

DCT 기반의 자기 누설 신호 분석을 통한 가스 배관에서의 결함 신호 특징 추출

한병길*, 박관수**, 유휘룡***, 노용우***, 최두현*
*경북대학교 전자전기컴퓨터학부, **부산대학교, ***한국가스공사

DCT based Magnetic Flux Leakage Analysis for Defect Feature Extraction of Gas Pipelines

Byung-Gil Han*, Gwan-Soo Park**, Hui-Ryong Yoo***, Young-Woo Rho***, Doo-Hyun Choi*
*School of Electrical Engineering & Computer Science, Kyungpook National University,
Pusan National University, *KOGAS
e-mail: *dhc@ee.knu.ac.kr

Abstract

Magnetic Flux Leakage (MFL) methods are widely employed for the non-destructive testing of gas pipelines. In the application of MFL pipeline inspection technology, corrosion anomalies are detected and identified via their leakage filed due to changes in wall thickness. This paper presents discrete cosine transform (DCT) based MFL signal analysis for defect feature extraction of natural gas pipelines. The original MFL signals are transformed into new ones based on the analysis. The usefulness of the approach has been shown by the experimental results.

I. 서론

지하에 매설된 관의 상태를 파악하기 위해 일반적으로 다양한 센서가 부착된 기계 혹은 로봇을 투입하여 정보를 수집하고 그 결과를 분석하는데, 이때 사용되는 기계를 Pig 라 한다. Geo Pig 는 주로 기계적인 형태의 왜곡을 파악하기 위해 배관 벽에 밀착되어 진행되는 여러 개의 핑거를 사용하는데, 이 핑거의 변형을 측정하여 배관의 왜곡을 추정하게 된다. MFL Pig 는 Geo Pig 에 의해 기계적인 심한 변형을 확인하고 개선한 후에 적용되는데, 여러 개의 홀 센서와 와 전류(Eddy current) 센서를 사용하여 배관 내 외부의 부식과 같은 손상에 관련된 정보를 수집한다.

MFL Pig 에서는 결함을 검출하기 위해 주로 가스 배관에서 사용되는 비파괴검사의 한 방법인 자기 누설 탐상법을 이용한다[1]. MFL Pig 가 배관에 투입되고 나면,

투입된 장비는 배관을 통해 흐르는 고압 가스의 흐름을 따라서 목적지까지 이동한다. 배관이 지하에 매설되어 있다는 것과 고압의 가스가 흐르는 배관이라는 환경으로 인해서 일단 투입된 Pig 는 목적지에 도착할 때까지 접근이 불가능하다. 또한, 정밀한 검사를 위해서 수백 개의 센서를 통해 수십에서 수백 킬로미터의 배관에 대한 데이터를 한번에 저장하기 때문에 그 센서 데이터의 양 또한 방대하다. 현재까지는 숙련된 분석가에 의해 수작업으로 데이터를 분석하고 배관의 결함을 검출해 왔는데, 많은 시간과 인력 및 비용을 소요되고 검사자의 상태에 따라 검사 결과의 일관성 및 신뢰성을 확보하기도 쉽지 않다.

본 논문에서는 MFL Pig 를 통해 획득된 자기 누설 신호에 대해 소개하고 그 특징을 간단히 정리한다. 아울러, 결함의 자동 검출을 위해 잡음이 많은 원 신호를 DCT(Discrete Cosine Transform)하여 그 특징점을 활용하는 방법을 제안하고 실제 신호에 적용하여 그 효용성을 분석하고자 한다.

II. 본론

가스 배관은 강자성체로 이루어져 있으며 배관을 자화시키면 배관의 벽면을 따라 자속이 흐르게 된다. 이 때 자화된 배관에서는 얼마간의 누설 자속이 생기게

되고 누설 자속의 크기는 배관의 두께에 따라 달라진다. 누설 자속을 측정하기 위해서는 홀(Hall) 센서가 이용된다. MFL Pig 에 장착된 홀 센서는 Pig 의 진행방향을 따라 축(axial), 동경(radial), 원주의 세 방향에 대해서 누설 자속을 측정한다. 이렇게 측정된 자기 누설 신호는 배관의 결함 영역에서 특정한 형태로 나타내게 된다. 그림 1(a)는 측정된 자기 누설 신호에서 배관의 결함 영역을 2D 이미지로 보여주고, 그림 1(b)는 결함 중앙부에서의 센서 하나에 대한 신호 특징을 보여준다.

