

## 전자기적 상품감시 시스템에 사용되는 자기센서



김창경  
(한양대학교 재료공학부 부교수)

전자기적 상품도난방지 시스템(Electronic Article Surveillance, E.A.S. system)은 상품의 도난 방지를 목적으로 상품판매장소에 설치하거나 기물이나 인명의 보호, 감시를 필요로 하는 기관에서 보호를 목적으로 설치하는 일련의 장치를 말한다. 그 중에서도 물질의 특정한 전자기적 성질을 이용한 도난방지 시스템은 1970년대 말 비정질 자성합금의 대량생산으로 상용화되기 시작하였다. 미국을 비롯한 서방 선진국에서는 이미 이러한 시스템이 일반화되어 있으며, 국내에서는 1980년대 말부터 생산 제품의 경박단소화 추세 및 인건비 상승 등의 요인으로 인한 상품감시 시스템의 도입에 대한 필요성은 날로 증가하고 있으며 그 응용분야의 확대는 그 자체로서 큰 가치를 지니고 있다.

본 테마기획에서는 대형 할인매장 등에서 자주 볼 수 있는 전자기적 상품감시 시스템의 간략한 작동원리를 소개하고 시스템에 사용되는 비정질 자성합금 재료의 전자기적 특성을 태그(tag)로서의 성능과 관련하여 설명할 것이다.

### 1. E. A. S. system 의 구성 및 작동원리

비정질 연자성 자기센서를 이용한 E.A.S. system은 상품 표면에 특정 주파수의 전파에 반응하도록 설계된 라벨이나 태그(tag)를 부착하고, 입구에 특정 주파수의 전파를 방사하는

안테나(antenna)를 설치하여 라벨이나 태그가 계산대에서 제거되지 않은 채 유출되면 태그에서 발생하는 특정한 신호를 검출하여 경보기를 작동시킨다. 따라서 이러한 시스템은 특정한 전자기적 성질을 가진 상품 부착용 태그(tag)와 교류자장을 발생시키는 트랜스미터(transmitter), 교류자장내 태그가 놓일 때 발생하는 신호(signal)를 검출하는 리시버(receiver)로 크게 3부분으로 구성되어 있다. 여기서 상품표면에 부착되는 tag는 magnetoelastic tag와 harmonic tag의 두종류가 주로 사용된다. Magnetoelastic tag는 외부자장에 의해 기계적 진동을 일으키는 magnetostrictive sensor와 이 센서 재료가 효과적인 신호를 방출하기 위해 활성화 시켜주는 바이어스 마그넷(bias magnet)으로 이루어져 있다. harmonic tag의 경우는 센서 재료 단독으로 외부 자장에 의해 고주파 신호를 발생시킨다. 자장을 발생시키는 안테나는 일반적으로 일정한 교류자장을 발생시키는 트랜스미터(transmitter)와 태그가 트랜스미터에서 방출되는 자장에 놓일 때 일어나는 자장의 변화를 검출하는 리시버(receiver), 이렇게 두개의 안테나로 이루어지거나 근래에는 이들 두 기능을 하나의 안테나에서 수행하도록 고안되어 보다 간소화되는 추세이다.

매장내에 설치된 상품 도난 방지 시스템의 작동과정을 간단히 설명하면 그림 1에 나타낸 바와 같이 태그용 자기센서가 부착된 상품이 컨베이어 벨트에 올려져 계산대까지 이동하여

점원이 가격기록 후 다시 끝까지 이동한 경우는(㉔과정) 센서로서의 기능을 소멸시키거나 안테나 지역(interrogation zone)의 바깥쪽을 통과하게 되어 경보가 발생하지 않으나 그렇지 않고 센서 기능의 소멸없이 안테나를 직접 통과하게 되는 경우는(㉕과정) 안테나의 트랜스미터에 의해 발생되는 교류자장 때문에 태그는 특정한 주파수(preselected frequency)로 진동을 하거나 고주파를 발생시키게 된다. 이렇게 발생된 특정한 신호(voltage signal)가 안테나의 리시버 회로에서 감지되면 경보를 발생시켜 도난을 방지하게 되는 것이다.

