

## Ni도금강판의 극저주파 차폐 특성

김찬욱<sup>a</sup>, 김병문<sup>b</sup>, 석한길<sup>c\*</sup>

<sup>a</sup>포항산업과학연구원 재료공정연구센터, <sup>b</sup>경북 전략산업기획단 평가기획실, <sup>c</sup>강원대학교 재료금속공학과

### ELF Shielding Effectiveness of Ni Electrodeposited Steel Sheets

C. W. Kim<sup>a</sup>, B. M. Kim<sup>b</sup>, H. G. Suk<sup>c\*</sup>

<sup>a</sup>Material Processing Center, Research Institute of Industrial Science & Technology (RIST),  
 Pohang 790-600, Korea

<sup>b</sup>Evaluation & Planning Group, Gyeongbuk Regional Innovation Agency, Gyeongsan 712-210, Korea

<sup>c</sup>Department of Materials & Metallurgical Engineering, Kangwon National University,  
 Samcheok 245-711, Korea

(Received May 9 2006 ; accepted October 2 2006)

#### Abstract

In order to enhance the electromagnetic shielding efficiency of commercialized cold-rolled steel sheets, we have prepared Ni deposited steel sheets by the electrodeposition method. Surface alloying with Ni and Fe was achieved on a steel sheet by diffusion annealing process. Shielding effectiveness measurement results showed that annealed Ni electrodeposited steel sheets enhanced the shielding efficiency up to about 3 dB in the frequency range of 20 to 200Hz, compared with that of non-deposited steel sheets.

*Keywords: Electromagnetic shielding, Shielding effectiveness, Electrodeposited steel sheets*

## 1. 서 론

Ni-Fe합금은 그 조성에 따라 자기특성 및 자왜정수가 달라지며<sup>1)</sup> 이러한 현상을 이용하여 릴레이, torque 센서, tension 센서 등에 이용되고 있으며 Ni-Fe 박막을 다층화함으로써 GMR 효과를 이용한 자기헤드 등으로의 응용연구<sup>2)</sup>도 진전되고 있다. 특히, NiFe 합금은 결정자기 이방상수 및 자왜정수가 거의 0에 가까운 조성의 경우, DC 투자율이 크게는 수십만을 상회하는 양호한 연자기 특성으로 인하여 자기차폐재료의 응용<sup>3)</sup>이 이전부터 고려되어 왔다. 그러나 NiFe 합금은 열처리 조건에 따라 그 특성이 크게 좌우되며 또한 일부조성의 NiFe 합금의 경우 전량수입에 의존하고 있어 수급체계에도 문제가 있으며 무엇보다도 고가인 점이 자기차폐재료의 적용을 어렵게 하고 있다. 한편, 최근에 산업

기기 및 가전기기의 디지털화가 급속히 진전되면서 각종 전자기기로 부터 방출되는 전자기파가 각종 정밀기기의 신호교란, 오동작 및 기능정지 등을 일으키는 장애요인으로 작용하고 있어 자기차폐재의 수요증대와 함께 차폐효율이 양호하며 또한 가격이 저렴한 차폐재의 개발이 요구되고 있다. 그러나 연자성 재료로써의 NiFe에 대한 연구<sup>4,6)</sup>는 이전부터 수많은 연구가 행해져 오고 있으나 NiFe 합금에 대한 차폐재료의 실용화에 관한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 냉연강판상에 Ni도금을 한 후 열처리를 행하여 그 표면에 NiFe 확산층을 형성케 한 시편을 제작하고 이를 평가할 수 있는 극저주파 대역에서의 자기차폐 평가시스템을 설계 제작하여 차폐효율을 평가함으로써 NiFe 합금층이 냉연강판소재의 자기차폐능에 미치는 영향을 조사하였다.

