

상품 도난 방지 시스템용 자기 센서

송용설

(주)유유

(1997년 10월 20일 받음)

I. 서 론

흔히 EAS SYSTEM으로 불리는 Electronic Article Surveillance System(전자 상품 감시 시스템)은 일반적으로 '상품 도난 방지 시스템'이라고 한다.

상품 도난 방지 시스템을 설치하는 목적은 편의점, 슈퍼마켓, 의류점, 서점, 오디오/비디오 테이프 판매점 및 대여점, 스포츠용품점, 하이마트, 도서관 등의 일정한 보호구역으로부터 의류, 서적, 오디오/비디오 테이프, CD 등의 상품을 도난으로부터 방지하는 것이다. 상품 도난 방지 시스템은 판매되는 상품 표면에 특정 주파수의 전파에 반응하도록 설계된 라벨이나 태그(Tag)를 부착하고, 입구에 특정 주파수의 전파를 방사하는 안테나(Frame)를 설치하여 라벨이나 태그가 계산대에서 제거되거나 센서 기능이 소멸되지 않은 채 유출될 때, 상품을 검출하여 경보를 발생시켜 상품의 도난을 방지한다.

1934년 Pierre Card는 전자기장내에 놓인 서로 다른 금속 물질은 서로 다른 고조파를 나타내고 있음을 발견하였다. 즉, 뮤 메탈(mu metal)이나 퍼멀로이와 같이 초기 투자율이 대단히 큰 금속 물질의 경우 상대적으로 높은 차수의 고조파를 나타내므로 이러한 금속 물질이 나타내는 특별한 고조파를 검출할 수 있다면, 전자기장내에 이러한 물질의 존재를 검출할 수 있음을 제안하였다. 상품 도난 방지 시스템용 자기 센서에 대한 연구는 높은 차수의 고조파 발생이 가능한 고투자율 재료에 대한 연구에 초점이 맞추어졌으며, 1980년 Richardson에 의하여 퍼멀로이를 이용한 상품 도난 방지 시스템용 자기 센서의 조건이 제시되었다. 그는 60 Hz~10 kHz의 시스템 주파수를 사용하여 18차~20차의 고조파를 검출하였다.

상품 도난 방지 시스템용 자기 센서는 1970년대말 비정질 자성 합금이 대량 생산되어 상용화되기 시작하며 새로운 국면을 맞이하였다. 1981년 AlliedSignal사에 의해 코발트계 아몰퍼스 합금(상품명 METGLAS)을 이용한 고투자율 비정질 자기 센서가 개발되어 비정질 연자성 합금

이 상품 도난 방지 시스템용 자기 센서의 주요 재료로 자리를 차지하게 되었으며, 상품의 도난 방지 필요성 및 인건비 절감 등의 사회환경적 요인과 더불어 수요는 급속히 증가하였다. 자기 센서의 센서 기능 향상 및 신뢰성 향상을 위한 각종 연구가 진행되었으며, 1987년 Sensormatic사에 의하여 비정질 세션을 이용한 센서의 개발이 이루어졌고, 1990년에는 Hitachi사에 의해 Nanocrystalline Alloy인 FINEMET를 이용한 자기 센서의 개발이 보고된 바 있다. 현재 전세계적으로 상품 도난 방지 시스템 및 자기 센서를 공급하고 있는 회사로는 Sensormatic, Knogo, METTO, NEDAP 등이 있다.

상품 도난 방지 시스템의 방식에는 EM (Electro-Magnetic) 방식과 RF (Radio-Frequency) 방식이 있다. RF 방식이란 Radio-Frequency를 사용하는 방식이라는 뜻으로, 사용 주파수가 MHz 단위라는 점에서 붙여진 이름이다. RF 방식은 폴리머에 금속을 코팅하여 특정 LC 값을 갖도록 하여 특정 주파수에서 공진할 때 강한 전기 신호를 발생하는 원리를 이용하는 방식으로, EM 방식에 비하여 비교적 간단한 구조를 가지며 EM 방식보다 일찍 소개되었다. 그러나 습기 등의 환경적 요인에 의한 오동작 가능성이 큰 편이다. EM 방식은 Electro-magnetic의 약자로, 전자기장을 이용한 방식을 의미하고, 사용 주파수는 수 KHz로 교류 자장 내에 연자성 재료가 놓일 때, 교류 자장이 변화되어 발생하는 고조파를 감지하여 검출하는 원리를 이용한다. 자기 센서의 기능 부분은 비선형 자기이력곡선을 갖는 연자성 재료의 스트립이다. 이러한 비선형성 때문에 정현파의 검출용 자장은 고조파 성분을 갖는 비정현파 신호로 변환된다. 검출 시스템은 이러한 고조파 성분을 검출하게 된다.

