

강자성체 평판의 자속 누설 탐상 비파괴 실험 및 수치해석

김 신\*, 이향범  
 숭실대학교 전기공학과

Non-destructive Testing and Numerical Analysis  
 for Ferromagnetic Plates using Magnetic Flux Leakage Method

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

**Abstract** - In this paper, Magnetic Flux Leakage(MFL) method is used to detect surface defect in ferromagnetic plate. Surface defects are created on the SM 45C ferromagnetic plate and magnetizing equipment is composed to perform MFL nondestructive testing. The length and width of defect is twice the thickness of ferromagnetic plate, and defects with different depths are made artificially for the experiment. Also, NdFeB magnet in magnetizing equipment is used to make magnetic flux. This paper shows that it is possible to detect 10% defect and to analyze numerically for any defect using MFL method.

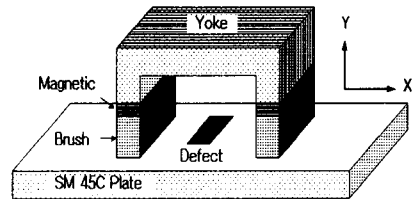


Fig. 1 Shape of magnetizing yoke and steel plate

1. 서 론

강자성체의 결함을 측정하기 위한 비파괴 검사 방법으로 초음파 탐상 검사 방법이 결함 검출에 우수한 성능을 가지고 있어서 널리 사용되어 지고 있다. 그러나 초음파 탐상 검사 방법은 검사원에 따라 검사 결과가 달라질 수 있어 숙련된 검사원을 필요로 한다[1].

자속 누설 탐상 방법은 일반적으로 가스파이프나 석유 파이프의 결함을 검출하는데 사용되어지고 있다[2]. 초음파 탐상 검사 방법에 비해 검사원의 기량이 필요하지 않고 고속 주사가 가능하며 출력이 전기신호로 얻어지므로 자동화 할 수 있으며 기록의 보존이 가능하므로 객관적인 시험이 가능하다는 장점이 있다. 자속 누설 탐상을 위해 강자성체를 자화 시킬 필요가 있는데 자화 장치로는 영구자석이나 전자석을 사용하게 된다[3,4]. 전자석을 사용하는 경우에는 자속을 발생시키는데 필요한 전원이 필요로 하게 되고 여자 코일에 의해 자화 장치의 무게가 무거워지지만 영구자석의 경우에는 전원 및 여자 코일이 필요로 하지 않기 때문에 경제적이고 자화장치의 경량화가 가능하다는 장점이 있다.

본 논문에서는 영구자속을 이용한 자화장치 및 비교 시험편을 제작하여 자속 누설을 이용한 강자성체 평판의 비파괴 검사를 수행하여 결함의 유무를 판별하고 수치해석을 수행하였으며 그 결과를 제시하였다.

2. 비파괴 측정 및 수치해석

2.1 측정 시스템 구성

자속 누설 탐상 실험을 위해 자화 장치는 Fig. 1 과 같고, Yoke는 두께 0.5[mm]의 규소 강판(PN-18)을 적층하였으며, Yoke의 양단에 NdFeB 자석과 철 브러쉬를 각각 부착하여 자체 제작하였다.

누설 자속을 검출하기 위해서는 Allegro사의 3517 linear Hall 센서를 사용하였다. Hall 센서에서 나오는 신호를 수집하기 위하여 National Instrument(NI)사의 DAQ보드 PCI-6023E를 사용하였다.

2.2 비교 시험편

비파괴 측정을 수행하기 위해 구조용 탄소강 SM 45C(AISI 1045)를 사용하여 비교 시험편을 제작하였다.

비교 시험편의 크기는 600mm×100mm×12mm 이고, 한 개의 비교 시험편에 한 개의 인공결함을 가공하였다. 결함의 길이와 폭은 비교 시험편의 두께를 기준으로 하여 2배의 크기로 하였으며 결함 깊이를 달리하여 인공 결함을 가공하였다. Table 1에 비교 시험편의 인공 결함에 대한 사양을 보였다.

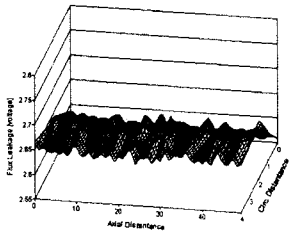
Table 1 Dimensions of defects on SM 45C plate specimen

unit [mm]

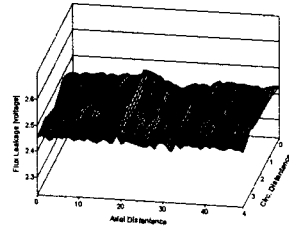
Type	SM45C	defect size			rate
	thickness	length	width	depth	[%]
Type A	11.85	24.1	23.95	0.65	5.49
Type B	11.7	23.85	23.75	1.3	11.1
Type C	11.55	24.05	23.9	2.45	21.2
Type D	11.95	23.9	23.85	6	50.2
Type E	11.75	23.65	23.65	9.6	81.7

