비정질 와이어를 센서헤드로 이용한 금속의 미세결함 검출

김영학*
부경대학교 공과대학 전기 · 제어공학부
부산시 남구 용당동 산 100

신광호
경성대학교 정보과학부
부산시 남구 대연3동 110-1

(2002년 8월 19일 받음, 2002년 10월 14일 최종수정본 받음)

미소결함을 가진 금속체에 교류자기장을 인가하면 결함부근에는 와전류의 분포가 달라져 이에 의해 금속체를 관통하는 교류자기장은 결함부근에서 차이를 가진다. 이 교류자기장을 비정질 와이어로 된 센서헤드로 측정하여 센서헤드의 유기전압 크기로부터 결함 유무를 검출하는 방법에 대해 검토하였다. 비정질 와이어는 Co-based 재료로 자왜가 거의 0이며 고투자율 자성체이고 비정질 와이어는 길이가 15 mm, 직경이 100 μm인 원주형 자성체이다. 실험대상 금속체로 0.5 mm의 단일 직선 갭을 가진 두께 1 mm의 동판과 0.1 mm의 갭이 규칙적으로 배열된 두께 25 μm의 Al 판를 이용하였다. 스파이럴 코일에 인가하는 교류자기장의 주파수는 100 kHz~600 kHz였다. 본 실험의 결과에서 동판에서는 유기전압의 최대치와 최소치의 차가 약 2.5 mV 얻어졌고, Al 판에서는 500 kHz에서 0.4 mV가 얻어져 직선 갭의 유무를 유기전압의 크기만으로 확인할 수 있었다.

주제어 : Eddy Current Testing, 비정질 와이어, 교류자장, 와전류, 결함검사

I. 서 론

ECT(Eddy Current Testing)[1,2]는 교류자기장을 이용하여 금속 구조체의 결함이나 금속의 존재의 유무를 비접촉, 비파괴로 검사할 수 있어 오래 전부터 많이 이용되어 왔다. 이 검사는 검출권선에 교류전류를 흘려 피검사체인 금속체에 교류자장을 인가하므로 금속체의 결함 부근에서 와전류 발생 크기를 권선의 임피던스나 혹은 유기전압으로 확인하는 것이다. 따라서 측정원리 및 측정장치가 매우 간단한 것이 X 선 검사 등과 같은 고가의 측정시스템에 비해 유리한 점이다.

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

본 논문에서는 기존의 방법과는 달리 미소결함을 가진 금속체에 외부로부터 교류자기장을 인가하여 금속체를 관통하는 교류자기장을 비정질 와이어로 측정하는 방법을 이용하였다. 그리고 이 방법에 있어서 비정질 자성와이어[3-5]의 적용가능성에 대해 검토하였다.

*Tel: (033)730-0415, E-mail: kimyh@pknu.ac.kr

II. 실험방법

Fig. 1은 측정장치의 구성도를 나타낸 것이다. 스파이럴 코일 위에 결함을 가진 도체를 두고 여기에 신호발생기로부터 증폭된 교류전류를 코일에 통전시킨다. 이 때 인가전류의 주파수를 100 kHz-600 kHz로 하였다. 이 코일로부터 발생된 자기장은 검사용 도체를 관통하게 되며 이 관통된 자속을 코일 위에 있는 비정질 센세헤드로 검출한다. Fig. 2는 자장 발생용 스파이럴 코일과 마이크로 스트립선로에 부착된 비정질 센서헤드를 나타낸 것이다. 스파이럴 코일은 외변의 길이가 40 mm, 내변의 길이가 8 mm의 정사각형이며 직경이 0.1 mm의 동선을 이용하여 67턴을 감았다. 센서헤드는 직경이 100 μm, 길이가

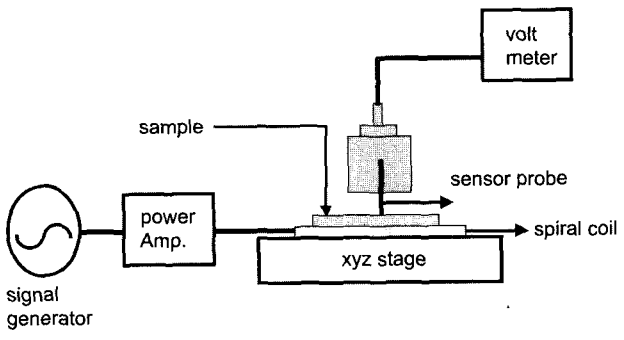

Fig. 1. Measurement system.