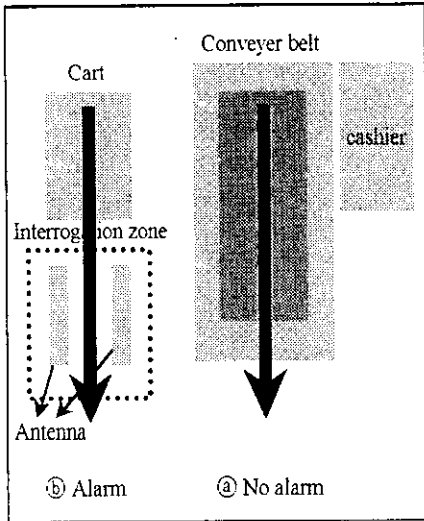


그림 1. Diagrammatic Illustration of Typical Store Installation of the System

## 2. E. A. S. system 에 사용되는 Tag

### 2.1 Magnetoelastic Tag

Magnetoelastic tag는 기본적으로 자장에 의해 재료의 물리적 크기가 변하는 magnetostriction이라는 현상을 이용하며, 외부에서의 자장이 변함에 따라 자성 mode와 탄성 mode의 커플링(coupling) 효과에 의한 기계적인 진동(mechanical resonance)을 통해 나타나는 신호(signal)를 이용한 센서이다.<sup>(1,2)</sup>

외부 자장에 의해 쉽게 반응을 보이기 위하여 연자성 재료(soft magnetic material)가 사용되며 자성 mode와 탄성 mode의 전환시 발생하는 에너지의 로스(loss)를 줄이기 위해 비저항(resistivity)이 크고 입계(grain boundary)에 의한 로스가 없는 비정질 재료를 사용한다. Magnetoelastic tag가 다른 일반 자성물질에서 발생하는 신호와 구별되는 독특한 신호를 발생시키기 위해서는 ring-down-period라 불리는 에너지 방출 시간이 길어야 하는데 이를 위해서 magnetostric-

tion 값이 큰 물질을 사용하여야 한다.

Magnetoelastic tag는 약 40mm 길이의 연자성 센서 물질과 준자성 물질인 바이어스 마그넷(bias magnet) 두개의 스트립(strip)으로 구성되어 있다. 각각의 자성 스트립은 약 20mm의 두께이며 서로 인접한 상태에서 태그(tag)로서의 기능을 수행하게 된다. 바이어스 마그넷이 센서로 사용된 물질을 자화시키고 그 자화된 센서 물질이 트랜스미터에서 발생된 펄스(pulse) 자장에 노출되면 약 58kHz의 미리 선택된 주파수(preselected frequency)에서 공진하도록 되어있다. 그림 2에 현재 사용되고 있는 magnetoelastic sensor label의 구조를 개략적으로 나타내었다.<sup>(3)</sup> 그림 2에 나타난 Styrene cavity는 상품 부착후 발생 가능한 상품의 형태 및 외부 응력으로 인한 물리적인 변형을 방지하고 전체적인 외형을 유지하는 역할을 한다. 두 개의 스트립을 분리하는 PE film lidstock는 센서 물질과 바이어스 물질의 직접적인 접촉으로 인한 진동에너지의 감소를 방지하기 위하여 삽입되며 adhesive를 통해 상품 표면에 부착하게 된다. Magnetoelastic tag는 트랜스미터에서 발생하는 일정한 주파수를 가진 외부자기장이 가해지면 기계적인 진동을 하게 된다. Magnetostrictive sensor 물질이 나타내는 공진현상(resonant behavior)은 외부에서 가해주는 펄스(pulse) 자장 하에서 재료 내부에서 발생하는 내부의 자화벡터(magnetization vector)의 회전(회전)에 기인하는 현상이다. 즉 외부 자장에 의해 가해진 자장방향으로 자벽이동(domain wall motion) 또는 자구 회전(domain rotation)이 일어나고 이 과정을 통해 에너지가 축적되며 이때 축적된 에너지는 외부 자장이 제거되면 다시 원래의 자구 위치로 향하도록 만드는데, 이때 특정 주파수를 따라서 공진이 일어나면서 에너지를 방출하게 되는 것이다. 이러한 축적된 에너지(stored energy)와 방출되는 에너지(release energy)는 물질의 공진주파수(mechanical resonance frequency)에서 최대가 되고 반공진 주파수(anti-resonance frequency)에서 최소가 된다.<sup>(4)</sup> Magnetoelastic tag의 작동

