

보안용 금속 탐지기의 설계

안광옥, 임창환, 정현교
서울대학교 전기공학부

Design of Walk-through Metal Detector

Kwang-Ok An, Chang-Hwan Im, Hyun-Kyo Jung
School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract - 통과형 금속 탐지기(Walk-through Metal Detector)는 공항 등의 장소에서 보안 검색용으로 널리 사용되고 있다. 기존의 1차원적인 통과형 금속 탐지기는 총기류와 다른 금속체를 구별하기가 힘들다는 문제점이 있었다. 본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위해서 2차원적인 탐지가 가능한 새로운 형태의 통과형 금속 탐지기의 모델을 제시하였고, 유한요소법(FEM)을 이용해 기존 모델과 비교 검증하였다.

해석 지배 방정식은 다음 식 (3)과 같다.

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \right) + \alpha \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \nabla \phi = \vec{J}_s \quad (3)$$

2.2 역기전력 계산

센싱 코일에 유기되는 역기전력은 코일간 쇠교 자속의 시간당 변화율로 (4)와 같이 표시된다.

$$e = - \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{d\phi}{dt}$$

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int \nabla \times \vec{A} \cdot d\vec{S} \quad (4)$$

$$= \int \vec{A} \cdot d\vec{l}$$

위 식을 2차원 유한요소법에서 식 (5)와 같이 구현할 수 있다. 영역 1은 전류가 들어가는 방향의 코일 영역을 나타내고 영역 2는 전류가 나오는 방향의 코일 영역을 나타낸다고 가정한다.

$$\phi = \frac{1}{S} \sum_{\epsilon} a (A_1^{\epsilon} + A_2^{\epsilon} + A_3^{\epsilon}) \Delta^{\epsilon} d \quad (5)$$

여기서 S: 영역 1,2의 면적, a: 영역 2에서는 1, 영역 1에서는 -1, 그 외의 요소에서는 0의 값을 갖는 변수, d: 높이, Δ^ε: 요소 면적, 그리고, A_i^ε는 요소 각 노드의 벡터 포텐셜을 나타낸다[1,2].

3. 기존의 통과형 금속 탐지기

3.1 기존 모델 및 동작 원리

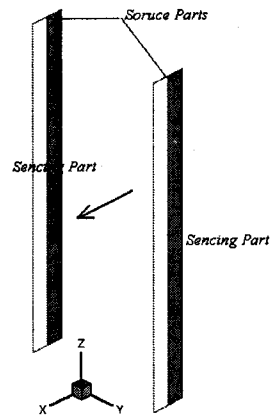


그림 1. 기존의 통과형 금속 탐지기의 구조

1. 서 론

사회적으로 보안에 대한 관심이 높아지면서 통과형 금속 탐지기의 종류가 다양해지고, 그 사용 범위도 넓어지고 있다[3,4]. 기존의 모델은 정자장 또는 교류 자장을 걸어주고, 금속의 통과시 자장의 변화를 센싱하는 1차원적인 탐지 방법을 사용한다. 이 방식은 금속의 크기에 따라서 자장의 변화 정도가 달라지기 때문에 총기류 같이 큰 자성체와 열쇠 같은 작은 금속이 통과하는 경우는 구별이 가능하다. 그러나 금속체가 여러 개 같이 통과하는 경우 등에서 총기류와 기타 금속체를 구별할 수 없는 경우가 발생한다. 최근 이동 통신 기기나 휴대용 컴퓨터 등의 휴대가 증가하고 총기류의 종류도 다양해짐에 따라 총기류와 기타 금속체를 구별하는 것이 점점 더 어려워지고 있다. 본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하여 총기류와 기타 금속체를 구별할 수 있도록 고안된 2차원 센싱 개념의 새로운 금속 탐지기를 제안한다. 그리고, 유한요소법을 이용하여 기존 모델에서 탐지가 불가능하였던 경우를 새로운 모델에 적용시켜서 탐지가 가능함을 검증하도록 한다.