Fig. 2. Rectangular spiral coil and amorphous wire attached on micro-strip line.

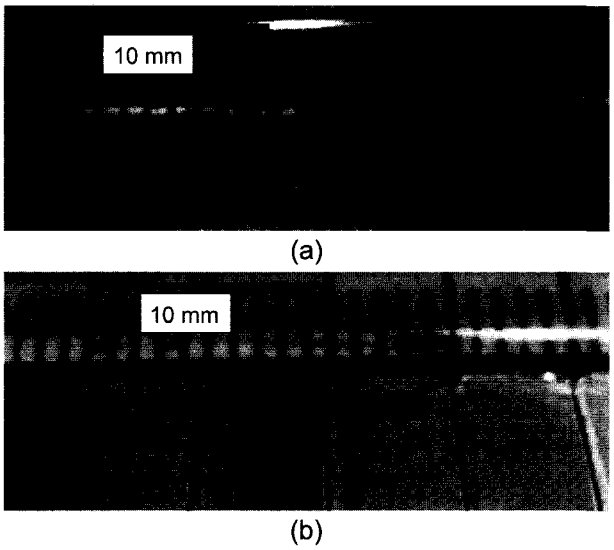

Fig. 3. Photography of copper plate and Al sheet. (a) 1 mm thick copper plate with 0.5 mm gap, (b) 25 μm thick and 10 mm wide aluminum sheet with 0.1 mm gap.

15 mm의 Co-base 비정질 와이어를 도선의 피복에 넣어 피복의 원주방향으로 156턴을 감아 제작되었다. 센서헤드로부터의 전압을 측정하기 위해 3.5 mm SMA코넥터가 부착된 마이크로스트립선로에 부착시켜 오실로스코프 및 전압계에 연결하였다. 스파이럴 코일 및 피검사용 금속체를 xyz 스테이지에 고정시켜 스테이지를 조정함에 의해 시료의 좌우 이동 및 코일과 센서헤드 사이의 거리를 조정하였다. 거리이동은 1 mm 간격으로 마킹된 눈금표시를 이용하여 조정하였다. Fig. 3은 본 실험에 이용된 금속체를 나타낸 것이다. 시료로는 0.5 mm의 단일 갭을 가진 두께 1 mm의 사각동판과 0.1 mm 갭을 5 mm 간격으로 한 두께 25 μm의 Al 판을 이용하였다.

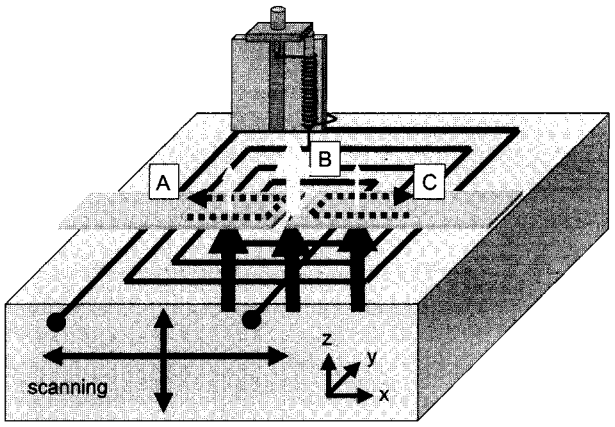

Fig. 4. Illustration figure of measurement method.

III. 측정원리

Fig. 4는 동작원리를 설명한 그림이다. 스파이럴 코일에서 도선에 흐르는 전류는 그림에서 B를 기준으로 A쪽 도선과 C쪽 도선의 전류방향이 서로 반대가 되므로 코일의 내변 사이에는 동일방향을 가진 자속이 z축 방향으로 집중된다. 자속이 발생하고 있는 코일의 내변 위에 도체를 두면 자속이 도체를 관통하므로 도체 면에는 와전류가 발생하게 된다. 이 와전류에 의해 z방향 성분의 자속은 크게 감소한다. 그러나 도체 내부에 갭과 같은 결함이 존재하면 이 주위에는 와전류가 발생하지 않으므로 대부분의 z성분 자속이 갭 사이로 관통하게 된다. 따라서 결함을 가지는 도체 위에서 자속의 z성분 크기 만을 측정하여 도체의 절단, 혹은 균열 여부를 판단할 수가 있다.

