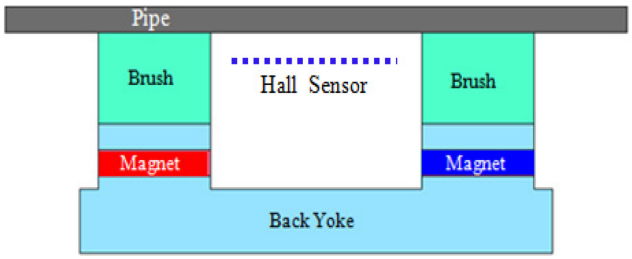


Fig. 3. (Color online) Structure of MFL PIG.

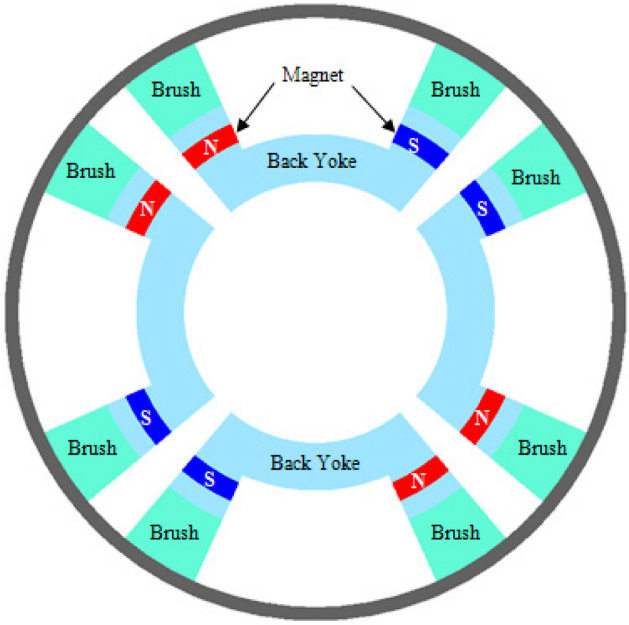


Fig. 4. (Color online) Structure of CMFL PIG.

CMFL PIG는 MFL PIG와 달리 축방향 미소결함을 검출하기 위해 Fig. 4와 같이 원주방향으로 자기장을 형성한다. 배관의 축방향 미소결함 부분에서 자기장이 통과하는 단면적의 변화가 최대가 되도록 원주방향으로 자계를 형성하는 것으로, MFL PIG와 자계 인가시스템의 구조적인 차이가 있다. CMFL PIG의 기본적인 동작 원리는 MFL PIG와 동일하고, 축방향 미소결함을 포함하여 배관 내 모든 결함에 대한 누설 자속을 검출하기 위해서는 배관 전체가 자기 포화되는 영역이어야 한다. 따라서 동일한 구조의 CMFL PIG 모듈을 축방향으로 45°만큼 차이를 두고 후방에 배치함으로써 배관 모든 부분의 누설 자속 신호를 검출한다.

III. CMFL 비파괴 검사 시스템의 설계

1. CMFL PIG의 자계 인가 시스템 설계

CMFL PIG에 배치할 자석은 희토류 영구자석 중 하나인 NdFeB를 이용한다. 자석의 크기는 자기 회로법을 이용하여 길이는 180 mm, 폭 64 mm, 높이는 25 mm인 최적 치수를 구하여 설계 하였다.

NdFeB 자석은 Fig. 5와 같이 잔류자속밀도가 1.24 T이고 보자력은 880000 A/m이다. 이 자석의 감자곡선을 적용하여 전체 시스템의 비선형 해석을 수행하였다. 가스 배관의 재질 특성은 석유 수송용 강재인 Battle 사의 X52 자기 포화 곡선(B-H Curve)을 적용하였다.

CMFL 자계 인가 시스템에서 Back-yoke는 가스 배관을 충분히 포화시키고 자기효율을 높이기 위해서 사용한다. Back-yoke의 단면적이 너무 작으면 자기포화가 쉽게 일어나고 자기효율이 떨어지게 된다. 반대로 단면적이 클 경우, 자기효율은 향상되지만 규격화된 배관에서 PIG의 구조 설계에 대한 문제와 충분한 자기 포화 영역을 확보할 수 없다.

이에 Back-yoke의 구조는 외경이 220 mm, 내경이 160 mm인 원통형 구조를 하고 CMFL PIG 한 모듈 내에 4개의

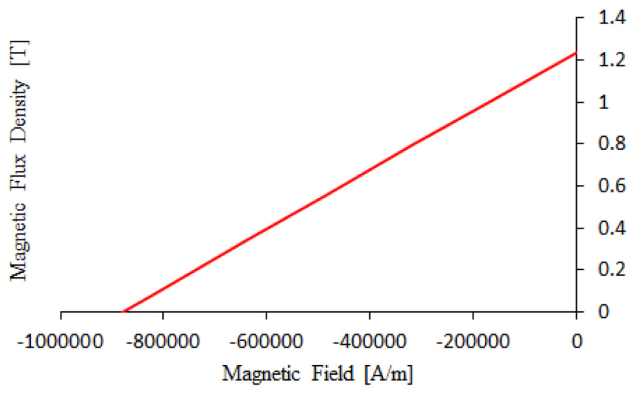


Fig. 5. (Color online) Demagnetization curve of the NdFeB magnet.