2. 해석 방법

2.1 Eddy current 해석 지배 방정식

자기 준정적 시스템(magneto-quasistatic system)에서의 maxwell equation은 (1)과 같다.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

여기서 $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$ 와 $\vec{J}_e = \sigma \vec{E}$ 를 이용하면, 다음 (2)를 구할 수 있다.

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \right) = \vec{J}$$

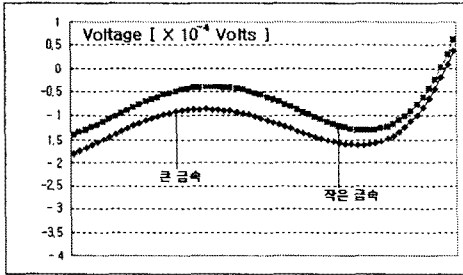
$$\vec{E} = - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \vec{v} \times \vec{B} - \nabla \phi \quad (2)$$

식 (2)의 두 번째 식에서 사람이 통과형 금속 탐지기를 지나가는 속도가 그리 빠르지 않다고 가정한다면, 속도에 관한 항을 무시할 수 있고, 최종적인 Eddy current

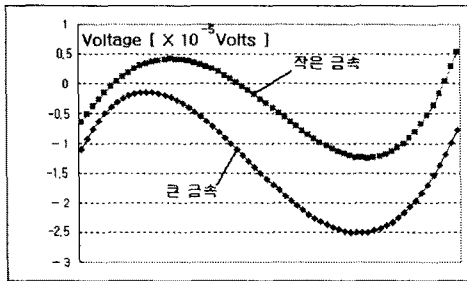
그림 1은 기존의 통과형 금속 탐지기의 구조를 나타낸다. 기존의 모델은 양 쪽의 source coil에 전류를 인가하여 y-방향으로 일정한 자장을 걸어준다. 그리고, 사람이 x-방향으로 통과할 때 sensing coil에서 발생하는 역기전력의 변화를 측정하여 금속의 유무를 탐지하는 원리이다. 이는 금속이 탐지기 내부를 지날 때, eddy current에 의해서 source에서 발생된 flux가 통과하지 못하는 skin effect 현상으로 인한 결과이다. 일반적으로 총기류는 다른 금속류 보다 크기가 더 크기 때문에, 더 큰 출력 파형을 얻을 수 있다.

3.2 기존 모델의 동작 예

그림 2는 사람이 금속을 +y 방향으로 치우쳐서 소지하고, 통과형 금속 탐지기를 지날 때의 결과이다. 큰 금속은 총기류를 모델링한 것이고 작은 금속은 이동 전화 열쇠 등의 기타 금속체를 모델링한 것이다.



(a) +y 방향의 센서에서의 위치에 따른 역기전력 변화량 (단위 10^{-4} Volts)



(b) -y 방향의 센서에서의 위치에 따른 역기전력 변화량 (단위 10^{-5} Volts)

그림 2. 기존 모델의 동작 예

그림 2에서 ■는 작은 금속의 경우 센싱 코일에서의 역기전력의 변화량을, ◆는 큰 금속의 경우 역기전력의 변화량을 나타낸다. 그림 2.(a)의 그래프에서 나타나듯이 센싱 코일에서의 거리가 가까운 경우 가까운 코일에서 나타나는 역기전력의 변화량은 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 하지만, 그림 2.(b)의 그래프에서 알 수 있듯이 거리가 먼 쪽의 센싱 코일에서의 역기전력 변화량은 크기가 큰 금속이 작은 금속에 비해서 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 이와 같은 원리를 이용하면 단일 금속체가 통과하는 경우 금속체의 크기를 구별할 수 있다.

3.3 기존 모델의 문제점

앞 절의 결과로부터 단일 금속체가 탐지기를 통과하는 경우에는 작은 금속(휴대 전화, 열쇠, 휴대용 컴퓨터 등)과 큰 금속(총기류)을 구별할 수 있음을 확인할 수 있다. 하지만 그림 3과 같이 양 쪽에 작은 금속체를 지니고 통과하는 경우와 가운데에 큰 금속체를 지니고 통과하는 경우에는 그림 4의 결과와 같이 두 경우의 결과가 쉽게 구별이 되지 않는다.