IV. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 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. Fig. 5-(a)에서와 같이 직류전류에 의한 스파이럴 코일에서 발생하는 자장은 코일 내변에서 도체면의 수직방향인 z방향으로 자속이 집중되고 있음을 알 수 있다. 그러나 Fig. 5-(b)에서와 같이 100 kHz의 교류전류를 스파이럴 코일에 흘린 경우에는 대부분의 자속이 도체에서 발생하는 와전류에 의해 도체의 단면방향으로 우회하고 있으며 코일의 중심부에는 갭에 의한 와전류의 감소로 인해 일부의 자속이 도체표면에 수직방향으로 관통하고 있다.

Fig. 6은 주파수에 따른 Cu와 Al의 표피두께를 계산한 것이다. 본 실험에서 이용되는 동판의 두께 1 mm는 본 실험에

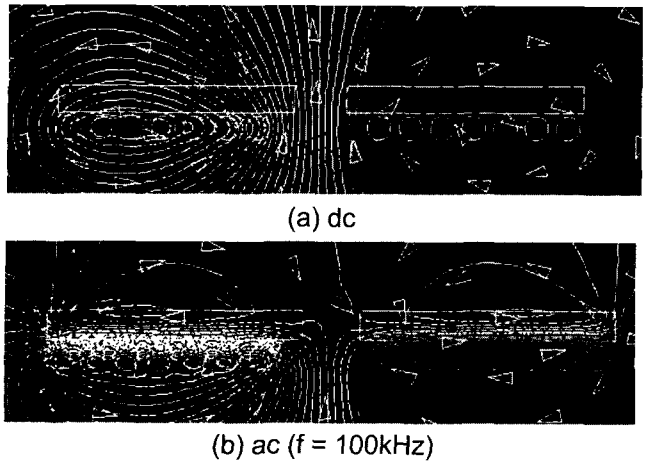

Fig. 5. Magnetic field analysis using Maxwell 2d software.

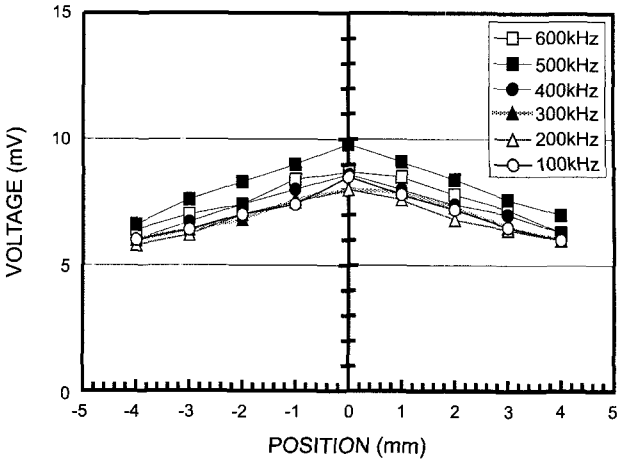

Fig. 8. Induced voltage within ±4 mm distance from 0.5 mm gap.

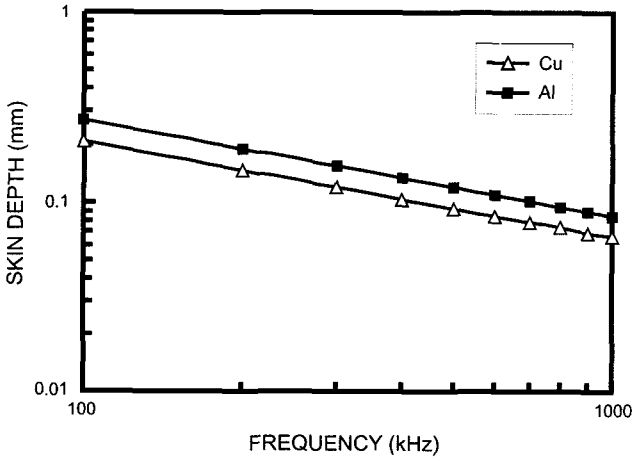

Fig. 6. Skin depth calculation of Al and Cu.