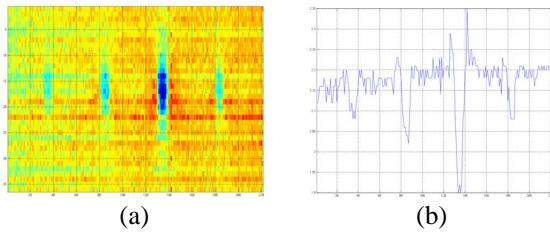


그림 1. 결함 영역에서 축 방향의 누설 자속 신호 (a) 2D 이미지 (b) 결함 중앙부의 한 센서의 누설 자속 신호

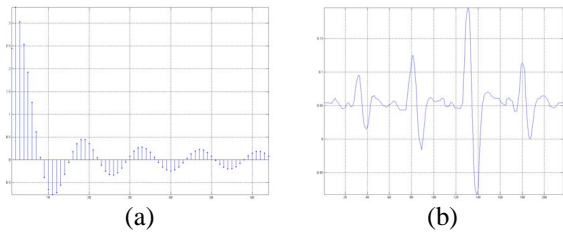


그림 2. DCT 변환된 결함 영역의 축 방향 신호 (a) 64 샘플(9 신호샘플+zero-padding) DCT 계수 (b) 0 교차 신호 값(8 번째 값)만을 가져온 결과

DCT 는 직교 변환 부호화 방식의 하나로써 FFT(Fast Fourier Transform)와 마찬가지로 시간축의 신호를 주파수축으로 변화하는데 사용되며, 변환을 위한 기저함수(basis function)로 이산적 코사인 함수를 사용한다. 식 (1)은 1 차원 DCT 의 정의이다. 여기서, $u=0,1,\dots,N-1$ 이고 상수 $C(u)$ 는 식 (2)와 같다.

$$F(u) = \frac{C(u)}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \cos\left(\frac{(2i+1)u\pi}{2N}\right) f(i), \quad u = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

$$C(u) = \begin{cases} \frac{\sqrt{2}}{2} & \text{if } u = 0, \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

그림 1 에서 보여진 신호의 경우 4 개의 서로 다른 결함이 연속해서 존재하고, 사람의 시각에 의한 직관적인 방법으로 그 위치를 찾을 수 있다. 이 경우에도 첫 번째 결함의 경우를 비추어 볼 때 이 신호 보다 미약한 신호의 경우에는 쉽지 않을 것이라는 것을 알 수 있다. 일정한 알고리즘에 의한 자동 검출을 목적으로 할 경우에는 결함 검출에 방해가 되는 잡음을 적절히 감소(noise suppression)시키고 미약한 결함 신호 부분에 대해서는 적절한 신호 향상(signal enhancement) 기법이 필요하다. 본 논문에서 제안하는 DCT 기반의 분석은 결함 영역에서 국부적으로 주변보다 낮은 값의 신호가 검출됨을 이용하여 일정한 크기의 신호를 연속적으로 가져와서 DCT 변환을 하고 결함 영역에서 두드러지는 신호의 특징을 추출한다. 그림 2(a)는 그림 1(b)의 신호에서 9 샘플을 가져와서 64 샘플이 되게 0 으로 채워 넣은(zero-padding) 후 DCT 변환한 계수이다. 그림 2(b)는 위의 과정을 순차적으로 적용시키고 각각의 DCT 변환 값에서 첫 번째로 0 을 지나는 8 번째 신호 값을 가져온 결과이다. 그림 2(b)를 보면 결함 영역에서 결함의 크기와 깊이에 따라 진폭은 다르지만 동일한 패턴으로 나타나는 것을 볼 수 있다.

III. 실험 결과 및 향후 연구 방향

그림 3 은 그림 1(a)의 신호를 본 논문에서 제안한 방법으로 변환하여 결함 영역에서의 특징이 추출된 신호를 2D 이미지로 나타내었다. 변환된 신호는 원 신호와 비교해서 뚜렷한 노이즈의 감소와 결함 영역에서의 두드러진 특징이 나타남을 볼 수 있다. 향후 원주 방향의 결함 검출을 위한 2 차원 DCT 를 이용한 신호 변환 등은 계속 연구되어야 할 것이다.

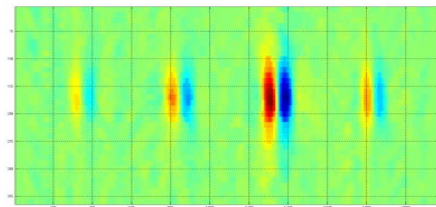


그림 3. DCT 변환 후 추출한 결함 신호

참고문헌

- [1] J. B. Nestleroth, T. A. Bubenik, "MFL technology for natural gas pipeline inspection", Topical Report, The Gas Pipeline Inspection, GRI-00/01, 1999.