본 해설에서는 연자성 자기 센서가 이용되는 EM 방식에 대하여 서술하고자 한다. EM 방식은 물품에 부착시키는 태그(Tag), 교류 자장을 발생시키는 트랜스미터(Transmitter)와 교류 자장내에 태그가 놓일 때 발생하는 고주파 펄스를 검출하는 리시버(Receiver)로 구성되

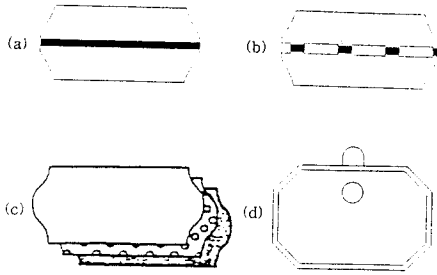


Fig. 3. 자기 센서의 종류

이와 같은 EM 방식의 상품 도난 방지 시스템에서 센서가 어떻게 반응하는가를 살펴보자. Fig. 4(a)는 자기 센서용 연자성 재료의 일반적인 자기이력곡선을 나타낸다. 그림의 X축은 자기 센서 재료의 길이 방향으로 가해지는 외부 자장의 크기와 방향을 나타내며, Y축은 외부 자장의 세기에 따라 변화하는 자기 센서 재료 내부의 자화값을 나타낸다. 외부에서 가해지는 자장 H가 음의 방향으로 세게 가해지면 (A), 자화값 M도 음의 방향으로 포화가 된다. 자기 센서 재료는 A에서 자기적으로 포화가 되어 음의 방향으로 외부 자장 M을 증가시키더라도 자화값은 더 이상 증가하지 않는다. 한편 A로부터 양의 방향으로 외부 자장을 증가시키더라도 음의 방향으로 포화된 자화값은 별로 변화하지 않다가 외부 자장이 양의 방향으로 상당히 가해진 B를 지나면서 비로써 자화값이 외부 자장의 방향과 같은 양의 방향으로 증가하기 시작한다. 외부 자장을 양의 방향으로 더욱 증가시키면 자화값은 양의 방향으로 포화되며 (C), C보다 양의 방향으로 더욱 큰 외부 자장을 가하더라도 더 이상 자화값의 변화는 없다. 다시 C에서 음의 방향으로 외부 자장을 가하여 보면, 음의 방향의 외부 자장이 가해지는 D까지 양으로 포화된 자화값이 변화지 않다가 D보다 음의 방향으로 외부 자장이 가해지면서 자화값이 음의 방향으로 감소하다가 결국 음의 방향으로 포화되게 된다(A). 즉, 외부에서 가해지는 자장이 자기 센서 재료를 포화시키기에 충분히 큰 세기를 가지고 양의 방향과 음의 방향으로 순차적인 변화를 할 때, 즉 충분히 센 크기의 교류 자장이 가해질 때, 자기 센서 재료는 A, B, C, D, A, B, C, D, A, B, ... 의 경로를 따라서 자기적인 반응을 보이게 된다.

일반적으로 센서의 기본적인 요건은 독특성 또는 차별성이다. 즉, 다른 것과는 구별되는 독특한 특성을 나타내야 한다. 상품 도난 방지 시스템에 사용되는 센서의 기본적인 요건은 이러한 자기이력곡선의 분석에 기인한다. Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 자화값 M에서의 큰 변화

는 외부 자장이 주기적으로 변화하는 가운데 매우 제한된 범위에서만, 즉 B와 C 사이, 그리고 D와 A 사이에서만 존재한다. 자기 센서 재료에 가해지는 외부 자장을 혼란시켜서 감지할 수 있을 만큼의 큰 효과를 얻을 수 있는 것이 바로 이 구간에서의 변화이다. 외부 자장이 변화할 때, 자화값이 좀더 급격히 변화한다면, 즉, 자기이력곡선에서의 기울기 dM/dH 가 클수록 큰 값의 고조파 성분을 얻을 수가 있으므로 보다 쉽게 감지할 수 있게 된다.