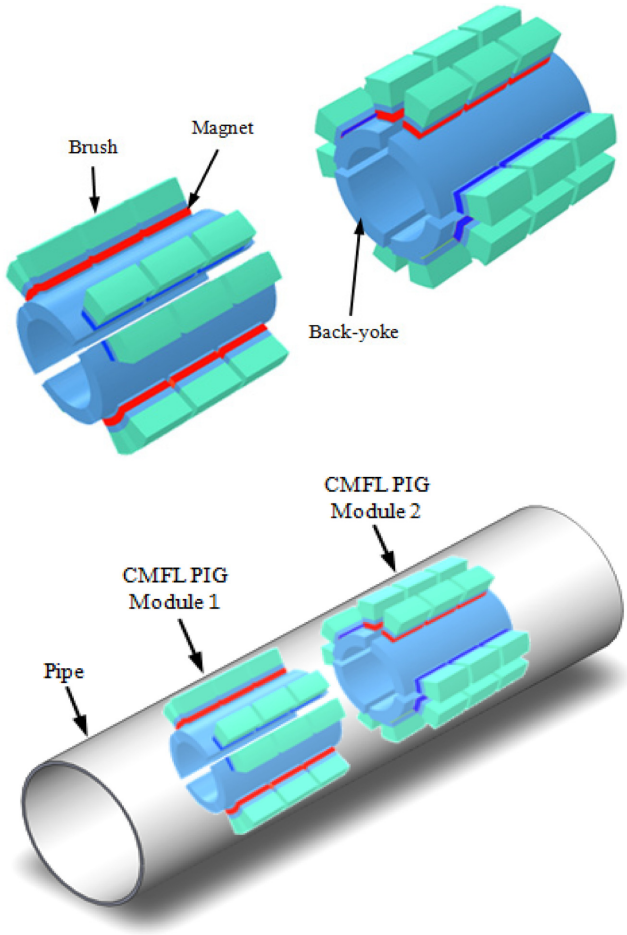


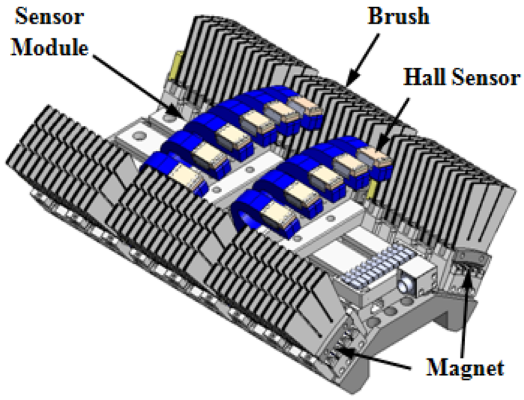
Fig. 6. (Color online) Design of CMFL PIG magnetizer.

자계 인가 시스템을 Back-yoke와 함께 설계한다. 자계 해석 시 Back-yoke의 재질특성은 배관과 같은 재질의 자기 포화 곡선을 이용하였고, Fig. 6은 설계한 전체 CMFL PIG를 나타낸다.

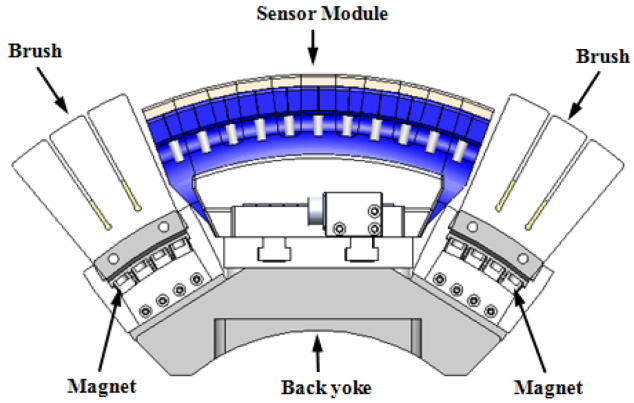
2. CMFL PIG의 One Bed 시스템 제작

CMFL PIG를 제작하기 전에 전체 자계 인가 시스템 중 1개의 착자 시스템을 이용한 원 베드 시스템을 제작하여 그 성능을 점검하고, PIG 전체에 사용될 착자 시스템을 수정 및 보완한다. 즉, CMFL PIG의 축소 모델인 One Bed 시스템을 이용하여 자계 인가 시스템의 배관 착자 정도를 확인할 수 있고 센서 모듈의 위치, 결함 검출의 효율성을 검증한다. Fig. 7은 CMFL PIG One Bed 시스템의 구조를 나타낸다.

배관에 발생한 미소결함을 검출하기 위해 PIG 구조에서 누설 자속 신호를 검출하는 센서부가 매우 중요하다. 특히 센서부의 성능과 더불어 누설 자속 신호를 효과적으로 검출하기 위한 센서의 배치도 중요하다. Fig. 7과 같이 One Bed 시스템에 탑재된 센서부는 가스배관의 내벽에 효율적으로 밀



(a)



(b)

Fig. 7. (Color online) CMFL PIG one bed system; (a) Diagram of one bed system, (b) Structure of one bed system.