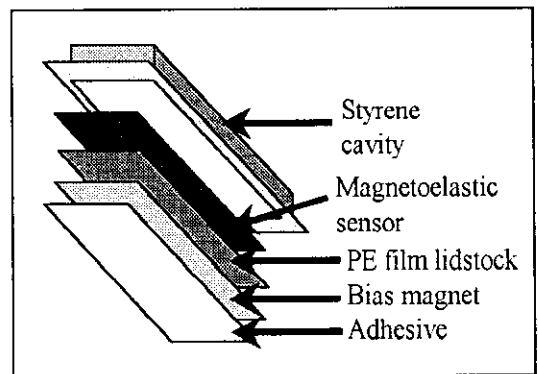


그림 2. Schematic of Magnetoelastic Tag

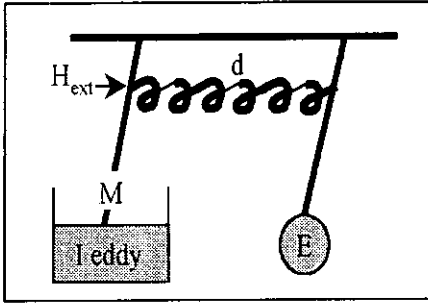


그림 3. Schematic of Magnetoelastic Coupling

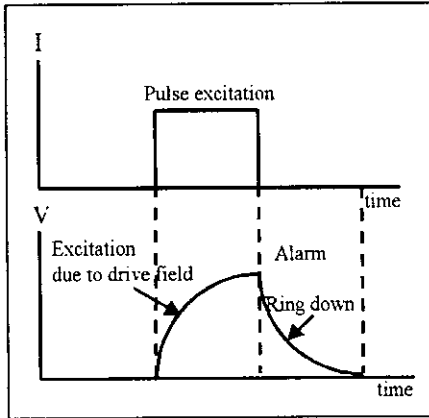


그림 4. Drive Current as Well as Picked up Voltage for Active Tag Present

원리는 자성 mode와 탄성 mode에서 이들 두 mode가 spring 상수와 같은 역할을 하는 magnetostrictivity(d)로써 상호 연결되는 system으로 설명할 수 있다. 안테나의 트랜스미터에 의한 전류에 의해 자장이 가해지면 내부에서는 자성 mode의 일부가 탄성 mode로 전환되며 에너지가 축적된다. 이때 자성 mode가 탄성 mode로 전이되는 효율은 magnetostrictivity, d의 크기에 따라 정해지게 된다. 탄성 mode로 전환되어 에너지를 축적하고 있다가 전원이 끊기게 되어 자장이 제거되면 자성 mode의 진동은 inertial mass가 없으므로 수 nanosecond 이내에 진동을 멈추게 되지만 탄성 mode에서의 진동은 약간의 시간동안(ring-down-period) 떨면서 에너지를 방출하게 된다. 이때 에너지의 방출이 전압의 signal로 나타나게 되는 것이다. Magnetoelastic system에서의 두 mode를 설명하는 그림을 그림 3에 나타내었고 tag에서 발생하는 전압의 신호를 그림 4에 나타내었다.

자성mode와 탄성mode간의 Magnetoelastic coupling이 없는 경우 순수한 기계적 진동만을 하게 되는데 이 때의 진동 주파수

$$\omega_0 = kv(k = 2\pi/\lambda, v = (E/\rho_m)^{1/2}) \text{ 이고 공진 주파수가}$$

$$f_r = \left(\frac{1}{\lambda}\right)(E/\rho_m)^{1/2} \text{ 이지만, magnetoelastic coupling이 존}$$

재하게 되면 magnetic system은 elastic wave와 함께 공진하고 두 mode의 주파수는  $\omega_0$ 보다 낮게 된다. 결과적으로 가장 효과적인 signal은 magnetoelastic coupling이 가장 강한 d 값이 최대에서 나타나게 되는 것이다.<sup>[5]</sup> Magnetostrictivity d의 크기는 M-H curve에서 선형적으로 증가하다가 갑자기 기울기가 감소하는 knee 부분에서 최대가 된다. 따라서 tag는 이 부분에서 작동하도록 design 되어야 하고 bias magnet가 필요한 이유가 바로 여기에 있는 것이다.(그림 5)

