

# 금속 구조체의 미소결함검사에 대한 기초적인 검토

Defect detection for a conductor using amorphous wire sensor head

김영학\*, 신광호\*\*

Y. H. Kim, K. H. Shin

\*부경대학교 전기공학과

Department of Electrical Engineering, Pukyong National University

\*\* 경성대학교 멀티미디어 공학부

Division of Information and Science, Kyung Sung University

## 요약-

아몰퍼스 자성와이어를 센서헤드로 이용한 금속 구조체의 미세결함 검사에 대해 검토하였다. 측정 방법은 스파이럴 코일의 균일 자장범위에 직선 갭을 가진 동판을 놓고 갭 주위를 관통하는 자속량의 차이를 센서헤드의 유기전압으로 측정하는 것이다. 이 결과 두께 1mm, 갭폭 0.5mm의 동판에 대해 100kHz~600kHz의 주파수 범위에 있어서 갭 근방에서 약 2.5mV의 전압차가 얻어져 결함의 유무를 확인할 수 있었다.

## abstract-

A defect detection test was performed for a conductor using a amorphous wire sensor head. A uniform magnetic field was applied in the space between the most inner conductors of a spiral-typed coil. The conductor with a defect was placed on the space between the most inner conductors of spiral-typed coil. The defect can be detected from the differences of induced voltage measured in the vicinity of gap of the conductor. The induced voltage difference of 2.5mV was measured in the gap vicinity of the 1mm thick conductor having 0.5mm gap in the frequency region of 100kHz~600kHz.

## 1. 서론

비접촉, 비파괴 검사방법 중, 교류자계를 인

가하여 와전류의 발생 유무를 확인함으로써 금속 구조체의 결함이나 금속존재의 유무를 검사하는 방법[1]-[2]이 종전부터 이용되어 왔다. 이 방법의 특징은 권선에 교류전류를 흘려 피검사체인 금속체에 교류자장을 인가하기 때문에 측정원리가 매우 간단하다는 것과 X선 검사 등과 같이 고가의 측정시스템을 필요로 하지 않는 것이다.

그러나 이 검사방법은 검출코일의 권선에 유기되는 자속량의 변화를 이용하는 만큼 금속체 내의 결함이 작아지면 검출코일의 크기가 작아져 측정하는 유기되는 전압이 작아지게 된다. 따라서 이 방법으로는 측정할 수 있는 결함의 크기가 검출코일의 크기에 제한된다.

본 논문에서는 직경이 작고, 투자율이 높은 아몰퍼스 자성와이어[3]-[5]를 센서헤드로 이용하여 금속 구조체 내의 미소한 크기의 결함을 찾아내는 방법에 대해 검토하였다.

## 2. 실험방법

그림 1은 측정구성도를 나타낸 것이다. 스파이럴 코일은 직경이 0.1mm의 동선을 이용하여 외변의 길이가 40mm, 내변의 길이가 8mm의 정사각형으로, 코일턴수를 67턴으로 하여 제작하였다. 스파이럴 코일에 자장을 발생시키기 위해 신호발생기로부터 입력된 신호를 파워증폭기로 증폭하여 코일에 인가하였다. 이때, 주파수를