착시키기 위해 캡을 사용한 두 개의 모듈로 구성된다. 두 개의 모듈은 11개의 Sensor Head로 구성되어 있고, Sensor Head 내부에는 총 15개의 홀센서가 각각 배치되어 있으며 각 센서간의 간격은 1.9 mm이다. 따라서 One Bed 시스템의 배관 원주방향으로 분포하는 홀센서의 개수는 모두 165개이다. 모든 홀센서는 가스배관에서 3 mm 떨어진 위치에서 누설 자속 신호를 감지한다. Fig. 8은 센서모듈의 센싱 위치와 센서

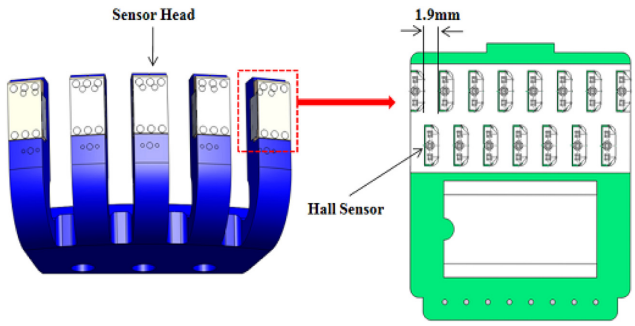


Fig. 8. (Color online) Alignment of sensors in one bed system.

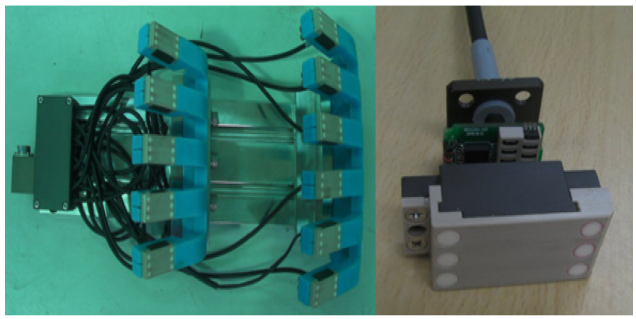


Fig. 9. (Color online) Sensor module in one bed system.

배치를 나타낸다.

IV. CMFL PIG의 자계 분포

1. 3차원 유한요소법을 이용한 자계 분포 해석

Maxwell 방정식과 보조 방정식은 변위전류를 무시할 경우 다음과 같다.

$$\nabla\times\vec{H}=\vec{J} \tag{1}$$

$$\vec{B}=\mu\vec{H} \tag{2}$$

$$\nabla\cdot\vec{B}=0 \tag{3}$$

여기서 $\vec{H}$는 자기장의 세기, $\vec{J}$는 전류밀도, μ는 자기 투자율, $\vec{A}$는 자기 벡터 포텐셜이다. 식(3)으로부터 $\vec{A}$는 식(4)의 관계로 정의된다.

$$\vec{B}=\nabla\times\vec{A} \tag{4}$$

식(1), 식(2)와 식(4)로부터 식(5)가 유도된다.

$$\nabla\times\left(\frac{1}{\mu}\nabla\times\vec{A}\right)=\vec{J} \tag{5}$$

$$\nabla^2\vec{A}=\nabla(\nabla\cdot\vec{A})-\nabla\times\nabla\times\vec{A} \tag{6}$$

식(6)과 같이 일반 좌표계에서 벡터회전 연산은 2계 미분을 계산함으로써 얻을 수 있고, 이를 식(5)에 적용하면 식(7)과 같다.

$$\nabla\left(\frac{1}{\mu}\nabla\cdot\vec{A}\right)-\nabla\cdot\left(\frac{1}{\mu}\nabla\vec{A}\right)=\vec{J} \tag{7}$$

Coulomb Gauge 조건식은 식(8)과 같으며 이 식을 (7)에 적용하면 식(9)와 같다.

$$\nabla\cdot\vec{A}=0 \tag{8}$$

$$-\nabla\cdot\left(\frac{1}{\mu}\nabla\vec{A}\right)=\vec{J} \tag{9}$$

PIG 모델에서는 외부에서 따로 인가되는 전류원이 없으며, 정자계 해석을 수행하므로 시변 자장에 의한 와전류 효과를 고려하지 않는다. 따라서 식(9)에서 전류밀도 $\vec{J}$를 0으로 치환할 수 있다. 여기서 입력값 Source는 전류원이 아닌 영구자석이기 때문에 자석의 자화량 $\vec{M}$을 고려하여 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$-\nabla\cdot\left(\frac{1}{\mu}\nabla\vec{A}\right)=\nabla\times\vec{M} \tag{10}$$

식(10)과 같은 편미분 방정식의 해를 구하기 위해 함수 분포의 영역을 유한개의 사면체 요소로 분할하고, 이것으로부터 해석 영역에서는 12×12 요소 행렬식(element stiffness matrix)으로 구성할 수 있게 된다. 행렬식은 식(11)과 같이 유도할 수 있다.

$$[K_{ij}][U_j]=[F_j] \tag{11}$$

여기서

$$[K_{ij}]=\begin{bmatrix}k^{xx} & k^{xy} & k^{xz}\\ k^{yx} & k^{yy} & k^{yz}\\ k^{zx} & k^{zy} & k^{zz}\end{bmatrix},\ [U_j]=\begin{bmatrix}A_x\\ A_y\\ A_z\end{bmatrix},\ [F_j]=\frac{V^{\theta}}{4}\begin{bmatrix}J^{\theta}_{ox}\\ J^{\theta}_{oy}\\ J^{\theta}_{oz}\end{bmatrix}$$