2.3 실험 결과

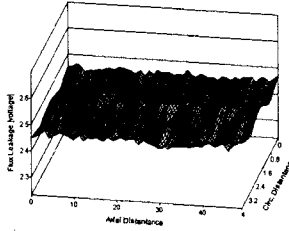
실험을 수행하기 위해 비교 시험편을 고정시켜 자화 장치를 X축 방향으로 이동시켰다. 장치에 장착한 Hall 센서를 이용하여 결함부위에서의 결함 신호를 검출하였고, 각각의 결함에 대하여 그 결과를 제시하였다. 자화 장치에 부착된 Hall 센서의 위치는 자화장치 양 극 사이의 중앙에 위치시켰으며 Hall 센서의 높이(lift-off)는 1[mm]로 고정하였다.



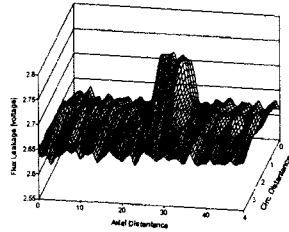
(a) Type A (depth 5.49%) : X axial



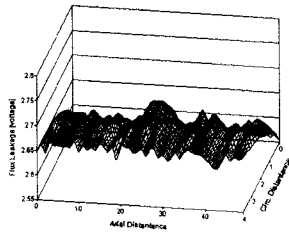
(b) Type C (depth 21.2%) : Y axial  
Fig. 4 Measurement of Type C scan result



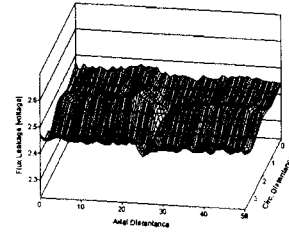
(b) Type A (depth 5.49%) : Y axial  
Fig. 2 Measurement of Type A scan result



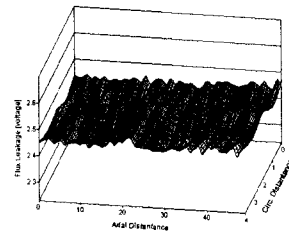
(a) Type D (depth 50.2%) : X axial



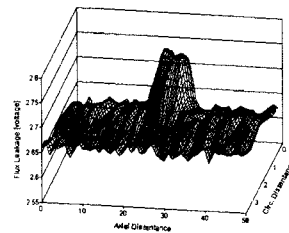
(a) Type B (depth 11.1%) : X axial



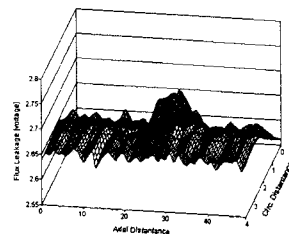
(b) Type D (depth 50.2%) : Y axial  
Fig. 5 Measurement of Type D scan result



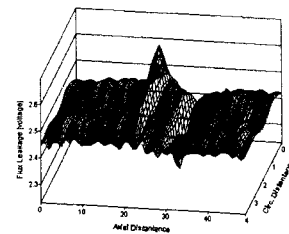
(b) Type B (depth 11.1%) : Y axial  
Fig. 3 Measurement of Type B scan result