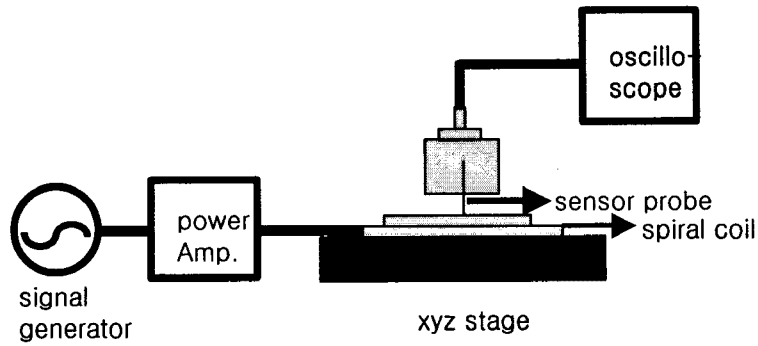


그림 1 측정 구성도

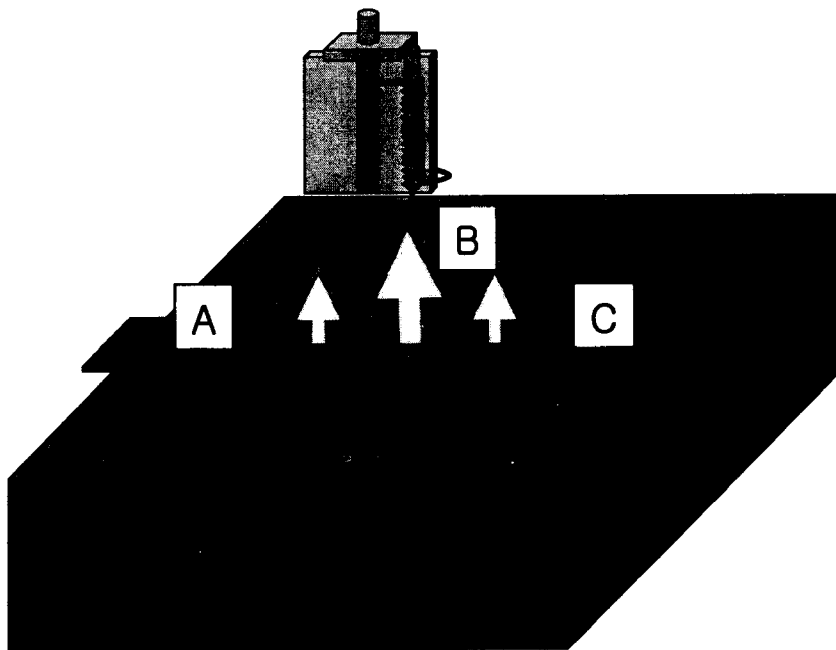
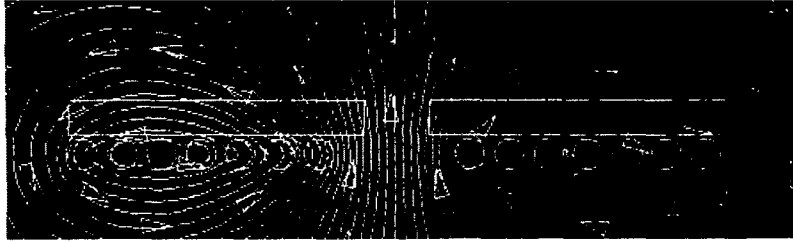


그림 2 측정원리

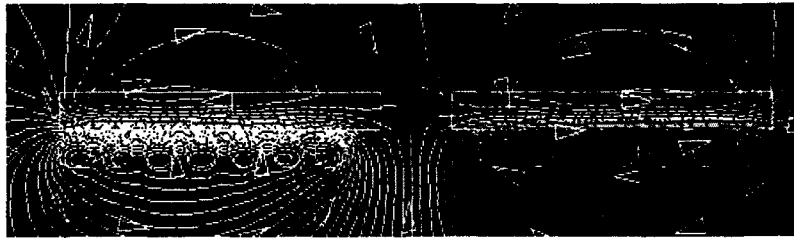
100kHz~600kHz로 변화시켰다. 센서헤드는 직경이  $100\mu\text{m}$ , 길이가 15mm의 Co-base 아몰퍼스 와이어를 피복에 넣어 피복의 원주방향으로 156턴을 감아 제작되었다. 센서헤드로부터의 전압을 측정하기 위해 3.5mm SMA코넥터가 부착된 마이크로스트립선로에 접속하여 오실로스코프에 연결하였다. 스파이럴 코일은 xyz 스테이지에 고정시켜 스테이지를 조정함에 의해 시료의 좌우 이동 및 코일과 센서헤드 사이의 거리를 조정하였다. 거리이동은 1mm 간격으로 마킹된 눈금표시를 이용하여 손과 눈에 의해 조정되었다. 시료는 두께 1mm의 사각동판을 약 0.5mm 간격을 유지한 것으로 하였다.