이다. 이를 모든 요소에 대입하여 계 행렬(system matrix)을

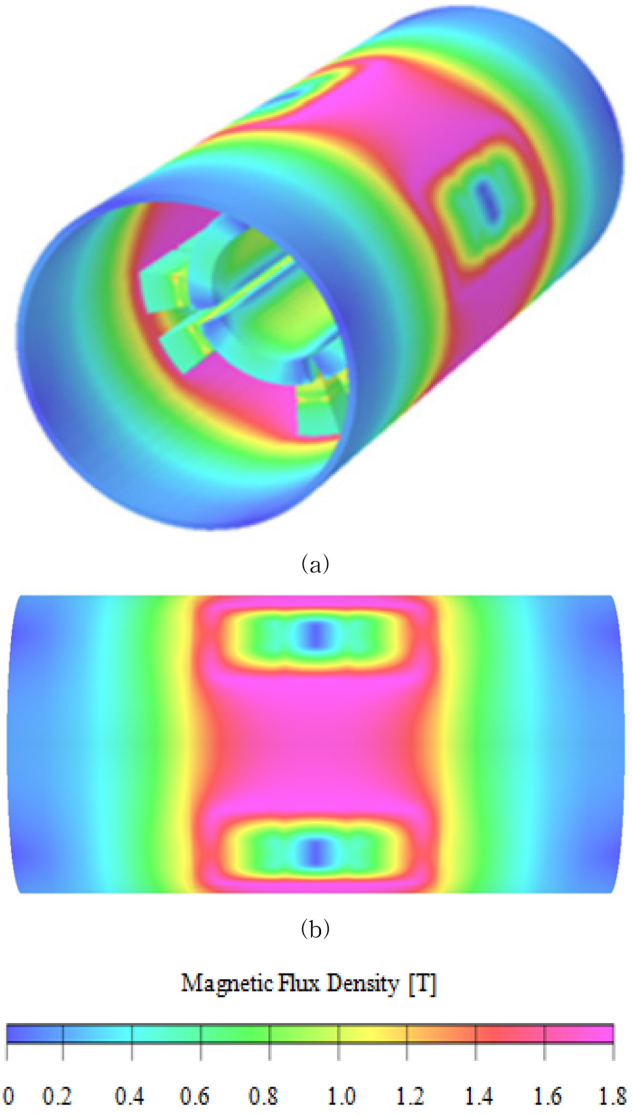


Fig. 10. (Color online) Magnetic field distribution of CMFL PIG and Pipe; (a) Bird view, (b) Top view.

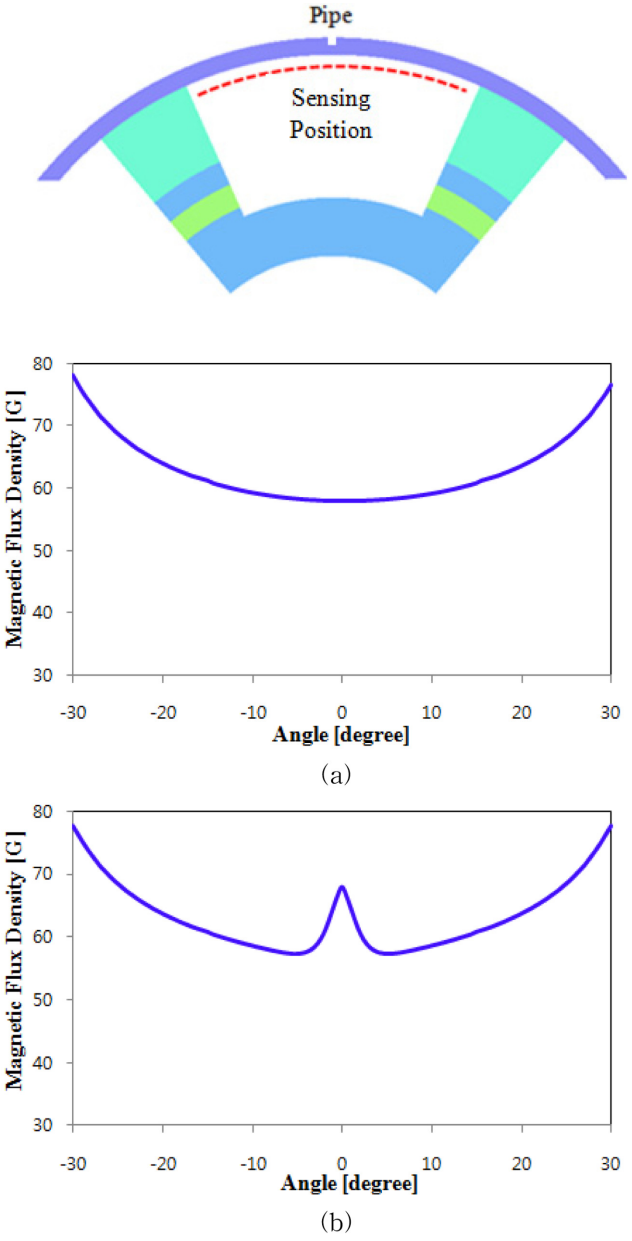


Fig. 11. (Color online) Magnetic field distribution at sensor position; (a) Without defect, (b) With defect.

만들고 경계 조건을 적용한 후 행렬식을 풀어서 해석한다.

3차원 정자계 유한요소해석 결과를 이용하여 Fig. 10에 CMFL 비파괴 검사시스템을 적용한 배관 전체의 자기장 분포를 나타내었다. 시스템 전체의 자속 밀도의 분포로부터 가스배관의 중심부분에 자기장이 집중됨을 알 수 있다. 해석 결과 가스배관의 포화 자속 밀도는 1.7~1.8 T이고, 이는 배관을 충분히 자기 포화시킨 결과이다.

