

## Hall 센서 위치에 따른 MFL 특성 고찰

김 신\*, 이향범  
 숭실대학교 전기공학과

### Characteristics Magnetic Flux Leakage According to the Position of Hall Sensor

Sean Kim\*, Hyang-Beom Lee  
 Soongsil Univ.

**Abstract** - This paper describes a characteristics of MFL according to the position of Hall sensor Magnetic Flux Leakage(MFL) Method is used to detect surface defect in ferromagnetic plate. A plate has a surface defect and magnetizing equipment are produced to perform Non-Destructive Testing(NDT) using MFL. The SM 45C carbon steel plate is adopted to this experiment. there is a artificial defect with a twice of thickness and a half of depth of plate. Magnetizing equipment is composed of yoke made by layer-built of silicon sheet steel, NdFeB magnetic and iron brushes. Detecting defect is performed by MFL NDT using Hall sensor. It is shown that magnetic flux detected by Hall sensor is affected according to the position of Hall sensor through MFL experiment and numerical analysis.

## 1. 서 론

세계 경제가 발전함에 따라 원유 및 천연 가스와 같은 에너지가 대량으로 필요로 하게 되어 1950년대 이후로 많은 석유 파이프 및 가스 파이프라인들이 매설되어 도시와 도시, 도시와 산업지구 및 국경을 지나 이웃 나라로 에너지를 공급해 왔다. 현재 이렇게 매설된 배관들은 세월이 지나면서 배관제동의 외부 환경적인 영향에 의한 부식, 열화, 스트레스, 파괴 등으로 인하여 노후화가 가속화되어 사고의 위험에 노출되어 있어 이에 대한 설비의 교체 및 보수의 필요성이 증대되어 많은 돈과 시간을 투자하고 있다. 근래 20여전부터 석유 파이프 및 가스 파이프라인 등에 발생할 수 있는 부식과 결함에 대한 검사를 위해 많은 연구 및 검사가 진행되어지고 있다 [1,2,3,4].

강자성체로 이루어진 석유 및 가스 파이프의 결함을 검출하기 위한 방법으로는 초음파탐상검사(UT), 누설자속탐상 검사(MFL) 방법 등이 있다.

본 논문에서는 강자성체의 결함을 검출하기 위하여 누설자속탐상 검사 방법을 사용하였으며 인공결합이 있는 시험편에 대하여 Hall 센서를 이용하여 누설자속을 검출한 결과와 실험에 사용된 시험편에 대하여 수치해석을 수행한 결과를 제시하였다.

## 2. MFL 실험 및 수치해석

### 2.1 MFL 실험

MFL 실험을 수행하기 위하여 영구자석을 이용한 실험장치를 제작하였으며 결함을 검출하기 위하여 결함의 형상을 달리하여 시험편을 가공하였다. Hall 센서를 이용하여 시험편의 결함부위에서 발생하는 누설자속을 검출하여 검출 신호를 저장장치에 저장하였다.

### 2.1.1 실험 장치

MFL 실험 장치는 그림 1과 같이 구성하였다. 0.5 [mm] 규소강판을 적층하여 요크를 구성하였으며 요크 양 극단에 NdFeB 영구자석과 철 브러시를 부착하였다. 시험편의 결함부위에서 발생하는 누설자속을 검출하기 위하여 Allegro사의 A3508 linear Hall 센서를 사용하였다. Hall 센서에서 나오는 결함 검출 신호를 수집하기 위하여 National Instrument(NI)사의 DAQ보드의 일종인 PCI-6023E를 사용하였다. 실험장치내의 Hall 센서의 높이(lift-off)는 1[mm]로 고정하였으며, 약 5[mm]간격으로 6개의 Hall 센서를 실험장치 중앙에 시험편의 가로방향(Y축방향)으로 배열하였다.