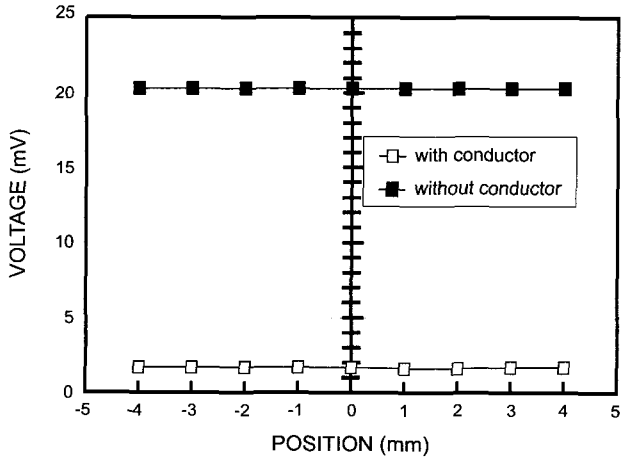

Fig. 7. Induced voltage of sensor with and without copper plate.

서 설정한 주파수 범위에서 표피두께보다 매우 두껍지만 두께 25 μm의 Al 판의 경우는 표피두께에 훨씬 못 미친다.

Fig. 7은 스파이럴 코일 위에 도체를 둔 경우와 두지 않는 경우에 있어 센서헤드로부터 측정된 전압을 나타낸 것이다. 이 때 센서헤드는 코일의 중심부로부터 x방향(도체의 면방향)으로 ±4 mm의 범위에서 1 mm씩 이동시켰으며 도체면과 센서헤드 사이의 거리를 약 1 mm로 고정하였다. 여기서 ±4 mm의 범위는 스파이럴 코일의 중심에서부터 내변 사이의 거리이다. 센서헤드에 유기되는 전압은 도체의 유무에 따라 약 20.3 mV에서 1.7 mV로 감소하였고 x방향으로 센서헤드를 이동시켰을 때 도체 유무에 관계없이 측정된 전압이 일정하여 이 범위에서의 z방향의 자속이 거의 균일함을 알 수 있다.

Fig. 8는 스파이럴 코일 위에 0.5 mm 갭을 가진 두께 1 mm의 동판을 둔 경우에 갭으로부터 ±4 mm의 범위에서 1 mm씩 이동시켰을 때 측정된 전압을 나타낸 것이다. 스파이럴 코일에 인가하는 전류는 각 주파수에서 센서헤드에 유기되는 전압이 갭 중심에서 약 9 mV가 되도록 조정하였다. 그림에서와 같이 동판에서 발생하는 와전류의 영향을 크게 받지 않는 갭의 중앙부에서 전압은 가장 크게 유기되며 중앙부에서 멀어질수록 전압의 크기가 감소하였다. 갭의 중앙부와 4 mm 떨어진 점에서의 전압차는 거의 2.5 mV였다.

Fig. 9은 스파이럴 코일 위에 5 mm 간격으로 0.1 mm의 다수의 갭을 가진 두께 25 μm의 Al 판을 둔 경우, 비정질 와이어의 유무에 따른 센서의 유기전압을 나타낸 것이다. 이 때 측정은 갭과 갭의 사이를 일정한 간격으로 나누어 측정하였다. Fig. 9-(a)에서와 같이 비정질 와이어가 없는 경우, 코일에 유기되는 전압은 검출장소에 따른 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으나 Fig. 9-(b)와 같이 비정질 와이어가 있을 때에는 갭과 갭의 가운데 부분에서 전압의 최소치가 얻어졌으며 갭 위에