CMFL PIG 센서 모듈은 배관 직하부 3 mm 떨어진 부분에서 누설 자속 신호를 감지한다. Fig. 11은 실제 센서모듈의 위치에서 배관 원주방향으로의 거리에 대한 누설 자속 신호의 분포를 나타낸 것이다. Fig. 11(a)에서 자계 인가 시스템의 중심부분에서 자기장이 약해지는 것을 볼 수 있고, 이것은 실제 배관의 착자가 시작되는 부분으로부터 거리가 멀고 자기장의 최소경로를 만족하지 못하여 자기 누설이 발생한 결과이다. 만약 배관 내·외벽에 결함이 존재한다면, Fig. 11(b)와 같은 누설 자속 신호의 분포에서 부분적인 신호의 왜곡현상이 발생할 것이고, 이로부터 결함의 유무 및 위치, 형상에 대한 정보를 얻을 수 있다.

2. 결함의 형상에 따른 검출 신호

누설 자속 검출 신호의 분포 및 크기는 결함의 형상에 따라 크게 달라진다. 즉, 검출 신호의 전체적인 분포와 크기는 결함의 형상과 밀접한 관계가 있다. 결함의 형상에 따른 검출 신호의 크기변화를 분석하여 상호 의존성을 찾고, 이를 위해 기준 축방향 결함을 설정하였다.

Fig. 12는 배관에 발생한 기준 축방향 미소결함의 형상을 표시한 것이고 결함의 크기는 폭 0.2 mm, 길이 25 mm, 깊이 25 %이다. 결함의 깊이 단위 %는 배관의 두께 17.5 mm에 대한 비율을 나타낸다.

결함의 형상에 따른 자기 누설 신호의 분포와 크기 변화의 패턴을 분석하기 위하여, 유한요소법을 이용한 자계 해석 결과와 실험을 통한 실측 데이터의 분석결과를 비교하였다.

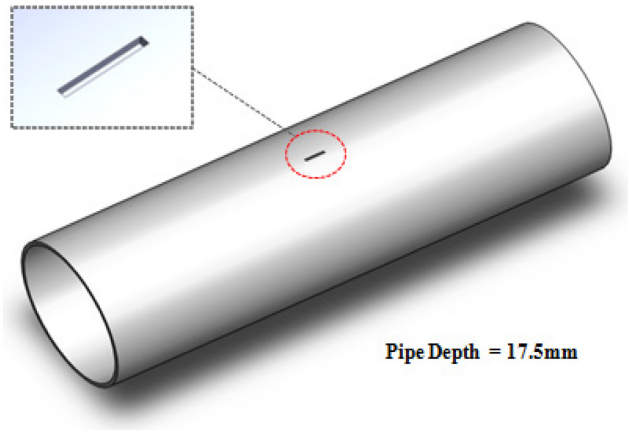


Fig. 12. (Color online) The shape of standard axial cracks.

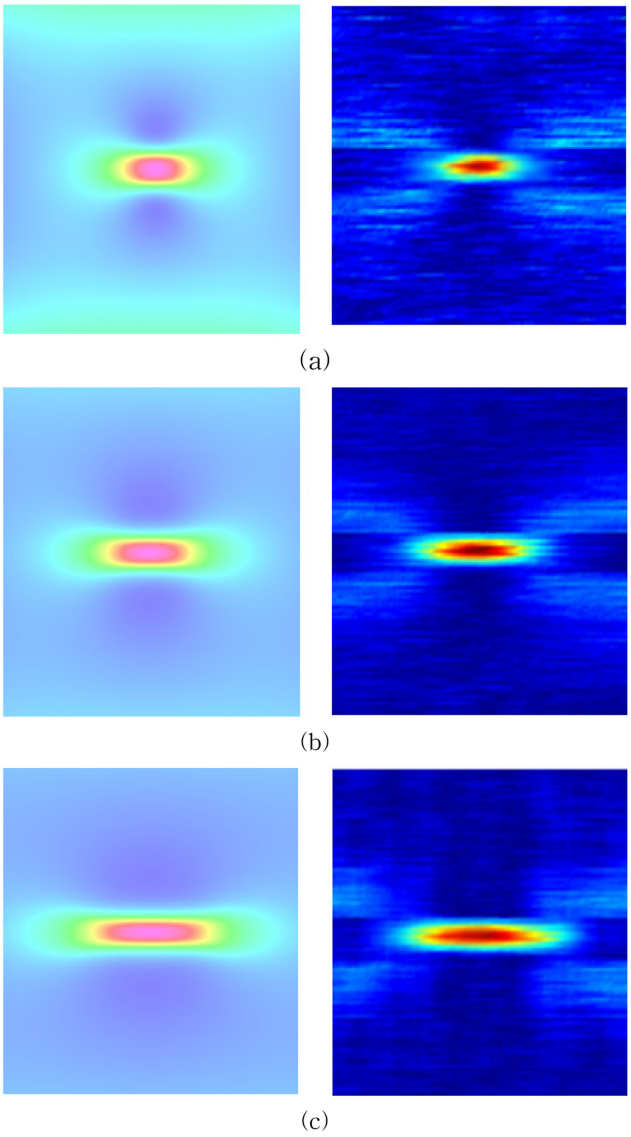


Fig. 13. (Color online) Simulated and measured field with respect to the defect LENGTH; (a) 25 mm, (b) 50 mm, (c) 70 mm.

결함의 길이에 따른 자계 분포를 확인하기 위해 결함의 폭과 깊이는 기준 결함의 치수에 고정하고 길이를 변경하면서 검출 신호를 분석하였다. 결함의 길이는 25 mm, 50 mm, 70 mm인 경우에 대해서 분석하였다. Fig. 13은 유한요소해석을 이용한 결함의 길이 변화에 따른 누설 자계 분포(왼쪽)와 홀센서가 탐지한 누설 자계 분포(오른쪽)를 나타낸 것이다. Fig. 14는 결함의 길이 변화에 따른 누설자속 검출 신호의 분포를 나타내었다. 결함의 폭과 깊이가 같을 때, 검출 신호의 폭과 크기는 결함의 길이가 길수록 증가하는 것을 알 수 있다.