(a) Type E (depth 81.7%) : X axial



(a) Type C (depth 21.2%) : X axial



(b) Type E (depth 81.7%) : Y axial  
Fig. 6 Measurement of Type E scan result

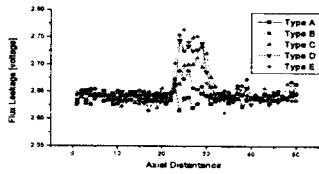


Fig. 7 Signal values at various depth : X axial

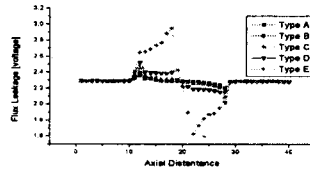


Fig. 10 Signal values at various depth : Y axial

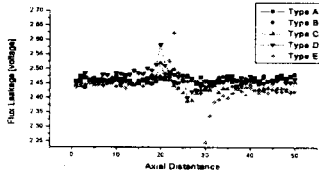


Fig. 8 Signal values at various depth : Y axial

Fig. 2부터 Fig. 6은 각각의 결함 깊이에 따라 Hall 센서의 출력 신호를 3D로 나타내었다. 비교 시험편 Type A의 결함 검출은 노이즈 성분과 센서 출력 신호가 비슷하여 결함 검출에는 쉽지 않았다. 그러나 비교 시험편 Type B에서부터 Type E는 센서 출력 신호를 통해 결함의 유무를 판별할 수 있었다. 자화장치의 진행 방향(X축)에 대한 결함 검출 신호는 센서가 결함에 거의 도착한 경우부터 누설 자속의 변화를 검출할 수 있었으며, 자화장치 진행 방향에 수직 방향(Y축)인 경우에는 센서가 결함에 도달하기 전부터 누설 자속이 검출되었다. 이것은 자화장치의 한쪽 극이 결함을 지나면서 발생하는 누설 자속에 의한 것으로 사료된다. Fig. 7은 Fig. 2부터 Fig. 6까지의 X축 방향에 대한 검출 신호 중에서 최대 출력 신호를 서로 비교하였고 Fig. 8은 Y축 방향에 대한 검출 신호를 서로 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이 결함의 깊이가 증가할수록 Hall 센서에 출력되는 신호 역시 증가함을 알 수 있다. 검출 신호 중 결함 부위에서 출력 신호가 증가했다가 일정 부분 감소하는 이유는 결함의 깊이가 깊어서 나타나는 현상이라고 사료된다.

#### 2.4 수치해석 및 결과

수치해석을 위해 유한 요소 방법을 사용하였으며 실제 자기장 값을 예측하기 위해 비선형 해석을 수행하여 그 결과를 제시하였다.

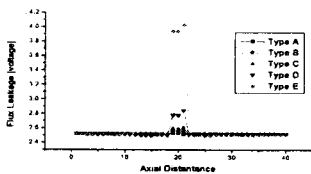


Fig. 9 Signal values at various depth : X axial

Fig. 9는 X축 방향에 대하여 수치해석을 수행한 결과를 각각의 결함 종류에 따라서 나타내었으며 Fig. 10은 Y축 방향에 대하여 나타내었다. 수치해석 결과 역시 결함 깊이가 증가할수록 검출 신호가 증가하였으며 결함에

따라서 그 특성을 구별할 수 있었다. X축 방향으로 센서가 결함을 지나는 경우에 결함 출력 신호를 얻을 수 있었다. 그리고 Y축 방향은 결함 이외의 지역에서부터 출력 신호가 변화하였다. 이것은 자화장치의 한 극이 결함에 위치해 있을 경우에 누설되는 자속의 영향임을 알 수 있었다. 실험에서도 이와 같은 형태의 출력 신호를 얻을 수 있었다. 수치해석 결과와 실험 결과는 약간의 차이를 보이고 있는데, 이것은 2D 수치해석 과정에서 노이즈와 결함 부위에서 자속이 X축, Y축 이외의 방향으로 흐르는 것을 계산하지 못했기 때문이라고 사료된다. 변화 특성은 거의 일치하였으며, 수치해석을 통해서 임의의 결함에 대해서도 결함 신호를 예측할 수 있음을 보였다.

### 3. 결 론

강자성체의 표면을 검사하기 위하여 종래에 사용되는 초음파 탐상 검사 방법과는 다른 자속 누설 탐상 방법을 수행하였다. 자속 누설 탐상을 위하여 자화 장치 및 비교 시험편을 제작하였으며, 누설 자속을 측정하기 위하여 Hall 센서를 사용하였다. 인공 결함의 깊이가 증가할수록 Hall 센서에 출력된 신호의 크기는 비례하여 증가하였다. 실험에 사용된 Allegro 3517을 자기센서로 활용한 경우 10%~80%의 결함을 검출하는데 충분한 감도를 나타내었다. 수치해석 결과 역시 결함의 깊이가 증가할수록 비례하여 누설 자속이 증가하였다. 실험과 수치해석을 통해 자화장치의 한 극이 결함 부위에 있을 경우에 자화장치 진행 방향(X축)과 수직인 방향(Y축)에 대하여 누설 자속에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

자속 누설 탐상 실험 및 수치해석 결과 그 변화특성이 일정하게 변함을 알 수 있었고, 임의의 결함에 대하여 수치해석적으로 해석이 가능하고, 실제 자속 누설 탐상에 적용할 수 있음을 알 수 있다. 앞으로 다양한 길이, 깊이, 폭 등을 갖는 결함에 대하여 자속 누설 탐상 실험과 수치해석을 수행하여 실제 현장에서 적용할 수 있도록 데이터 베이스가 확보될 필요가 있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 송성진, 신현재, 장유현, "강 구조물의 비파괴 검사를 위한 위상 배열 초음파 탐상 시스템의 개발과 탐촉자 모델링", 한국 비파괴 검사 학회, 2000 추계학술발표회, pp. 208-217, 2000
- [2] K. Mandal, D. Dufour, and D. L. Atherton, "Use of Magnetic Barkhausen Noise and Magnetic Flux Leakage Signals for Analysis of Defects in Pipeline Steel", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 35, no. 3, pp. 2007-2017, 1999
- [3] S. Leonard and D. L. Atherton, "Calculation of the Effects of Anisotropy on Magnetic Flux Leakage Detector Signals", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 32, no. 3, pp. 1905-1909, 1996
- [4] 임종수, 손대락, 임기현, "교류누설자속을 이용한 롤 표면 결함 탐상기술 개발", 한국비파괴 검사 학회, 2000 추계학술발표회, pp. 332-341, 2000