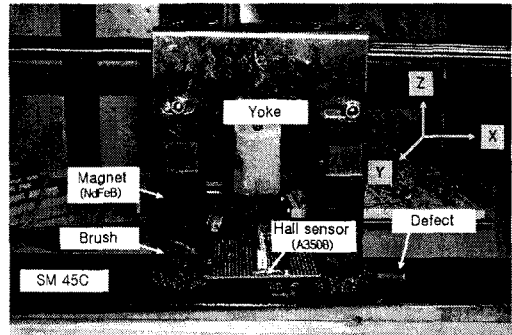


Fig. 1 Shape of testing equipment

### 2.1.2 시험편

시험편은 SM 45C(AISI 1045) 탄소강 표면에 그림 2와 같이 인공결합을 가공하였다. 시험편의 크기는 가로×세로×두께가 각각 600×100×12 [mm]이며 하나의 시험편에 두께를 기준으로 하여 하나의 인공결합을 가공하였다. Table. 1에 시험편의 인공결합에 대한 자세한 사양을 보였다.

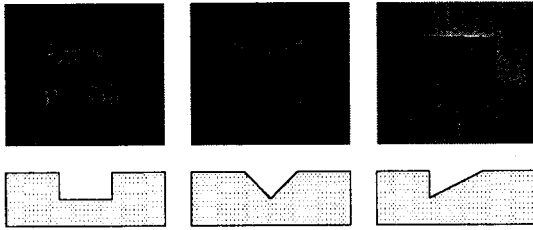
Table.1 Dimensions of defects on SM 45C plate specimen

(unit : mm)

Type	SM 45C	defect size			rate
	thickness	length	width	depth	[%]
A	11.95	23.9	23.85	6	50.2
B	11.8	24.1	23.4	5.9	50
C	11.35	24.05	23.85	6.1	53.7



Fig. 2 Testing object



(a) Type A (b) Type B (c) Type C  
Fig. 3 Shape of testing object (Type A, B, C)

실험을 수행하기 위하여 준비된 시험편은 결함 깊이가 모두 두께의 50%(1/2배)이며, 결함의 크기는 두께의 2배로 가공하였다. 시험편 Type A는 정사각 형태의 결함을 갖고 있으며, 시험편 Type B는 결함 시작과 끝에서 결함의 중앙을 기준으로 기울어진 형태의 결함을 갖고, 시험편 Type C는 결함 시작 부위에서부터 결함이 끝나는 부위까지 기울어진 형태를 갖는다. 시험편의 결함에 대한 자세한 형태는 그림 3에 보였다.

### 2.1.3 실험 결과

실험을 수행하기 위하여 시험편을 고정시킨 후 실험장치를 시험편의 X축방향(가로방향)으로 이동시켰다. 장치에 부착한 Hall 센서를 이용하여 X축방향에 대한 결함부위에서의 누설자속을 검출하였고, 각각의 결함에 대하여 그 결과를 제시하였으며, 시험편 Type A에 대하여 Hall 센서의 위치를 실험장치 양 극단 사이의 중앙을 기준으로 하여 0, +5, +10(mm)씩 변경하여 센서 위치 변화에 따른 검출신호의 변화 특성을 측정하였다. Hall 센서로부터 검출되는 결함 검출 신호는 매우 작기 때문에 Hall 센서 출력 다음 단계 증폭기를 삽입하여 신호를 증폭하였다.

