

## 아몰퍼스 와이어의 ECT probe 적용에 대한 검토

### Application of Amorphous wire to ECT(Eddy Current Testing) Probe

김영학\*, 신광호\*\*, 사공 건\*\*\*

Y. H. Kim, K. H. Shin, Gun, Sa-Gong

#### Abstract

ECT(eddy currentign testing) is very effective technique to detect a flaw within a conductor. Co-based amorphous wire was used as a sensor head. The wire has almost 0 magneto-striction and high permeability. An uniform magnetic field was applied to 1mm thick copper plate and 25 $\mu$ m thick aluminum sheet conductor using spiral typed coil. The size of the coil has 40mm $\times$ 40mm outer width and 8mm $\times$ 8mm inner width. The copper plate and aluminum sheet has 0.5mm and 0.1mm wide gap, respectively. The frequency range of applied field was 100kHz-600kHz. The induced voltage difference of 2.5mV was obtained in the maximum voltage and minimum one measured across the gap of the 1mm thick conductor. In the case of aluminum sheet, 0.4mV was obtained. From this results, the effectiveness of Co-based amorphous wire was confirmed in the ECT technique.

**key word:** ECT, Amorphous wire, magnetic field, skin effect, induced voltage

#### 1.서론

ECT[1]-[2]는 비접촉, 비파괴로 검사하는 방법 중, 교류자계를 이용하므로 와전류의 발생 유, 무의 확인으로 금속 구조체의 결함이나 금속존재의 유무를 검사할 수 있어 종전부터 이용되어 왔다. 이 방법의 특징은 권선에 교류전류를 흘려 피검사체인 금속체에 교류자장을 인가하기 때문에 측정장치 및 원리가 매우 간단하다는 것과 X선 검사 등과 같이 고가의 측정시스템을 필요로 하지 않다는 것이다.

그러나 이 검사방법은 검출코일의 권선에 유기되는 자속량의 변화를 이용하는 만큼 금속체 내의 결함이 작아지면 검출코일의 크기가 작아져 측정하는 1유기전압이 작아지게 된다. 즉, 따라서 이 방법

로는 측정할 수 있는 결함의 크기가 검출코일의 크기에 제한된다.

본 논문에서는 적경이 작고, 투자율이 높은 아몰퍼스 자성와이어[3]-[5]를 ECT(Eddy Current Testing) 센서헤드에 이용하여 금속 구조체 내의 미소한 크기의 결함을 찾아내는 방법에 대해 검토하였다.

#### 2.실험방법

그림 1은 측정구성을 나타낸 것이다. 스파이럴 코일 위에는 결함 검사에 이용되는 도체가 두어지고 여기에 신호발생기로부터 증폭된 교류전류가 통전된다. 이 때 발생하는 자장의 주파수를 100kHz-600kHz로 하였다. 이 코일로부터 발생된 자장은 검사용 도체를 관통하게 되며 코일 위에 위치하고 있는 아몰퍼스 센세헤드에 검출된다. 그림 2는 제작된 자장

\*김영학: 부경대학교 전기공학과  
\*\* 신광호: 경성대학교 멀티미디어 공학부  
\*\*\* 사공건: 동아대학교 전기공학과

발생용 스파이럴 코일과는 마이크로 스트립선로에 부착된 아몰퍼스 센서헤드를 나타낸 것이다. 스파이

위에 도체를 두면 도체 내에서는 와전류가 발생하게

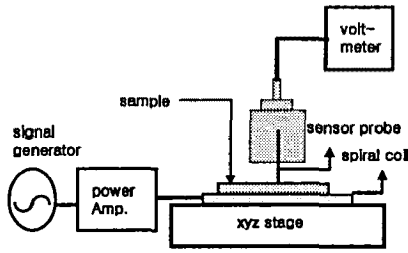


그림 1 측정구성

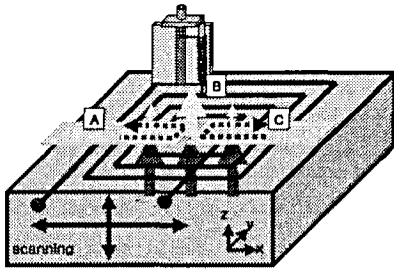


그림 2 측정방법

럴 코일은 직경이 0.1mm의 동선을 이용하여 외변의 길이가 40mm, 내변의 길이가 8mm의 정사각형으로, 코일턴수를 67턴으로 하여 제작하였다. 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 SMA코넥트가 부착된 마이크로 스트립 선로에 접속하여 오실로스코프 및 전압계에 연결하였다. 스파이럴 코일은 xyz 스테이지에 고정시켜 스테이지를 조정함에 의해 시료의 좌우 이동 및 코일과 센서헤드 사이의 거리를 조정하였다. 거리 이동은 1mm 간격으로 마킹된 눈금표시를 이용하여 손과 눈에 의해 조정되었다. 그림 3은 본 실험에 이용된 시료를 나타낸 것이다. 시료로는 0.5mm의 단일 겹을 가진 두께 1mm의 사각동판과 0.1mm 겹을 5mm 간격으로 한 두께  $25\mu\text{m}$ 의 Al 시트를 이용하였다.