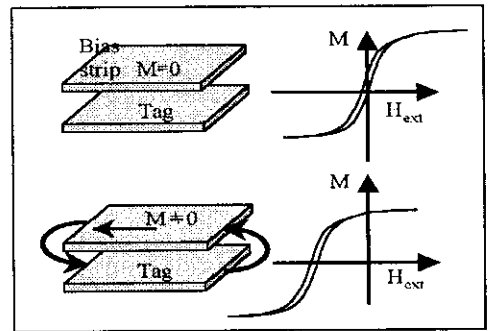


그림 5. Shifted M-H curve due to bias magnet

Magnetostrictive sensor를 제작하기 위해서는 급속응고법(rapid solidification process)으로 제작된  $Fe_{39.5}Co_{39.5}Si_6B_{15}$  조성의 alloy를 비정질(amorphous) 스트립으로 만든 후 약 300℃에서 열처리하여 제작한다. 또한 magnetoelastic tag가 M-H curve의 knee부근에서 정상적으로 작동하게 하기 위해서 바이어스 마그넷은 약 50~100Oe 정도의 보자력(coercivity)을 가져야 하는데 이를 위해 역시 급속응고법으로 제조된  $Fe_{78}Si_9B_{13}$  조성의 비정질 합금을 450℃~720℃에서 수십분간 열처리를 하여 제작하여야 한다.

## 2.2 Harmonic Tag

Harmonic sensor의 작동원리는 기본적으로 센서물질이 나타내는 hysteresis loop의 비선형성에 기인한다. 이 비선형성 hysteresis loop는 재료 내부에서 일어나는 자력의 고정(pin-ning) 효과에 그 원인이 있으며 이러한 효과는 Co계 비정질 합금을 2단계 열처리함으로써 얻을 수 있다.<sup>[6]</sup> Hysteresis loop에서 비선형성 부분을 만들기 위한 2단계 열처리는 첫번째, 자장을 가한 상태에서 열처리를 함으로써 일축 방향의 자화 용이축(easy axis)을 갖도록 자기유도이방성(field

induced anisotropy)을 부여하는 것이다. 두번째는 자장을 제거한 상태에서 열처리를 함으로써 재료 내부에서 효과적인 자벽 고착효과가 나타나도록 하여 hysteresis loop의 비선형성을 이루는 것이다.<sup>17, 18)</sup> 이들 2단계의 열처리과정을 통해 재료는 표면 산화 및 결정화 과정을 거치는데 이들 산화층 및 결정화층의 미세 구조, 결정구조 그리고 두께 등이 센서의 기능에 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었다.<sup>19, 10)</sup>

현재 사용되는 harmonic sensor에는 다양한 종류가 있는데 크게는 소멸형과 비소멸형이 있다. 소멸형의 경우는 센서 물질 단독으로 사용되며 비소멸형의 경우는 센서 물질에 약 50~5000e 정도의 보자력을 가진 준자성 물질의 스트립이 부가되어 재사용이 가능하도록 되어있다. 소멸형 harmonic tag에는 종이 라벨 뒷면에 비정질 스트립과 불연속적인 폭이 넓은 준자성 리본형태로 구성되는 경우와 (그림 6(b)) 종이 라벨과 여기에 부착된 얇은 금속 필름으로 구성된 경우가 있다(그림 6(c)).

자성 조화 센서 재료로 사용되기 위해서는 전술한 바와같이 자성 특성 곡선의 비선형 부분이 필수적이다. Permalloy, Perminvar 등에서도 이러한 비선형성 자성특성 곡선으로 인한 고차항의 조화항이 발생하지만 기계적, 자성적 안정성이 떨어져현재 일반적으로 Co계 비정질 합금( $Co_{95-x}Fe_5(BSi)_x$ )을 자성 조화 센서 물질로 사용하고 있다. 급속응고법으로 제조된 Co계 비정질 합금은 hysteresis loop에서 비선형성 부분을 만들기 위해 2단계 열처리를 하는데 1단계는 시편의 장축 방향으로 포화자화값을 이룰 수 있을 정도의 자장을 가한 상태에서 250℃~420℃구간의 온도에서 3분에서 7시간의 다양한 시간동안 대기중에서 열처리를 한다. 이러한 1단계 열처리를 통한 자기유도 이방성은 hysteresis loop에서의 편차(offset)로 나타나는데 자장열처리 전과 후의 hysteresis loop의