### 3. 동작원리

그림 2는 동작원리를 설명한 그림이다. 스파이럴 코일에서 도선에 흐르는 전류는 그림에서 B를 기준으로 A쪽 도선과 C쪽 도선의 전류방향이 서로 반대된다. 이 때문에 코일의 중심부, 즉 코일의 내변 사이에는 z축 방향의 자속이 집중된다. 코일의 중심부 위에 도체를 두면 도체 내에서는 와전류가 발생하게 되므로 z방향 성분의 자속은 크게 감소한다. 그러나 코일 중앙부에 갭을 가지는 도체를 두면 갭 사이에는 와전류가 발생하지 않으므로 자속의 z성분이 그림과 같이 갭 사이로 관통하게 된다. 따라서 자속의 z성분



(a) dc



(b) ac (f=100kHz)

그림 3 전자장 해석

의 크기를 측정하여 도체의 절단, 혹은 균열을 판단하게 된다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

그림 3은 도체에서 발생하는 와전류에 의한 자속의 변화를 확인하기 위해 전자장 해석을 한 결과이다. 이 해석에는 maxwell 2D 소프트웨어를 이용하였다. 그리고 측정 원리를 확인하기 위한 해석이었기 때문에 실제 대상체의 크기를 적용하지 않았다.

그림(a)에서와 같이 직류전류에 의한 자장은 중심부로부터 왼쪽과 오른쪽의 자속의 흐름은 반대이지만 중심부에 자속이 집중되어 있음을 알 수 있다. 그림(b)에서와 같이 100kHz의 교류전류를 흘린 경우에는 대부분의 자속이 도체에서 발생하는 와전류에 의한 자속으로 인해 도체를 통과하지 못하고 도체의 단면방향으로 우회하고 있음을 알 수 있다. 그러나 코일의 중심부에는 갭에 의한 와전류의 감소로 인해 일부의 자속이 도체표면에 수직방향으로 관통하고 있다.

그림 4는 센서헤드로 이용된 아몰퍼스 와이어의 인덕턴스를 주파수에 대해 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 아몰퍼스 와이어의 길이가 길수록 인덕턴스가 증가함을 알 수 있다. 이것은 와이어 자화가 길이방향으로 되어 있어 길이가 짧아질수록 반자계의 영향이 커지기 때문이다. 따라서 센서헤드를 구성하는 아몰퍼스 와이어의 길이는 가능한 긴 것이 바람직하다.

그림 5는 스파이럴 코일 위에 도체를 둔 경우와 두지 않는 경우의 센서헤드로부터 측정된 전압을 나타낸 것이다. 이 때 센서헤드는 코일의 중심부로부터 x, y방향으로는  $\pm 4\text{mm}$ 의 범위에서 1mm씩 이동시켰으며 z방향으로는 약 1mm로 고정하였다. 여기서  $\pm 4\text{mm}$ 의 범위는 스파이럴 코일의 중심에서부터 내변 사이의 거리이다. 센서헤드에 유기되는 전압은 도체의 유무에 따라 약 20.3mV에서 1.7mV로 감소하였고 도체에 의해 자속이 -20dB 감쇠하였다. 그리고 x, y방향으로 센서헤드를 이동시켰을 때 도체 유무에 관계없이 측정된 전압이 일정하여 이 범위에서의 z방향의 자속이 거의 균일함을 알 수 있다.

그림 6은 스파이럴 코일 위에 갭을 가진 도체를 둔 경우 갭으로부터  $\pm 4\text{mm}$ 의 범위에서 1mm씩 이동시켰을 때 측정된 전압을 나타낸 것이다. 이 때 갭의 크기는 0.5mm이며 코일에는 100kHz

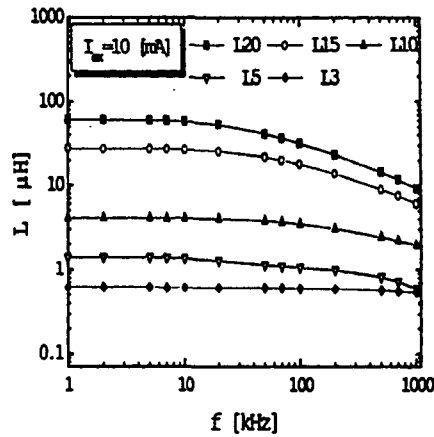


그림 4 아몰퍼스 와이어의 길이에 따른 인덕턴스의 주파수 의존성.