### 3. 측정원리

그림 4는 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

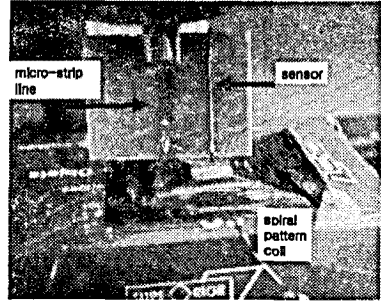
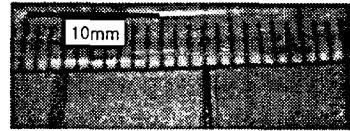
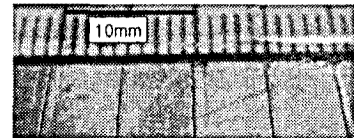


그림 3 스파이럴 코일과 센서헤드



(a) 0.5mm의 겹을 가진 동판



(b) 0.1mm의 겹을 가진 Al 시트

그림 4 본 실험에 이용된 동판과 Al 시트

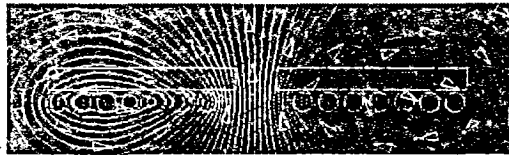
되므로 z방향 성분의 자속은 크게 감소한다. 그러나 코일 중앙부에 겹을 가지는 도체를 두면 겹 사이에는 와전류가 발생하지 않으므로 자속의 z성분이 그림과 같이 겹 사이로 관통하게 된다. 따라서 자속의 z성분의 크기를 측정하여 도체의 절단, 혹은 균열을 판단하게 된다.

### 4. 실험결과 및 고찰

그림 5는 도체에서 발생하는 와전류에 의한 자속의 변화를 확인하기 위해 전자장 해석을 한 결과이다. 이 해석에는 maxwell 2D 소프트웨어를 이용하였다. 그리고 측정 원리를 확인하기 위한 해석이었던 때문에 실제 대상체의 크기를 적용하지 않았다.

그림 5(a)에서와 같이 직류전류에 의한 자장은 중심부로부터 왼쪽과 오른쪽의 자속의 흐름은 반대이지만 중심부에 자속이 집중되어 있음을 알 수 있다. 그러나 그림 5(b)에서와 같이 100kHz의 교류전류를 흘린 경우에는 대부분의 자속이 도체에서 발생하는 와전류에 의한 자속으로 인해 도체를 통과하지 못하고 도체의 단면방향으로 우회하고 있음을 알 수 있

다. 그러나 코일의 중심부에는 겹에 의한 와전류의 감소로 인해 일부의 자속이 도체표면에 수직방향



(a) dc



(b) 100kHz

그림 5 전자장 해석

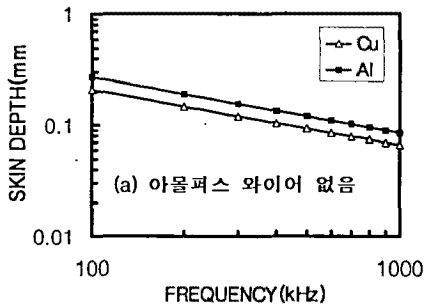


그림 6 표피두께의 계산

로 판통하고 있다.

그림 6은 Cu와 Al에 대해 주파수에 따른 표피두께를 계산한 것이다. 본 실험에서 이용되는 동판의 두께 1mm는 이 주파수 범위에서 표피두께보다 매우 크며 두께 25 $\mu$ m의 Al 시트의 경우는 표피두께에 훨씬 못 미친다.