결함의 폭이 누설 자속 신호에 미치는 영향을 확인하기 위하여 결함의 길이와 깊이를 기준 결함의 치수에 고정하고 폭

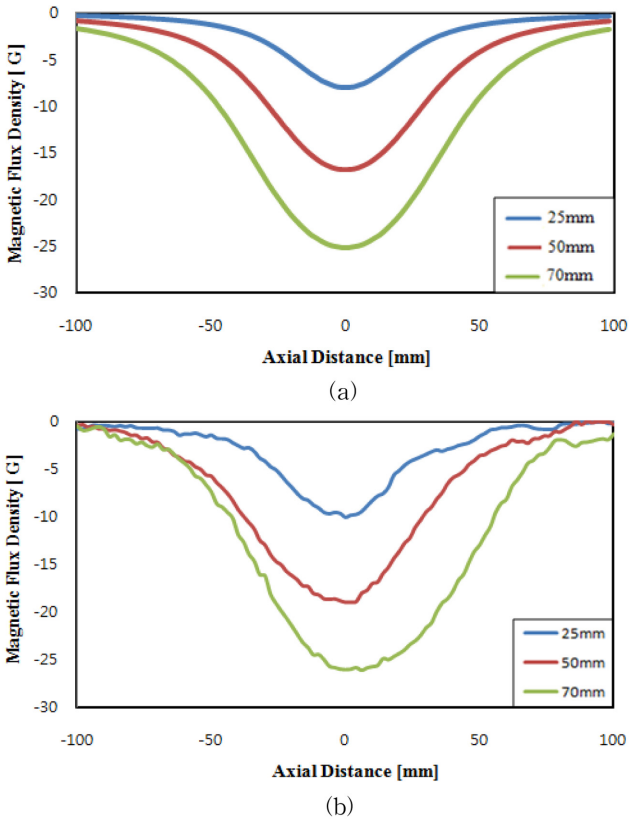


Fig. 14. (Color online) Defect signals with respect to the defect length; (a) FEM data, (b) Sensing data.

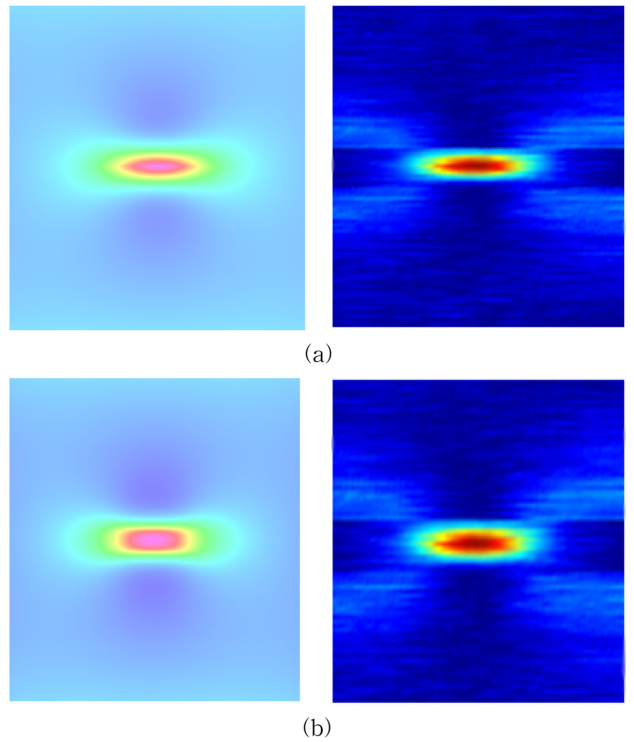


Fig. 15. (Color online) Simulated and measured field with respect to the defect WIDTH; (a) 0.2 mm, (b) 1 mm.

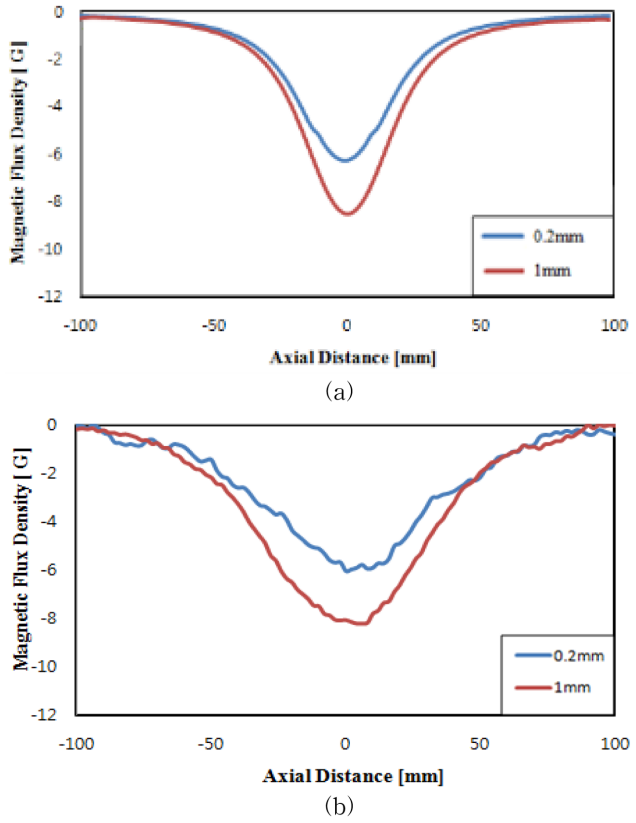


Fig. 16. (Color online) Defect signals with respect to the defect width; (a) FEM data, (b) sensing data.