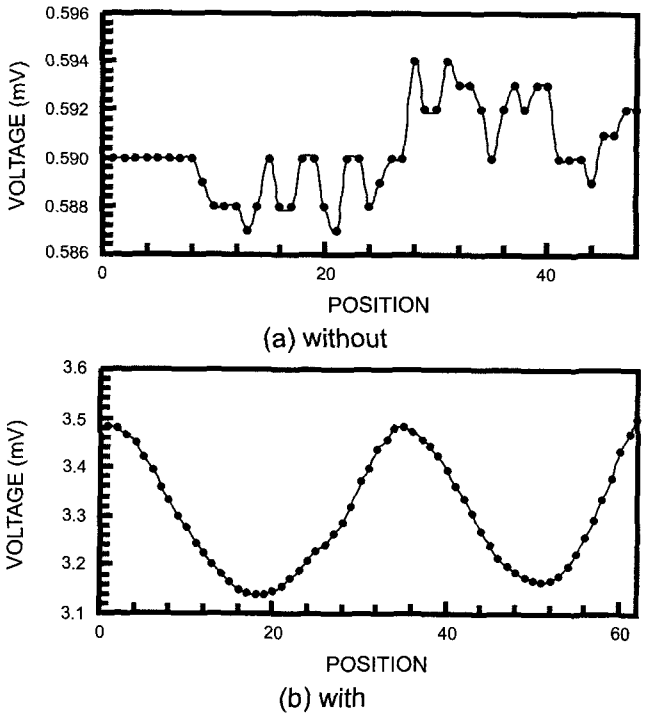

Fig. 9. Induced voltage by ac magnetic field through by Al sheet with and without the amorphous wire.

서 최대치가 얻어졌다. 이로부터 전압의 대소의 차이로 Al 판에 형성된 갭의 위치를 확인할 수 있다.

Fig. 10은 교류자장의 주파수를 100 kHz에서 500 kHz로 변화시켜였을 때 검출장소에 따른 유기전압의 크기를 나타낸 것이다. 주파수의 증가에 따라 검출장소에 따른 유기전압의 크기가 커져 유기전압의 형태가 뚜렷이 나타났다. Fig. 10-(d)에서와 같이 500 kHz의 주파수에서의 표피두께는 Al 판 두께보다 8배나 커서 현저한 표피효과는 발생하고 있지 않지만 센서에 유기되는 전압의 최대치와 최소치 사이에 뚜렷한 차이가 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

금속체 내에 미소결함을 검출하기 위해 미소결함 주위를 관통하는 교류자기장을 비정질 와이어로 측정하여 유기전압 크기로부터 결함 유무를 검출하는 방법에 대해 검토하였다. 이 결과 두께 1 mm, 갭폭 0.5 mm의 동판에 대해 주파수 100 kHz~600 kHz의 범위에서 갭 근방에서 측정된 전압의 차가 약 2.5 mV였으며 0.1 mm의 다수의 갭을 가진 두께 25 μm의 Al 판인 경우 500 kHz의 주파수에서 갭 사이의 최대전압과 최저전압의 차가 0.4 mV 얻어졌다. 특히 이 경우 Al의 두께가 이 주파수에서의 표피두께에 비해 매우 작음에도 갭 주위에 발생하는 와전류의 영향으로 인한 교류자장의 차이를 비정질 와이어의 센서헤드로 검출할 수 있었다.