그림 7은 센서헤드로 이용된 아몰퍼스 와이어의 단위길이당 인덕턴스를 주파수에 대해 나타낸 것이다. 이 그림에서 아몰퍼스 와이어의 길이가 짧아질수록 와이어의 인덕턴스가 감소함을 알 수 있다. 이것은 와이어 자화가 길이방향으로 되어 있어 길이가 짧아질수록 반자계의 영향이 커지기 때문이다. 따라서 본 실험에서는 와이어의 길이 방향의 교류자장을 검출하므로 센서헤드를 구성하는 아몰퍼스 와이어의 길이는 센서헤드의 검출감도에 크게 영향을 미치게 된다.

그림 8은 스파이럴 코일 위에 도체를 둔 경우와 두지 않는 경우의 센서헤드로부터 측정된 전압을 나타낸 것이다. 이 때 센서헤드는 코일의 중심부로부터 x방향(도체의 면방향)으로  $\pm 4$ mm의 범위에서 1mm씩 이동시켰으며 z방향으로는 약 1mm로 고정

하였다. 여기서  $\pm 4$ mm의 범위는 스파이럴 코일의 중심에서부터 내변 사이의 거리이다. 센서헤드에 유

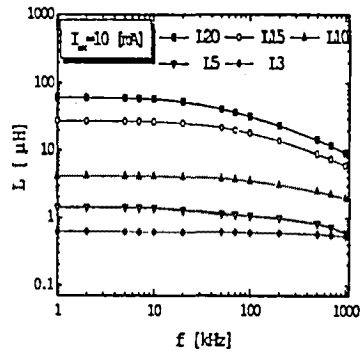


그림 7 아몰퍼스 와이어의 길이에 따른 인덕턴스

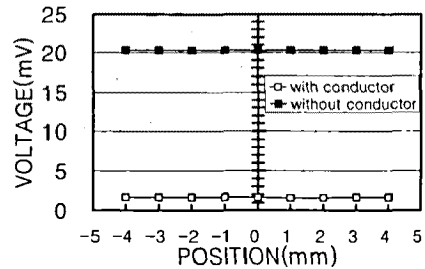


그림 8 도체의 유무에 따른 유기전압

기되는 전압은 도체의 유무에 따라 약 20.3mV에서 1.7mV로 감소하였고 x방향으로 센서헤드를 이동시켰을 때 도체 유무에 관계없이 측정된 전압이 일정하여 이 범위에서의 z방향의 자속이 거의 균일함을 알 수 있다.

그림 9은 스파이럴 코일 위에 0.5mm 겹을 가진 두께 1mm의 동판을 둔 경우에 겹으로부터  $\pm 4$ mm의 범위에서 1mm씩 이동시켰을 때 측정된 전압을 나타낸 것이다. 스파이럴 코일에 인가하는 전류는 각 주파수에서 센서헤드에 유기되는 전압이 겹 중심에서 약 9mV가 되도록 조정하였다. 그림에서와 같이 동판에서 발생하는 와전류의 영향을 크게 받지 않는 겹의 중앙부에서 전압이 가장 크게 유기되며 여기로부터 멀어질수록 전압의 크기가 감소하였다. 겹의 중앙부와 4mm 떨어진 점에서의 전압차는 거의 2.5mV 였다.

그림 10는 스파이럴 코일 위에 5mm 간격으로 0.1mm의 다수의 겹을 가진 두께 25 $\mu$ m의 Al 시트를 둔 경우, 아몰퍼스 와이어의 유무에 따른 센서의 유기전압을 나타낸 것이다. 이 때 측정은 겹과 겹의 사이에서 임의의 횡수로 나누어 측정하였다. 그림 9(a)에서와 같이 아몰퍼스 와이어가 없는 경우, 코일에 유기되는 전압의 검출장소에 따른 차이가 나타나지 않으나 그림 9(b)와 같이 아몰퍼스 와이어가 있

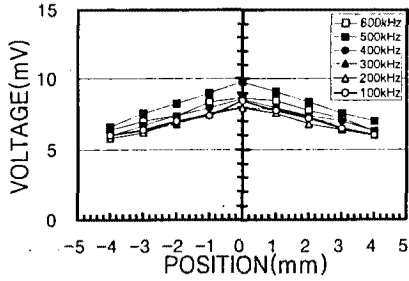
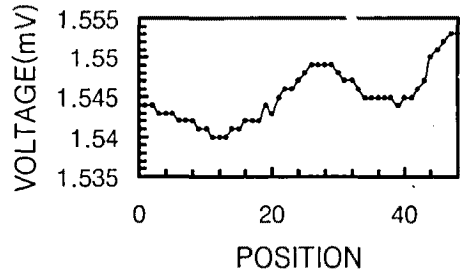
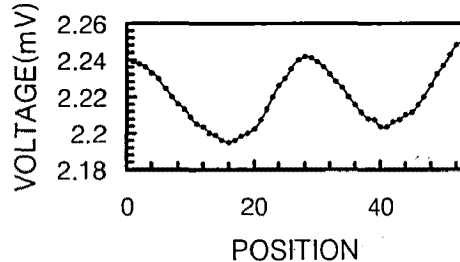
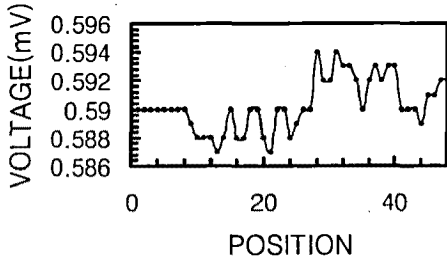