을 0.2 mm, 1 mm로 변경하면서 확인하였다. Fig. 15는 유한요소해석을 이용한 결함의 폭 변화에 따른 누설 자계 분포(왼쪽)와 홀센서가 탐지한 누설 자계 분포(오른쪽)를 나타낸 것이다. Fig. 16은 결함의 폭 변화에 따른 누설 자속 검출 신호의 분포를 나타내었다. 결함의 길이와 깊이가 같을 때, 결함의 폭이 커질수록 검출 신호의 크기는 증가하는 특성을 보인다. 하지만 검출 신호의 폭은 결함의 폭 변화에 대해 선형적으로 증가하지 않는다.

결함의 깊이에 따른 영향을 확인하기 위해 결함의 길이와 폭을 기준 결함의 치수에 고정하고 깊이를 변경하면서 확인하였다. 결함의 깊이는 20 %, 40 %, 60 %에 대해서 분석하였다. Fig. 17은 유한요소해석을 이용한 결함의 깊이 변화에 따른 누설 자계 분포와 홀센서가 탐지한 누설 자계 분포를 나타낸 것이다.

누설 자속 신호의 크기는 결함의 깊이와 밀접한 관련이 있다. Fig. 18은 결함의 깊이 변화에 따른 누설 자속 신호의 분포를 나타낸 것이다. 결함의 깊이는 누설 자속 신호의 크기 변화에 영향을 미치며, 깊이가 깊을수록 누설되는 신호의 최대값은 증가한다. 즉, 누설 자속 신호의 크기는 결함의 길이와 폭을 고정시킨 상태에서 깊이에 대한 함수로 표현될 수

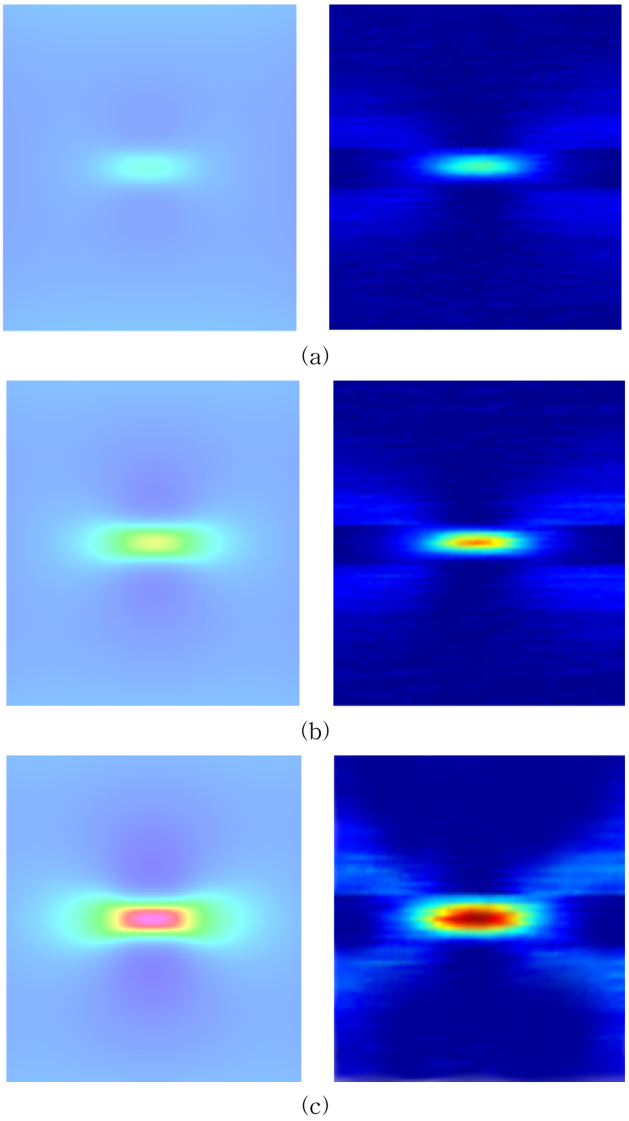


Fig. 17. (Color online) Simulated and Measured Field with respect to the defect DEPTH; (a) 20 %, (b) 40 %, (c) 60 %.

있으며 그 관계는 선형적으로 증가한다.

본 절에서는 결함의 형상 변화에 따른 누설 자속 검출 신호의 분포와 크기 변화를 분석하였다. 즉, 검출 신호의 분포와 크기는 결함의 길이, 폭, 깊이에 따라 달라지며, 이에 따른 변화량을 분석하여 축방향 결함의 유무 판별 및 결함의 형상을 확인할 수 있다.