\*Corresponding author. E-mail : hgsuk@kangwon.ac.kr

## 2. 전자기파 차폐

재료의 전자파 차폐효과(SE:shielding effectiveness)는 입사전력( $P_1$ )에 대해 시편을 통과해 수신되는 수신전력( $P_2$ )의 비로서 정의된다. 따라서 주어진 입사전력에 대해 측정재료가 있을 때와 없을 때의 전력비를 비교함으로써 차폐효과를 측정하게 된다. 즉

$$SE(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (1)$$

로 나타낸다.

차폐효과를 이론적으로 도출하기 위해서는 무한히 큰 차폐면을 중심으로 하여 각각 송신 및 수신부를 구성하여 차폐면에 수직으로 입사하는 전자파가 흡수 및 투과하는 과정을 묘사하는 것으로써 통상 Schelkunoff<sup>5)</sup>에 의해 정리된 이론식에 의해 기술된다. 즉, 차폐효과는

$$SE(\text{dB}) = R + A + M \quad (2)$$

로 기술되며 재료의 차폐효과(SE)는 반사손실(R), 흡수손실(A) 및 다중반사손실(M)을 동시에 고려하여 이들 항의 총화로서 나타낸다. 반사손실(R)은 차폐체의 표면에서 전자파 에너지를 반사하여 침입에너지를 감쇄시키며 흡수손실(A)는 차폐체 내부를 전파하는 경로상에서 ohmic loss를 의미하고 있다. 보정항인 다중반사손실(M)은 차폐체 내부에서의 다중반사로 통상 흡수손실이 10 dB 이상인 경우는 상대적으로 무시되므로 저파동 임피던스 근접계<sup>8)</sup>에서의 전자파 차폐효과는 입사하는 전자파의 흡수손실에 의해 지배된다. 흡수손실 A는 금속재료의 전파상수  $\gamma$ 와 다음과 같은 관계가 있으며

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu\sigma} = (1 + j)\sqrt{\pi f \mu\sigma} \quad (3)$$

로 나타내며 또한 전자파 감쇄상수  $\alpha(=1/\delta)$ 는 skin depth와 두께 t(inch)와 다음과 같은 관계를 가진다. 따라서 흡수손실 A는

$$A(\text{dB}) = 20 \log e^{\sqrt{\pi f \mu\sigma} t} = 20 \log e^{1/\delta} \\ = 3.34t/\delta \quad (4)$$

로 나타내어 진다. 여기서  $f$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$ 는 각각 주파수, 재료의 비투자율 및 비전도도를 나타내며  $\delta$ 는 재료의 skin depth이다. 따라서 Eq. (4)에서 알 수 있는 바와 같이 저주파대역에서의 차폐효과를 높이기 위해서는  $\sigma\mu$ 항이 큰 재료를 사용하여 흡수손실을 높

이는 방안을 고려할 수 있다. 이런 측면에서 NiFe 합금은  $\sigma\mu$ 항이 약 630으로 Superpermalloy를 제외한 다른 소재보다 크르<sup>9)</sup> 본 연구에서는 차폐능을 부여하기 위하여 Ni 냉연강관상에 도금하고 확산열처리 함으로써 NiFe 합금층을 기판표층부에 형성시켰다.

## 3. 실험방법

### 3.1 시편제작

도금은 약 400리터 부피의 도금조를 이용하여 80 mm×80 mm 크기의 냉연강관(C 함량 0.02% 이하, 두께 0.9 mm) 및 inner shield(두께 0.15 mm) 상에 도금량을 각각 20, 40, 60 g/m<sup>2</sup>로 편면 코팅하여 시편을 제작하였다. 도금조건은 NaCl 30 g/l, NiCl<sub>2</sub> 6H<sub>2</sub>O 109 g/l, surfactant계 첨가제를 7 g/l 첨가하여 45°C에서 pH 2.0~2.5로 Ni편면도금을 약 2~10 μm 행하였으며 전류밀도는 5~15 A/dm<sup>2</sup> 범위로 조정하여 도금을 행하였다. 도금 전후의 차폐능을 비교분석하기 위하여 도금 처리한 냉연소재를 도금 처리하지 않은 소재와 같이 Ar 가스 분위기 중에 1100°C에서 약 60분 유지시킨 후 냉각하여 시편을 제작하였다. 도금층의 조성분석 및 형상관찰은 각각 EPMA(Shimadzu사, EPMA-1600) 및 주사전자현미경(Phillips사, XL-30)을 이용하였다.