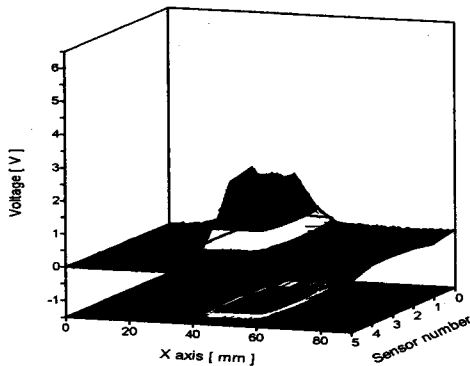


Fig. 4 MFL testing for Type A

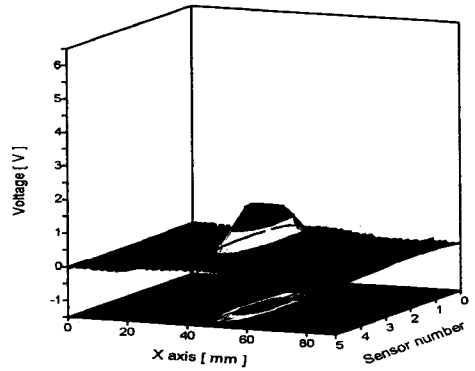


Fig. 5 MFL testing for Type B

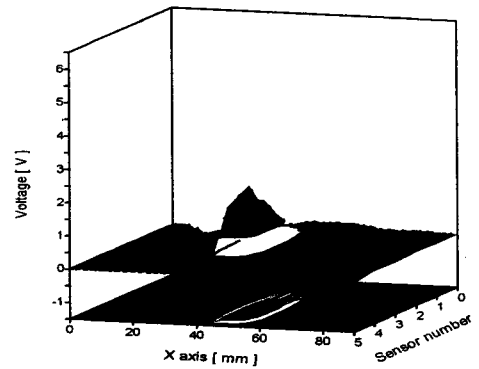


Fig. 6 MFL testing for Type C

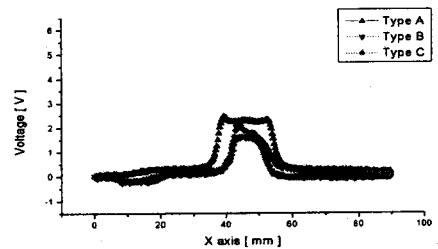


Fig. 7 MFL testing for Type A, B, C

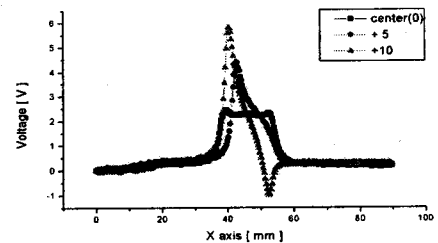


Fig. 8 MFL testing according to changes of sensor position (center(0), 5, 10 (mm))

그림 4에서부터 그림 6에서는 인공결함이 가공된 시험편 Type A, B, C에 대하여 결함부위에서의 누설자속을 A3508 Hall 센서를 사용하여 결함신호를 검출하여 각각의 결함에 대하여 나타내었으며 각 그림의 아래에는 XY평면에 대하여 나타내었다. 그림 7은 각각의 시험편에서 검출된 검출신호 중에서 가장 큰 값을 하나의 그래프로 나타내었다. 그림에서 보였듯이 결함의 형상이 변화하는 것에 따라 검출 신호의 크기 및 형태도 함께 변화함을 알 수 있다. 그림 8에서는 시험편 Type A에 대하여 Hall 센서의 위치를 실험장치 내의 중앙을 기준으로 하여 0(중앙), +5, +10[mm]씩 이동시켜 각 위치에서의 결함신호 특성을 나타내었다. 실제 실험장치에서 영구자석과 요크의 접촉면, 영구자석과 브러시의 접촉면 등에서 누설이 발생하여 누설자속의 영향으로 Hall 센서의 위치에 따른 출력신호의 형태와 크기에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 이러한 접촉부위에서의 누설자속에 의하여 시험편 Type A와 Type C의 구별에 어려움이 발생함을 알 수 있다. 따라서 실험장치내에서 누설자속이 발생하지 않도록 하거나 누설자속의 영향을 받지 않는 범위내에서 센서의 위치를 고려할 필요가 있다.

## 2.2 수치해석

시험편 Type A에 대한 수치해석을 수행하기 위하여 유한요소법을 사용하여 2차원으로 해석하였다. 실제 자기장 값을 예측하기 위하여 시험편 SM 45C의 비선형 특성을 고려한 비선형 해석을 수행하여 그 결과를 제시하였다.

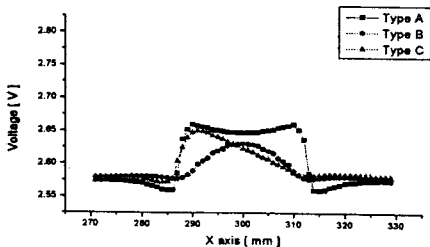


Fig. 9 Numerical analysis for Type A, B, C

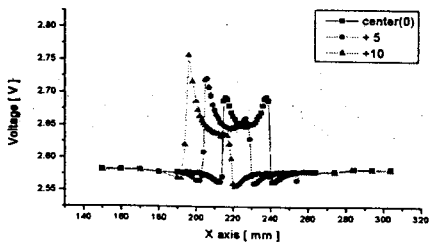


Fig. 10 Numerical analysis according to changes of sensor position (center(0), 5, 10 [mm])