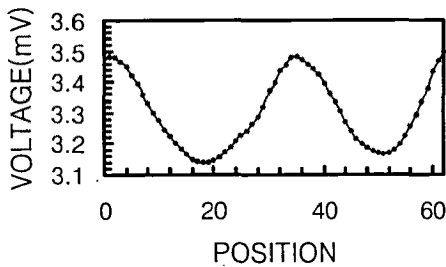
그림 9 0.5mm의 갭을 가진 1mm 두께의 동판에 대해 측정된 장소에 따른 유기전압



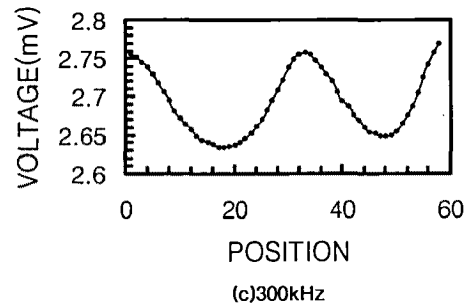
(a) 100kHz



(b) 200kHz

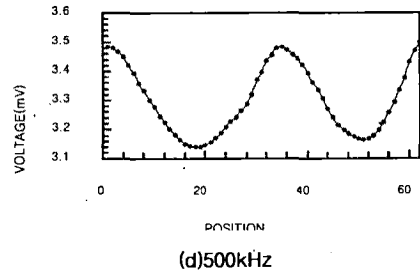


(b) 아몰퍼스 와이어 있음



(c) 300kHz

그림 10 아몰퍼스 와이어의 유무에 따른 유기전압



(d) 500kHz

을 때에는 갭과 갭의 중앙부에서 전압의 최대치가 얻어지고 갭에서 최소치가 얻어져 전압의 대소의 차이로 AI 시트에 형성된 갭을 확인할 수 있다.

그림 11은 주파수를 100kHz에서 500kHz로 변화시켜갈 때 검출장소에 따른 유기전압의 형태와 크기를 나타낸 것이다. 주파수의 증가에 따라 검출장소에 따라 유기전압의 크기가 커져 유기전압의 형태가 뚜렷이 나타났다. 500kHz에서는 AI 시트의 두께는 표피두께보다 8배나 커서 현저한 표피효과는 발생하고 있지 않지만 센세에 유기되는 전압에는 뚜렷한 차이가 있음을 알 수 있다.

그림 11 주파수에 따른 유기전압

## 5. 결론

ECT(Eddy Current Testing)의 센서헤드로서 아몰퍼스 자성와이어를 적용하는 것에 대하여 검토하였다. 측정방법은 스파이럴 코일의 균일 자장범위에

직선 갭을 가진 동판과 Al 시트를 놓고 갭 주위를 관통하는 자속량의 차이를 센서헤드의 유키전압으로 측정하는 것이었다. 이 결과 두께 1mm, 갭폭 0.5mm의 동판에 대해 주파수 100kHz~600kHz의 범위에서 갭 근방에서 측정된 전압의 차가 약 2.5mV 였으며 0.1mm의 다수의 갭을 가진 두께 25  $\mu$ m의 Al 시트인 경우 500kHz의 주파수에서 갭 사이의 최대전압과 최소전압의 차가 0.4mV 얻어졌다. 특히 이 경우 Al의 두께가 이 주파수에서의 표피두께에 비해 매우 작음에도 갭 주위에 발생하는 와전류의 영향으로 인한 교류자장의 차이를 아몰퍼스 와이어의 센서헤드는 검출하였다. 이 실험결과로부터 ECT(Eddy Current Testing) 기술에 아몰퍼스 와이어가 센서헤드가 유효함을 알았다.

#### 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 Magnetics, 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 Magnetics vol. 29, No. 2, 1993.