### 3.2 자기차폐도 평가시험

일반적으로 자기차폐도 측정에는 ASTM A698-74에 규정된 시험법이 알려져 있으나 이 방법은 시편의 크기에 따라 차폐도가 좌우되는 단점이 있어 본 연구에서는 자기차폐도 측정장치를 그림 1과 같이 제작하여 시험을 행하였다. 장치는 크게 frequency generator, amplifier, generating yoke, receiving yoke, VTVM 및 출력장치로 구성되어 임의의 주파수로 발생시킨 시그널을 증폭시킨 후 generating yoke에서 자기장을 발생시키고 양 yoke 간에 놓여진 측정 시편표면에 발생된 유기전압을 receiving yoke를 통해 감지하고 증폭함으로써 재료의 차폐특성을 관찰하도록 되어 있다. 본 장치는 사용 가능한 주파수 영역이 10 Hz~20 KHz이며 차폐도 측정 범위는 -80 dB까지 측정이 가능하도록 설계하였다. 자기차폐도 평가시험은 임의의 자기장을 발생시킨 후 그림 1의 Measuring set에 조립된 제작한 80 mm×80 mm 크기의 시편을 삽입하고 측정주파수를 20 Hz 간격으로 20 Hz에서 100 Hz로 변경하면서 유기되는 전압을 dB meter로 측정하여 분석하였다.

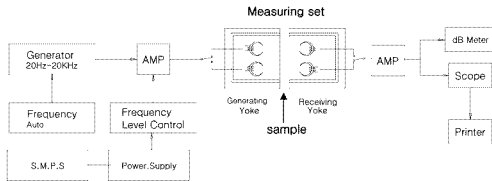


Fig. 1. Schematic diagram of shielding effectiveness measuring system.

#### 4. 실험결과 및 고찰

그림 2-5는 냉연기판상에 Ni를 전기도금한 후 열처리를 행한 시편의 차폐도 측정치를 in-situ와 비교한 결과를 나타낸다. 그림 2는 냉연강판소재(CR)상에 Ni를 각각 20, 40 및 60 g/m<sup>2</sup>를 도금한 시편의 차폐도 측정결과를 냉연강판소재와 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 전기 도금층이 형성된 시편이 냉연강판소재에 비해 차폐도가 다소 증가하는 경향은 있으나 주파수 100 Hz까지의 차폐도가 19.5-22 dB의 범위로 잘 알려진 차폐소재인 NiFe의 30-40 dB에 비하여 차폐능이 충분치 않음을 알 수 있다. 그림 3은 inner shield상에 Ni를 각각 20, 40 및 60 g/m<sup>2</sup>를 전기 도금한 시편의 차폐도 측정결과를 도금전의 inner shield재와 비교한 것

이다. 도금량이 따라 차폐도가 최고 약 2 dB의 향상을 보이고 있다. 이는 Eq. (4)에서 알 수 있는 바와 같이 극저주파 대역에서는 흡수손실은  $\sigma\mu$ 항이 지배되므로 자기특성에 의한 개선보다는 inner shield재와 코팅층 간의 전기전도도 차에 의해 개선된 결과라고 판단된다. 또한 도금은 편편코팅을 행하였기 때문에 내부응력에 의한 영향도 배제할 수 없는 것으로 판단된다. 그림 4는 그림 2의 시편을 1100도에서 약 2시간 분위기 열처리한 경우의 차폐도 변화율 나타낸 결과를 나타낸다. 기판인 냉연강판소재를 동일한 조건으로 열처리한 시편에 비해 약 3 dB의 차폐능 향상을 보이고 있으며 냉연강판소재와는 약 7-8 dB 정도의 차폐능 향상을 보이고 있다. 연구결과에서 알 수 있듯이 일반적으로 전자장 차폐에 비해 자기장 차폐능을 향상시키는 것이 배

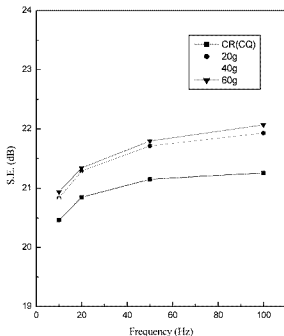


Fig. 2. Effect of Ni deposited thickness on shielding effectiveness of cold rolled steel sheet.