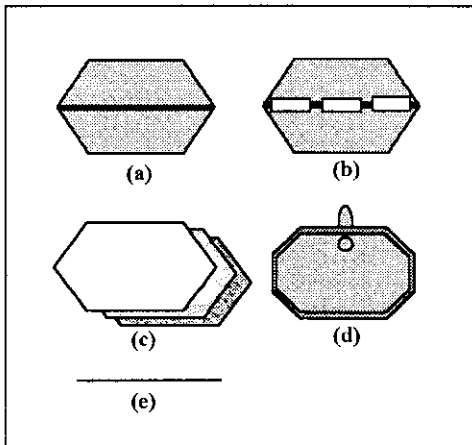


그림 6. Some Types of Harmonic Tags

변화를 그림 7에 나타내었다. 2단계 어닐링은 무자장하에서 실시하는데 재료의 결정화온도(465℃) 보다 낮은 약 320℃정도에서 실시하여 harmonic 센서재료로서의 필수조건인 hysteresis loop 상의 비선형성 부분이 나타나게 만든다. 2단계 어닐링을 통해 재료가 나타내는 변화된 hysteresis loop를 그림 8에 나타내었다. 자성특성곡선에서 비선형 부분의 생성은 자벽 고착 효과에 의해 (domain wall pinning)나타나며 이로 인해 고차항의 조화항을 증가시켜 센서의 신호를 높인다. 자벽 고착 현상이란 자벽이 어떤 특정한 값(threshold value)의 자장까지는 자벽의 움직임이 고정되어 있다가 그 이상의 자장이 가해지면 자벽의 고착이 풀리면서 급격한 자기선속의 변화(step flux change)를 일으키는 것이다.<sup>11, 12, 13)</sup>

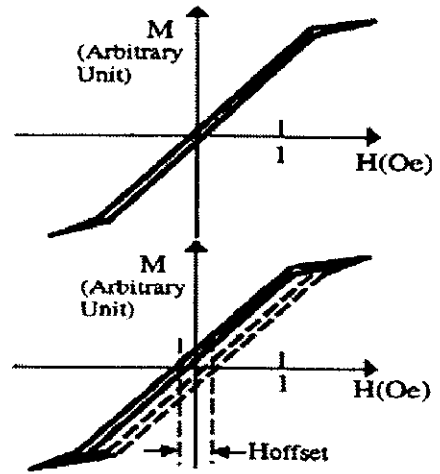


그림 7. Hysteresis Loop Change Due to the Field Induced Anisotropy (Upper) Before Annealed, (Lower) After Annealed

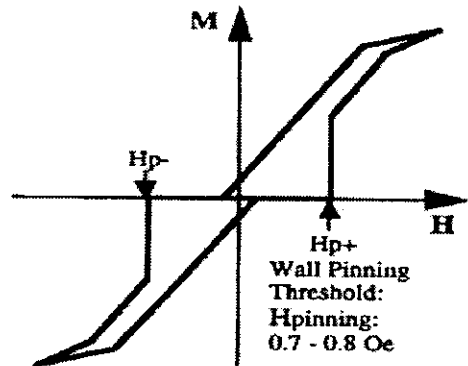


그림 8. Non Linearity after 2 Step Annealing

### 3. 결 론

전자기적 상품감시 시스템에 사용되는 자성센서로서 갖추어야 할 조건은 다음과 같다.

#### 3.1 Magnetoelastic Sensor

- 자성 mode와 탄성 mode의 변환시 발생하는 energy loss가 최소가 되어 magnetomechanical coupling이 커야 한다. 따라서 자성 mode에서의 eddy current loss, hysteresis loss 등과 탄성 mode에서의 viscosity damping, frictional loss 등을 최소화 하여야 한다.
- 급속응고법으로 제조된  $\text{Co}_{39.5}\text{Fe}_{39.5}\text{Si}_6\text{B}_{15}$  비정질 합금을 열처리를 통해 비정질 matrix내에 미세한  $\alpha\text{-Fe}$  입자들을 분포시켜 ring-down-period를 증가시킨다.
- 자성 mode와 탄성 mode의 빠른 energy 변환을 위해 적절히 큰 magnetostrictivity, d 값을 갖도록 만든다.