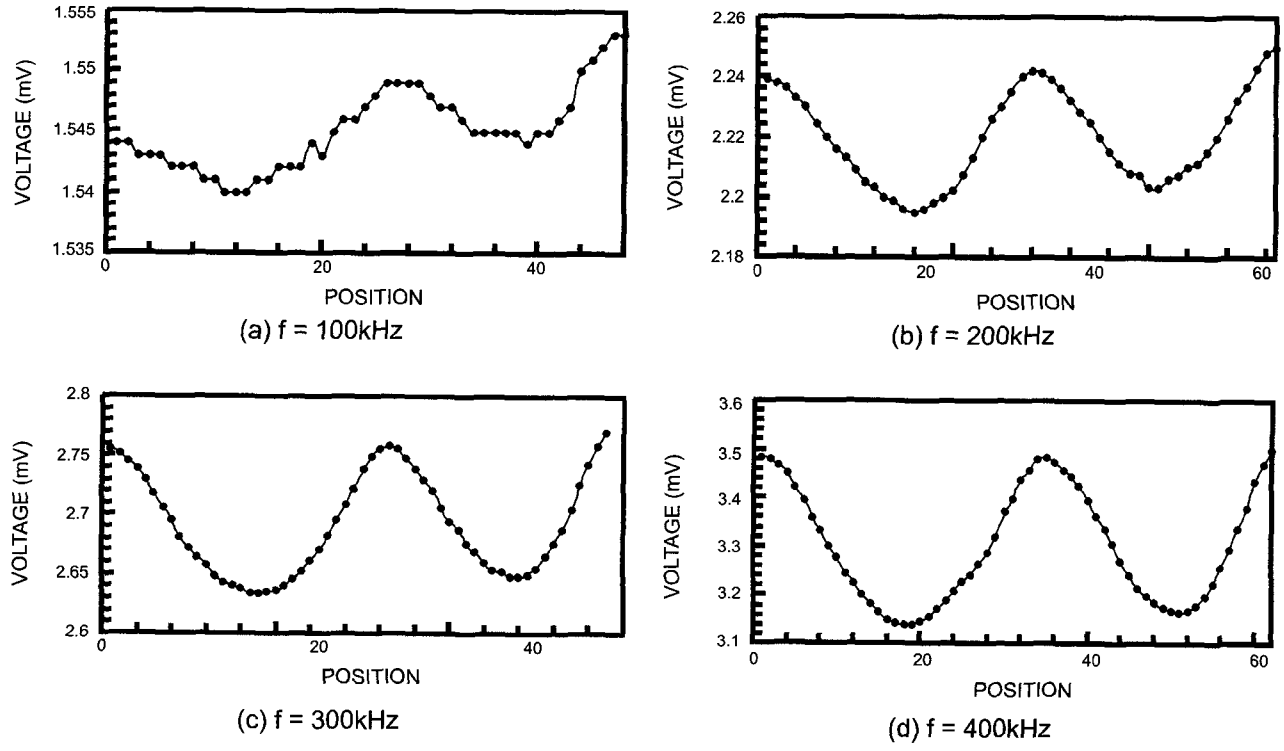

Fig. 10. Induced voltage obtained in the frequency region 100 kHz-500 kHz.

한국자기학회지 Volume 12, Number 5, October 2002

참고문헌

[1] S. H. H. Sadeghi and A. H. Salemi, IEE Procedings Science Measurement and Technology **148**, 187(2001).

[2] M. Tanaka and H. Tsuboi, IEEE Trans. Magn., **37**, 3125 (2001).

[3] R. S. Beach and A. E. Berkowitz, Appl. Phys. Lett., **64**, 3652 (1994).

[4] L. V. Panina, K. Mohri, K. Bushida and M. Noda, J. Appl. Phys., **76**, 6198(1994).

[5] K. Mohri, IEEE Trans. Magn., **29**(2), 1245(1993).

Flaw Detection in a Conductor Using Sensor Head of Amorphous Wire

Y. H. Kim*

Department of Electrical Engineering, Pukyong National University
San 100 Yongdang-Dong, Nam-Gu, Pusan, 608-739 Korea

K. H. Shin

Division of Information and Science, Kyungsung University
110-1 Daeyeon-Dong, Nam-Gu, 608-736 Korea

(Received August 19 2002, in final form 14 October 2002)

Ac magnetic field was changed in the vicinity of a flaw because of the distribution of eddy current within a conductor, when the magnetic field was applied to a conductor having a flaw. The flaw detection was performed by using Co-based amorphous wire sensor head. The wire has almost 0 magneto-striction and high permeability. An comparative uniform magnetic field was applied to a 1 mm thick copper plate and a 25 μm thick aluminum sheet conductor using spiral typed coil. The size of the coil has 40 mm×40 mm outer width and 8 mm×8 mm inner width. The copper plate and the aluminum sheet has 0.5 mm and 0.1 mm wide gap, respectively. The frequency range of applied field was 100 kHz-600 kHz. The induced voltage difference of 2.5 mV was obtained in the maximum voltage and minimum one measured across the gap of the 1mm thick conductor. In the case of aluminum sheet, 0.4 mV was obtained. From this results, the effectiveness of Co-based amorphous wire was confirmed in the ECT technique.

Key words : Eddy Current Testing, amorphous wire, ac magnetic field. flaw detection