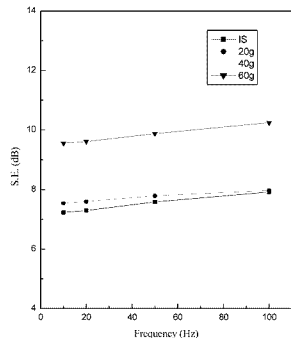


Fig. 3. Effect of Ni deposited thickness on shielding effectiveness of inner shield sheet.

우 어려운데 그 이유는 전자기파가 금속에 수직으로 입사할 때 금속내부에서 전기 vector가 반사에 의해 위상이  $\pi$ 만큼 반전되는 반면 자계 vector는 위상관계가 입사전후에도 변화하지 않는 데 있다. 즉, 금속 소재 중에서 전계는 + -가 서로 교대로 바뀌게 되어 그 총화는 무한급수로 구해져 극히 작게 되므로 전계는 곧 검출하여 쉽게 소멸하나 자계는

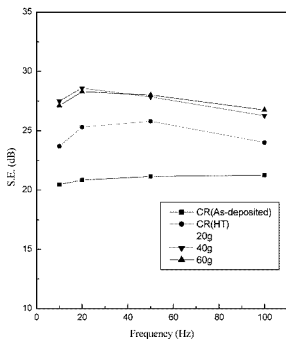


Fig. 4. Effect of the amount of Ni deposited on shielding effectiveness of annealed cold rolled steel sheet.

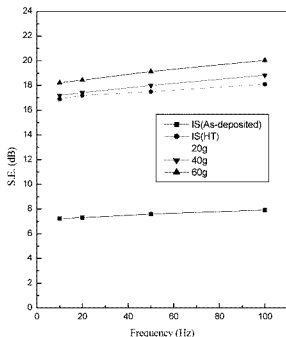


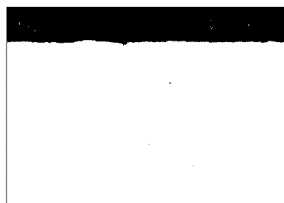
Fig. 5. Effect of Ni deposited thickness on shielding effectiveness of annealed inner shield sheet.

금속소재 내부의 다중반사 시 전부 동일한 방향의 vector를 가지므로 그 총화는 유한의 큰 값을 갖게 되어 자계는 감쇄하기가 어렵기 때문에 일반적으로 자기차폐능을 높이기가 어렵다.

그림 5는 그림 3의 시편을 1100°C에서 약 2시간 분위기 열처리시의 차폐도 변화를 나타낸 결과이다. inner shield재에 비해 거의 2배 이상의 차폐능 향상을 보이고 있으며 이는 그림에서 알 수 있는 바와 같이 inner shield재 자체의 차폐능의 기여가 큼을 알 수 있다. 그러나 도금층 형성으로 인한 차폐능의 기여도가 도금층 두께에 따라 최고 3 dB 정도 향상됨을 알 수 있어 도금층을 어떠한 방법으로 잘 제어하는냐에 따라 차폐능을 보더 더 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 즉, 도금시편은 원번호판을 행하였기 때문에 열처리 시에는 in-situ보다 상당히 왜곡되어 있어 측정 시 간극두께 1 mm의 시편 홀더에 삽입 시에 상당한 용력을 받아 자기특성이 열화된 상태로 측정된 결과로 유기된 용력을 제거하면 실제로는 측정결과 보다 훨씬 양호한 결과가 나올 가능성이 높다고 판단된다. 이는 냉연강판소재



(a)



(b)

Fig. 6. SEM micrographs for Ni electrodeposited samples (X200) (a) before and (b) after heat treatment.