V. 결 론

지하에 매설된 가스배관에 발생하는 결함에는 외부적인 환경에 의한 부식 및 변형, 축방향 미소결함이 있다. 그 중 축방향 미소결함은 기존 자기누설 비파괴 검사 시스템이 검출하지 못하는 아주 미세한 결함이며 사고 시 대형 사고로 이

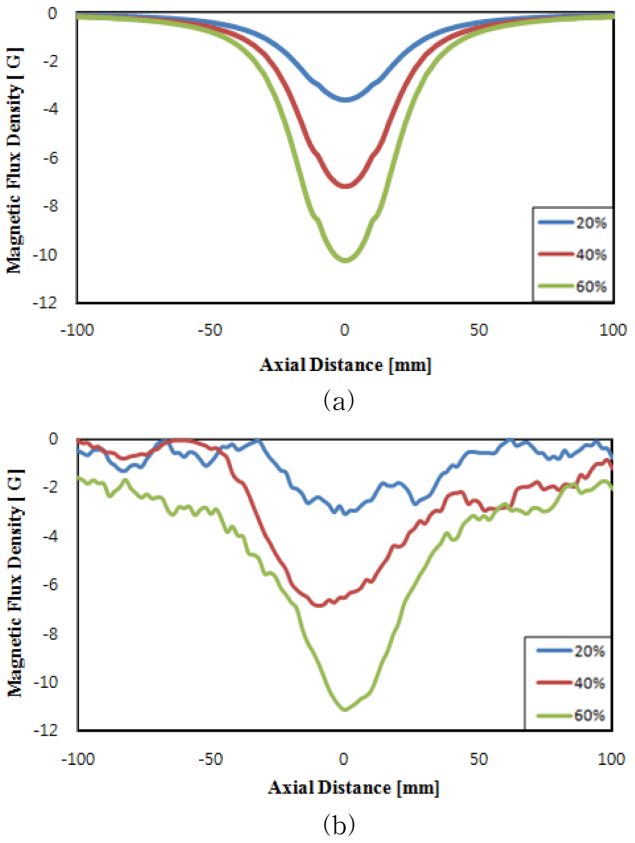


Fig. 18. (Color online) Defect signals with respect to the defect depth; (a) FEM data, (b) sensing data.

어지기 때문에 검출에 대한 중요성이 매우 크다. 기존 자기누설 비파괴 검사 시스템은 구조적 문제로 인해 축방향 미소결함 검출이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 가스배관에 발생하는 축방향 미소 결함의 검출을 위한 자기누설 방식의 비파괴 검사 방법에 대해 연구하였다. 기존 자기누설 비파괴 검사 시스템과는 달리 원주 방향으로 자기장을 인가하는 CMFL PIG의 구조를 제안하였고, 간략화 된 One Bed 시스템을 설계 및 제작 하였다. 3차원 수치 유한요소법을 이용한 비선형 자계 해석 결과와 실측 검출 신호의 비교 및 분석을 통하여 설계된 PIG를 검증하였고, 결함의 형상 변화에 따른 검출 신호의 크기와 분포 변화를 분석하였다. 원주 방향으로 위치한 여러 개의 센서의 오프셋 신호가 각각 다르며 이를 고려한 검출 신호로부터 순수 결함신호를 추출하였다. 또한 순수 결함신호 데이터를 취합하고, 결함의 유무 판별을 위한 Defect Image를 재합성하여 누설 자계 분포를 표현하였다.

따라서 본 논문에서 제안하는 축방향 미소결함 검출을 위한 자기누설 비파괴 검사 방법으로 크랙과 같은 미세결함의 형상 판별이 가능하다. 향후 더 많은 결함에 대한 자계 해석과 실측 데이터의 비교 및 검증을 통하여 검출 성능의 신뢰성을 향상시키고, 실측 검출 신호의 분포로부터 결함의 형상

을 추정하는 알고리즘 구현이 필요할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0006080).

참고문헌

[1] K. K. Tandon, Materials Selection & Design **36**, 75 (1997).
[2] H. Haines, P. C. Porter, and L. Barkdull, Pipeline & Gas Industry **82**, 49 (1999).
[3] Vijay Babbar, James Bryne and Lynann Clapham, NDT E Int. **38**, 471 (2005).
[4] Muhammad Afzal and Satish Udpa, NDT E Int. **35**, 449 (2002).
[5] J. B. Nestleroth, Battelle Report (2003).
[6] J. Grimes and A. N. de Alvarez, Proceedings of the 7th International Pipeline Conference, IPC2008-64275 (2008).
[7] R. C. Ireland and C. R. Torres, Sens. Actuators **129**, 197 (2006).

A Study on the Measurement of Axial Cracks in the Magnetic Flux Leakage NDT System

Hui Min Kim* and Gwan Soo Park
Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

Yong Woo Rho, Hui Ryong Yoo, Sung Ho Cho, Dong Kyu Kim, and Sung Ja Koo
Korea Gas Corporation R&D Division, Ansan 425-790, Korea

(Received 10 March 2012, Received in final form 23 April 2012, Accepted 23 April 2012)

From among the NDT (Non-Destructive Testing) methods, the MFL (Magnetic Flux Leakage) PIG (Pipeline Inspection Gauge) is especially suitable for testing pipelines because the pipeline has high magnetic permeability. MFL PIG showed high performance in detecting the metal loss and corrosions. However, MFL PIG is difficult to detect the crack which occured by exterior-interior pressure difference in pipelines and the shape of crack is very long and narrow. Therefore, the new PIG is needed to be researched and developed for detecting the cracks. The CMFL (Circumferential MF) PIG performs magnetic fields circumferentially and can maximize the magnetic flux leakage at the cracks. In this paper, CMFL PIG is designed and the distribution of the magnetic fields is analyzed by using 3 dimensional nonlinear finite element method (FEM). By Simulating and Measuring the magnetic leakage field, it is possible to detect of axial cracks in the pipeline.

Keywords : CMFL PIG, NDT (non-destructive testing), axial cracks, in-line inspection, FEM