Fig. 4(b)는 Fig. 4(a)에서 보여주고 있는 자기이력곡선에서의 기울기 dM/dH 값을 X축을 시간으로 하여 나타낸 것이다. Fig. 4(b)에서 보는 바와 같이 외부 자장이 한 사이클만큼(A에서 다음 A로) 변화할 때 두 개의 피크를 얻게 된다. 외부 자장을 혼란시키는 정도는 이 피크의 고조파 성분이 얼마나 큰가에 달려 있으며, 고조파 성분의 크기는 이 피크가 얼마나 좁고 높은가에 달려 있다.

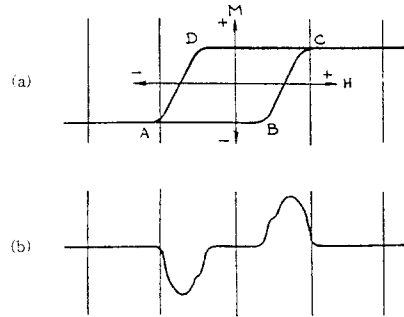


Fig. 4. (a) 자기 센서 재료의 자기이력곡선
(b) 시간에 따른 자기이력곡선 기울기의 변화

이와 같은 이론에 근거할 때, 상품 도난 방지용 자기 센서에 사용하기 위해서 연자성 재료가 가져야 할 기준은 다음과 같다.

- 1) 약한 외부의 자장 내에서 자기적으로 쉽게 포화될 수 있어야 한다. 이것은 태그에 부착되는 연자성 재료를 차별적으로 감지하기 위함이며, 안테나 사이를 통과하는 사람에게 외부 자장이 유해하지 않아야 하는 것과 관계된다. 주로 보자력(H_c)이 10 kHz에서 20~30 A/m 이하를 요구한다.
- 2) 일반적으로 큰 dM/dH 를 얻기 위하여 각형비(Rectangular Ratio = B_r/B_s)가 큰 것이 유리하다.
- 3) 포화자속밀도가 클수록 유리하다. 이것은 일반적으로 각형비가 비슷한 경우, 포화자속밀도가 클수록 dM/dH 가 커지기 때문이다.

는 안테나와 고주파 신호 처리 장치 등으로 구성되어 있다. 안테나의 내부는 Fig. 1과 같다.

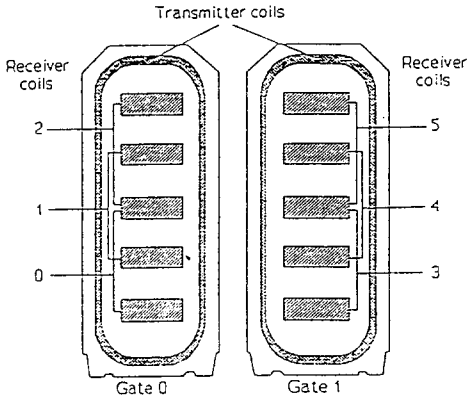


Fig. 1. 안테나의 내부

트랜스미터에 의해 형성된 자장내에 태그를 가진 상품이 놓이게 되면, 태그내의 연자성물질은 교류 자장에 의해 자기이력곡선을 그리게 되고, 따라서 외부 자장은 왜곡된다. 이렇게 왜곡된 자장은 교류 자장의 주파수를 기본으로 하여 이 주파수의 배수가 되는 주파수를 함께 포함한다. 이 왜곡된 파형을 Fourier 전개시킴으로써 여러 주파수 성분을 얻어낼 수 있으며, 주위의 다른 자성 물질이 가지지 못하는 주파수 성분을 리시버의 감지 주파수로 선택함으로써 센서의 성능과 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

EM 방식의 상품 도난 방지 시스템의 동작 원리는 다음과 같다(Fig. 2). 구입하고자 하는 상품(14)이 컨베이어 벨트(12)에 올려져 계산대(16)까지 이동되면, 점원(19)은 가격을 기록한 뒤 상품을 컨베이어 벨트에 다시 올려 놓고 끝까지 이동시킨다(10). 이렇게 정상적으로 가격을 지불한 상품은 안테나(20, 22)의 바깥쪽을 통과하게 된다. 그러나 카트(18)내에 남아 있는 상태로 또는 가격을 지불하지 않은 상품이 안테나 사이를 통과하는 경우를 생각할 수 있다. 안테나 판넬은 판넬 사이에 교류 자장을 발생시키는 트랜스미터와 태그가 판넬 사이를 통과할 때 교류 자장이 혼란 되는 정도에 따라 그에 대응하는 크기의 전기 신호를 발생하는 리시버로 구성되어 있으며, 이 안테나는 트랜스미터와 리시버 회로에 전기적으로 연결되어 있어서 태그(30)가 판넬 사이를 통과할 때면 경보음을 내게 되어 상품의 도난을 방지하게 된다.