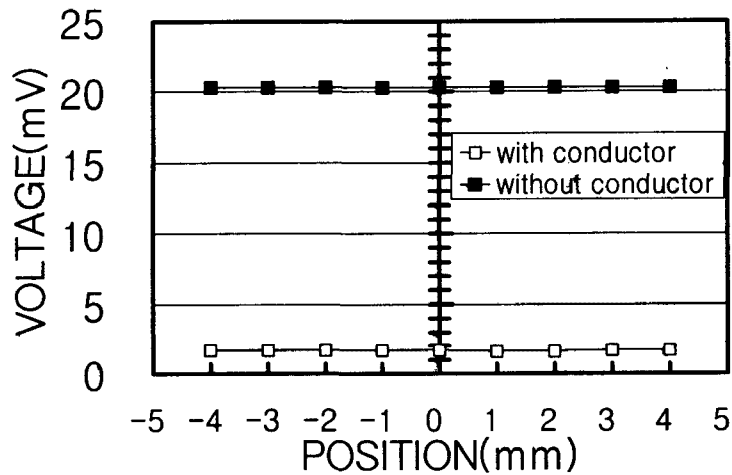


그림 5 스파이럴 코일 위에 도체를 둔 경우와 두지 않은 경우의 전압

z ~ 600kHz의 범위에서 주파수를 변화시켰다. 그리고 코일에 인가하는 전류는 각 주파수에서 센서헤드에 유기되는 전압이 약 9mV가 되도록 조정하였다. 그림에서와 같이 갭의 중앙부에서 가장 큰 전압이 유기되며 갭에서 멀어질수록 전압의 크기가 감소하였다. 갭의 중앙부와 4mm 떨어진 점의 전압차는 주파수에 따른 변화는 나타나지 않고 어느 주파수에서도 거의 2.5mV의 전압차가 났다.

## 5. 결론

아몰퍼스 자성 와이어를 센서헤드를 이용한 금속의 미세결함 검사에 대해 검토하였다. 측정방법은 스파이럴 코일의 균일 자장범위에 직선 갭을 가진 동판을 놓고 갭 주위를 관통하는 자속량의 차이를 센서헤드의 유기전압으로 측정하는 것이었다. 이 결과 두께 1mm, 갭폭 0.5mm의 동판에 대해 주파수 100kHz ~ 600kHz의 범위에서 갭 근방에서 측정된 전압의 차가 약 2.5mV였다. 이 실험으로부터 본 측정원리를 이용하여 금속체의 미세한 결함을 검사하는데 적용할 수 있음을 확인하였다.

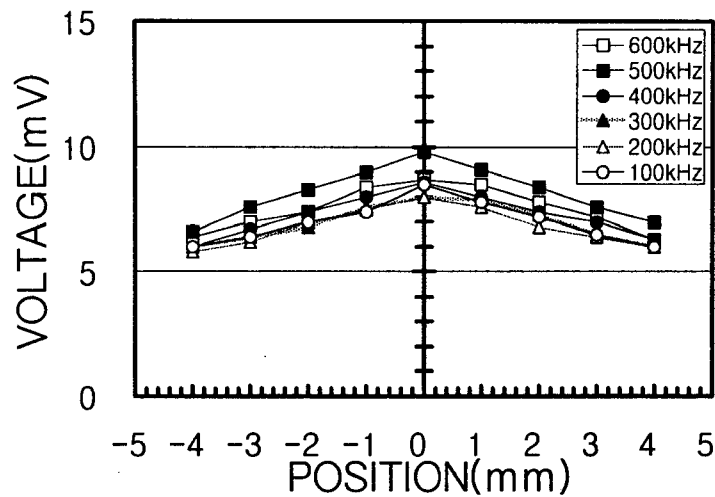


그림 6 도체 갭 주위에서 측정된 전압

#### 참고문헌

- [1]S. H. H. Sadeghi and A. H. Salemi, " Electromagnetic field distributions around conducting slabs, produced by eddy-current probes with arbitrary shapes current-carrying excitation loop", IEE Proceedings Science Measurement and Technology vol. 148, pp187-192, 2001.
- [2]M tanaka and H Tsuboi, "Finite Element Model of natural crack in eddy current testing problem", IEEE Transaction on Magnetism, vol.37, pp3125-3128, 2001.
- [3]R.S. Beach and A. E. Berkowitz, "Giant magnetic field dependent impedance of amorphous FeCoSiB wire", Appl. Phys. Lett. vol. 64, pp3652-3654, 1994.
- [4]L. V. Panina, K. Mohri, K. Bushida and M. Noda, "Giant magneto-impedance and magneto-inductive effects in amorphous alloys", J. Appl. Phys. vol. 76, pp6198-6203, 1994.
- [5]K. Mohri, "Magneto-inductive element", IEEE Transaction on Magnetism vol. 29, No. 2, 1993.