#### 3.2 Harmonic Sensor

- 센서 물질을 2단계 열처리 함으로써 자벽 고착 효과를 만들고 산화층 및 결정층의 두께를 조절하여 wall pinning threshold 값을 증가시켜 자성 특성곡선에서 비선형 부분을 크게 만든다.
- 미세구조적으로 Co결정화 층은 이방성이 큰 HCP 구조와 침상형(acicular)이면서 grain내에 impurity fault의 밀도가 높은 구조를 만듦으로써 센서의 성능을 향상시킬 수 있다.
- 제조 공정시(R.S.P.) 발생할 수 있는 내부응력(internal stress)에 의한 damping을 방지하기 위해 magnetostriction이 0에 가까운 물질을 사용한다.

E.A.S. 시스템 산업의 시장성은 잠재력만 해도 무한하다. 특히 도난 방지 시스템 뿐만 아니라 물품 분류 시스템, 신생아 유괴 방지, 정신 질환자 이탈 방지 등의 시스템으로도 응용될 수 있기 때문에 성장 잠재성이 크며 선진국의 선발 E.A.S. system 기업들의 진출을 목전에 두고 있는 국내 실정으로서 는 시급히 이 분야에 대한 연구 개발이 이루어져 외국 기업에 의한 국내시장 잠식을 막아야 할 시점이라고 할 수 있겠다.

#### 후 기

이 논문은 2000년 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구 되었음.

#### 참 고 문 헌

[1] R. C. OHandley, M. C. Narashimhan and M.

O. Sullivan, J. Appl. Phys., 50(3), pp. 1633~1634 (1979)

- [2] K. B. Hathawany and A. E. Clark : MRS Bull., Vol. XVIII(4), pp. 34~41 (1993)
- [3] P. M. Anderson : U. S. Patent, Nos. 4510489 : Surveillance System Having Magnetomechanical Marker and 4510490 : Coded Surveillance System Having Magnetomechanical Marker, 1985
- [4] R. C. OHandley : J. Mater. Eng. Performance, Vol. 2(2), pp. 211~217 (1993)
- [5] M. D. Mermelstein, IEEE. Trans. Magn., Vol.28(1), pp. 35~56 (1992)
- [6] C. Aroca, P. Sanchez and E. Lopez, Phys. Rev. B, Vol.34, pp. 490~493 (1986)
- [7] E. A. Nesbitt, R. Hasegawa, R. C. OHandley and M. O. Sullivan, J. Appl. Phys., 51(6), pp. 3328~3329 (1980)
- [8] Kai-Yuan Ho, P. J. Flanders and C. D. Graham, Jr., J. Appl. Phys., 53(3), pp. 2279~2281 (1982)
- [9] V. R. V. Ramanan and G. E. Fish, J. Appl. Phys. 53(3), pp. 2273~2275 (1982)
- [10] H. R. Hilzinger and G. Herzer, Mater. Sci. Eng., 99, pp. 101~104 (1988)
- [11] R. Schafer, W. K. Ho, J. Yamasaki, A. Hubert and F. B. Humphrey, ITTT. Trans. Magn., Vol.27, pp. 3678~3689 (1991)
- [12] W. K. Ho and F. B. Humphrey, J. Appl. Phys., 63(8), pp. 2944~2946 (1988)
- [13] J. Yamasaki, K. Mohri, K. Watari and K. Narita, IEEE. Trans. Magn., 20 pp. 1855~1857 (1984)

## 저 자 약 력

성명 : 김 창 경

#### ❖ 학 력

1978. 3~1982. 2 서울대학교 금속공학  
1982. 3~1984. 2 서울대학교 금속공학  
1985. 9~1991. 7 Massachusetts Institute of  
Technogy, Cambridge, Ma

#### ❖ 경 력

~ 현재 한양대학교 재료공학부 부교수