EM 방식의 상품 도난 방지 시스템에 사용하는 태그는 크게 비소멸형과 소멸형으로 나눌 수 있다. 비소멸형 태

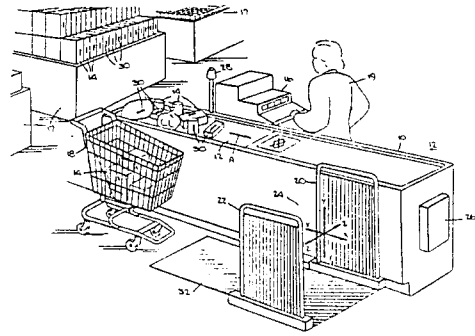


Fig. 2. EM 방식 시스템의 작동 원리

그는 연자성 재료의 한쪽 면에 매끈한 종이로 보호된 양면 접착 테이프를 부착시켜서 적당한 길이로 절단하여 제작된다. 이때 사용하는 비정질 리본의 폭은 보통 1.0~3.0 mm, 길이는 보통 40~100 mm 정도이다. 소멸형의 경우는 연자성 재료에 부가적으로 50~500 Oe 정도의 보자력을 갖는 세미하드자석(Semi-hard magnet)을 3~5 mm 정도로 잘라 붙여서 태그의 센서 기능을 소멸(deactivation)시킬 수 있으며, 회수된 상품의 경우, 간단한 교류 발생 기구에 의하여 센서 기능을 되살려(reactivation) 사용할 수 있다.

- 자기 센서의 종류에는 다음과 같은 것이 있다(Fig. 3).
- 1) 비소멸형 스트립 라벨(접착하여 사용) : 종이 라벨 뒷면에 부착된 비정질 스트립(폭 1.0~3.0 mm, 길이 40~100 mm)으로 구성되며 소멸 기능이 없다(Fig. 3(a)).
 - 2) 소멸형 스트립 라벨(접착하여 사용) : 종이 라벨 뒷면에 부착된 비정질 스트립과 불연속적인 폭이 넓은 세미하드자석 리본(폭 1.5~2.0 mm)으로 구성되며, 연속된 비정질 리본은 경보를 발생시키고, 불연속적인 세미하드자석 리본은 라벨의 기능을 소멸시키는 기능을 하게 된다(Fig. 3(b)).
 - 3) 증착 필름 라벨(접착하여 사용) : 종이 라벨과 여기에 부착된 얇은 금속 필름으로 구성되어 있다. 하나는 경보를 발생시키고 다른 하나는 라벨의 기능을 소멸시키는 것이다(Fig. 3(c)).
 - 4) 세션 라벨(접착하여 사용) : 비소멸형 스트립 라벨과 거의 유사하나 리본 대신 매우 가는 와이어(ϕ 0.1~0.2 mm)를 사용한다.
 - 5) 하드 태그(핀으로 부착하여 사용) : 경보를 발생시키는 비정질 스트립을 플라스틱 안에 넣어 제조한 것으로, 기능 소멸은 불가능하며, 판매 시점에 부착하였던 상품으로부터 제거한다(Fig. 3(d)).

- 4) 단면적이 클수록 유리하다. 동일 길이에서 단면적의 증가는 기전력 ($e \approx NBAf$), 즉 고조파 성분의 크기를 증대시킨다.
- 5) 대부분의 경우, 길이 / (단면적)^{0.5} 가 150 이상인 경우에 반자장 효과를 억제하여 자기 센서로서의 특성을 나타낸다.

이와 같은 특성을 만족하는 연자성 재료로 퍼멀로이(Permalloy)가 초기부터 사용되어 왔으며, 비정질 연자성 합금이 리본 또는 선재의 형태로 상품 도난 방지용 자기 센서 재료로써 채택 사용된 이래로 꾸준한 시장 점유율을 높여 와서 현재는 가장 주된 재료가 되었다.

1) 퍼멀로이

퍼멀로이는 상품 도난 방지용 자기 센서에 응용된 최초의 연자성 재료이다. 퍼멀로이는 쉽게 이용할 수 있으며 보자력이 낮아서 탐지를 위해 커다란 외부 자장을 필요로 하지 않는다는 장점이 있다. 그러나 변형에 의한 특성의 열화가 일어나는 등 취급에 상당히 민감하다. 이것은 퍼멀로이 판을 슬리핑 하고 센서용 태그를 만드는 공정에서뿐만 아니라 상품에 도난 방지 센서를 부착할 때도 어려움을 야기시킨다. 퍼멀로이는 현재 주로 도서관용 태그와 같은 길고 변형이 가해지지 않는 상품에 주로 사용되고 있다.