그림 9에서는 시험편 Type A, B, C에 대하여 각각 수치해석을 수행한 결과를 보이고 있으며, 그림 10에서는 시험편 Type A에 대하여 실험과 같이 검출 위치를 0, +5, +10[mm]씩 변경하여 수치해석을 수행하였으며 그 결과를 나타내었다. 수치해석 결과와 실험결과를

비교해보면 센서가 중앙에 위치한 경우에 대하여는 거의 유사한 형태의 특성을 확인할 수 있었고, Hall 센서의 측정위치가 변경된 경우, 즉 +5, +10[mm]씩 각각 이동한 경우에는 수치해석 결과와 실험결과와 다소 차이를 보이고 있다. 이러한 것은 요크, 영구자석, 브러시 서로간의 접촉점에서의 누설이 예상외로 심하게 발생하여 검출 신호에 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다. 그 외에는 검출 신호의 특성은 수치해석과 실험결과가 결함 시작점에서의 신호의 급증과 결함 중단에서의 급감 특성이 유사함을 알 수 있다. 만약 실험장치 각각의 재질에 대한 정확한 재질 특성을 고려하고 3차원적인 해석 기법으로 해석할 경우 실험결과와 보다 유사한 신호 특성을 얻을 수 있을 것으로 예측된다.

## 3. 결론

강자성체에 존재하는 결함을 검출하기 위하여 비파괴 검사 방법으로 누설자속탐상 검사 방법을 사용하였다. 실험을 수행하기 위하여 영구자석을 사용한 실험장치를 제작하였으며 SM 45C 탄소강에 인공결함을 가공하였다. 결함부위에서 발생하는 누설자속을 검출하기 위한 Hall 센서로는 Allegro사의 A3508을 사용하였으며 미세한 결함신호를 증폭하여 저장하였다. 센서가 중앙에 위치한 경우 결함에 따라 충분히 결함을 예측 판단할 수 있었지만 센서의 위치가 변경된 경우에는 시험편의 결함부위에서 발생하는 누설자속 이외의 외부 영향(실험장비 접촉부위의 누설자속)으로 인하여 결함신호의 왜곡이 발생하여 결함형태에 따른 구분이 쉽지 않음을 알 수 있다. 따라서 누설자속탐상 검사에서 검사장비 자체의 누설이 발생하지 않도록 검사장비를 설계되거나, 누설이 발생하게 되는 경우 결함 검출신호에 영향을 미칠 수 있으므로 외부의 자속으로부터 영향을 받지 않도록 Hall 센서의 위치를 고려할 필요가 있다. 누설자속탐상에 대한 수치해석을 수행하여 실험 결과와 유사한 특성을 보였다. 보다 정확한 재질 특성이 주어지는 경우 수치해석을 사용하여 결함 예측이 충분히 가능하고, 입자의 결함에 대해서도 수치해석이 가능하며 실제 실험에 적용할 수 있음을 보였다. 또한 확보된 데이터를 가지고 누설자속탐상 검사 장비를 제작하는데 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

## (참고 문헌)

- [1] Dominic Paisley, Nathan Barrett, Owen Wilson, "Role of flow, metal studied in UK corrosion failures", Oil&Gas Journal, vol. 97, Issue 33, 1999
- [2] B. V. Samoilov, "In-line inspection, repairs used on aging Russian product lines", Oil&Gas Journal, vol. 96, Issue 47, 1998
- [3] Susan E. Miller, Michae A. Gardiner, Clive R. Ward, "In-line inspection detects early cracking on Canadian crude-oil line", Oil&Gas Journal, vol. 96, Issue 39, 1998
- [4] Robert J. Reld, "World's pipeline industry, while safe and reliable, must learn to cope with change", Oil&Gas Journal, vol. 96, Issue 35, 1998
- [5] Young-Kil Shin, "Numerical Prediction of Operating for Magnetic Flux Leakage Inspection of Moving Steel Sheets", IEEE Trans. on Mag., vol. 33, no. 2, March, 1997
- [6] J. B. Nestleroth, T. A. Bubenik, Magnetic Flux Leakage (MFL) Technology For Natural Gas Pipeline Inspection, GRI, February 1999