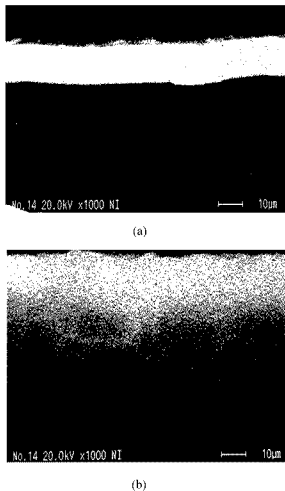


Fig. 7. Elemental mapping of Ni in Ni electrodeposited samples (a) before and (b) after heat treatment.

및 inner shield재는 도금을 행하지 않았기 때문에 도금소재와 같이 내부응력에 의한 영향이 거의 없을 것이므로 측정결과는 상대적으로 기판소재의 차폐능이 크게 기여하는 것으로 판단된다. 냉연강판소재 및 inner shield 등 기판소재의 차폐능 향상은 고온에서 열처리 시 재결정현상을 거쳐 그림 6에서 보이는 것처럼 결정립이 조대화 하여 자기 특성이 향상된 결과로 보인다. 또한 그림 7의 SEM 사진을 보면 기판표면에 약 20  $\mu\text{m}$  확산층이 형성되어 있음을 알 수 있으며 또한 확산층에서의 Ni 조성은 EPMA 측정결과 약 50~70%로 확인되었다. 따라서

확산층의 두께 및 조성을 제어함으로써 NiFe 합금의 퇴태과정에 의한 Permalloy 고유의 자기특성이 발휘될 가능성이 큰 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구는 냉연강판을 기판으로 하여 그 표면에 Ni도금을 행하고 열처리를행함으로써 기판표면에 차폐능을 발휘하는 불질인 NiFe 합금층을 형성케 하여 이러한 합금층이 자기 차폐도에 미치는 영향을 조사하였다. 조사결과, Ni 도금층을 기판상에 형성하고 1100°C에서 확산 열처리를 행함으로써 기판표면에 약 20  $\mu\text{m}$  확산층이 형성됨을 확인하였으며 20~100 Hz의 극저주파 대역에서 자기차폐능 평가 결과, 동일한 조건으로 열처리 된 냉연강판소재 (CQ급)의 차폐도보다 약 3 dB 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 NiFe 도금 두께가 두꺼울수록 확산층의 두께가 증가하게 되어 기판에 기여하는 차폐능이 커지는 경향을 보였으며 따라서 기판소재의 도금층 두께 및 도금의 조성제어에 의해 자기차폐능을 보다 더 향상시킬 수 있는 가능성을 보여주었다.

## 참고문헌

1. S. Chikazumi, Physics of Ferromagnetism, 2nd ed., p.361. Clarendon Press, (1997).
2. L. J. Gao, G. W. Anderson, P. R. Norton, Electrochemical Soc. Proceedings, 95-18 (1995) 637.
3. D. Kim, H. Matsuda, K. Aoki, O. Takano, Plating & Surface Finishing, April, (1996).
4. A. A. Lykens, J. Appl. Phys., 37 (1966) 1204.
5. C. Yunhong, D. Guichang, L. Huaixian, W. Jinhui, L. Gang, Jpn. J. Appl. Phys., 34 (1995) 113.
6. M. L. Trudeau, Nanostructured Mat., 12 (1999) 55.
7. S. A. Schelkunoff, Electromagnetic Waves, Princeton, N.J.D.Van Nostrand, (1943).
8. 友野理平, 關 康雄, 電磁波シールドの基礎, CMC, 29 (1984).
9. O. Hatal, Electromagnetic Compatibility by Design, R&B Enterprise, 172 (1993).