2) 비정질 자성 합금

비정질 연자성 합금은 취급 시의 내구성이 우수하여 최근 가장 널리 상품 도난 방지용 자기 센서로 사용되고 있는 재료이다. 주로 리본 형태로 사용되며 미국의 AlliedSignal사의 Co계 METGLAS가 널리 사용되고 있다. 또한 일본의 Unitika사에서 제조한 선재도 일부 사용되고 있다. 회전하는 액중으로의 급속응고법에 의하여 제조되는 선재는 잔류 응력의 영향으로 도난 방지용 자기 센서에 적합한 높은 각형비를 갖게 된다. 그러나 보자력은 리본 형태에 비하여 다소 높으며 특히 제조 공정비가 비싸다는 단점이 있다. 그리고 최근 비정질 합금의 증착 필름을 사용하는 경우도 늘고 있다.

3) 복합 자성 재료

Ferro 자성 재료와 Antiferro 자성 재료를 결합하여 매우 독특한 형태의 자기이력곡선을 얻는 경우도 있다. 이러한 리본은 매우 날카롭고 커다란 피크를 나타내어 매우 커다란 높은 차수의 고조파 피크를 얻을 수 있으므로 다른 물질과의 차별화가 용이하여 자기 센서의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

일반적으로 자기 센서는 센서 기능의 소멸(deactivated)과 재생(reactivated) 기능을 필요로 한다. 예를 들면 도서관이나 비디오 테이프 대여점의 경우, 자기 센서는 반복적으로 사용되어야 한다. 자기 센서 기능의 소멸 원리

는 센서 기능을 하는 연자성 재료와 세미하드자석을 결합시키는 것이다. 세미하드자석이 자화되면 그림의 자기이력곡선에서 보는바와 같이 연자성 재료는 세미하드자석의 자기이력곡선내에 놓이므로 더 이상 센서 기능을 할 수 없게 된다(Fig. 5). 일반적으로 연자성 재료와 세미하드자석은 부착되어 하나의 자기 센서를 형성한다.

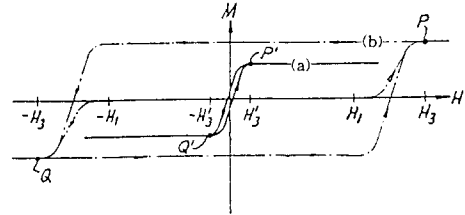


Fig. 5. 연자성 재료(a) 및 세미하드자석 재료(b)의 자기이력곡선

센서의 기능을 제거할 목적으로 사용되는 세미하드자석의 요구 특성은 다음과 같다.

- 1) 세미하드자석은 연자성 재료의 표면을 완전히 덮을 필요는 없다.
- 2) 반자장의 영향이 최소가 되도록 길이를 설계한다.
- 3) 일반적으로 사용되는 세미하드자석의 자기적 특성은 보자력이 최소 100 Oe 이상(150~200 Oe 최적)이며, 잔류자속밀도는 5,000 gauss 이상(8,000~12,000 gauss 정도 사용)이 요구된다.
- 4) 일반적으로 Co-V-Fe 조성의 Vicalloy가 사용된다.

끝으로 상품 도난 방지용 시스템 및 자기 센서의 향후 개발 동향은 다음과 같다. 상품 도난 방지 시스템의 경우, 자장이 인체에 미치는 유해 환경을 제거하기 위하여 인가 자장의 세기를 감소시키고자 하는 노력이 이루어지고 있으며, 노이즈에 의한 오동작 등을 감소시키기 위하여 인가 주파수를 현재의 1 kHz~10 kHz에서 가능하다면 60 Hz로 낮추고자 시도하고 있다. 자기 센서의 경우, 자기 센서 길이를 최소화하는 방안이 검토되고 있다. 분위기 열처리 등에 의한 자기이력곡선의 비대칭성 부여 및 자기 이방성을 이용한 자기 센서의 특성 향상 방안이 연구되고 있다. 또한 세선의 제조 및 조성 개발, 기존 리본을 응력 하에서의 열처리하여 Bakhausen effects를 증대시키는 연구가 이루어지고 있다. 그리고 기존의 상품 도난 방지 기능뿐만 아니라 조성 변화로 Δs를 조절하고 발생하는 even & odd 주파수를 구별하여 물품 분류에 이용하고자 하는 연구도 이루어지고 있다.