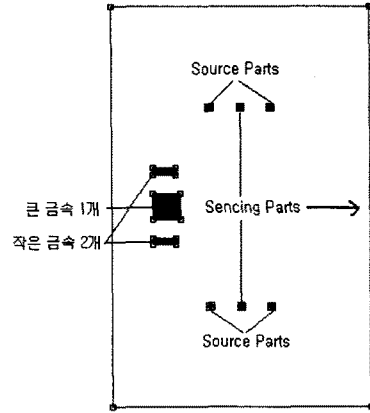
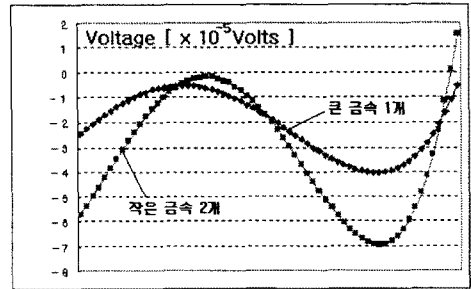
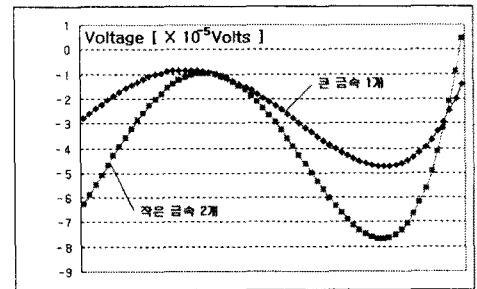


그림 3. FEM 해석 모델



(a) +y 방향의 센서에서의 위치에 따른 역기전력 변화량



(b) -y 방향의 센서에서의 위치에 따른 역기전력 변화량
그림 4. 기존 모델에서 구별할 수 없는 경우의 역기전력 변화량

그림 4.에서 ■는 작은 금속 2개를 +y 방향과 -y 방향에 하나씩 소지하고 탐지기를 지날 때의 역기전력의 변화량을 나타내고, ◆는 큰 금속 1개를 몸의 가운데에 소지하였을 경우의 역기전력의 변화량을 나타낸다. 두 경우 모두 센싱 코일에서의 위치가 동일하기 때문에, 그림 4.(a)와 그림 4.(b)의 역기전력 변화량의 크기는 동일하다. 그러나, 작은 금속이 2개 있는 경우의 역기전력이 큰 금속이 1개 있는 경우보다 더 크게 측정됨을 알 수 있다. 이로써, 기존의 모델은 앞의 경우처럼 금속이 하나씩 통과되는 경우에는 금속의 크기를 추정하여서 총기류같이 크기가 큰 금속을 탐지할 수 있으나, 작은 금속이 동시에 여러 개 통과되는 경우에는 금속의 크기를 알아내어 탐지하는 것이 어렵다는 것을 확인할 수 있다.

4. 제안된 통과형 금속 탐지기

4.1 제안된 모델 및 동작 원리

그림 5는 제안된 통과형 금속 탐지기의 구조를 나타낸다. 제안된 모델은 기존의 모델에서와 달리 source coil을 기울여서 통과형 금속 탐지기에 인가되는 자장의 방향 또한 기울어지게 하였고, -y 방향과 +y 방향의 센서가 쌍을 이루어 각각의 유기 기전력의 차이로 금속을 탐지하는 방식을 사용했다. 이런 변화로 인해서 기존의 1차원적인 센싱이 아닌 2차원 센싱이 가능할 수 있고, 이를 통해서 기존 모델의 문제점을 해결할 수 있다. 제안된 모델은 기본적으로 -y 방향의 센싱 코일을 지나가는 시점과 +y 방향의 센싱 코일을 지나가는 시점 사이에 차이가 발생함을 이용한다. 따라서 양 쪽에 금속을 지니고 제안된 탐색기를 통과할 경우 각 금속이 자장에 영향을 미치는 시점에 차이가 발생하게 되고 전체 유기 전력 파형은 각각 시점에서의 유기전력 차이를 합한 것이 됨으로써, 앞의 3.3절의 두 경우에 있어서 파형의 차이가 현격하게 나타나게 된다.

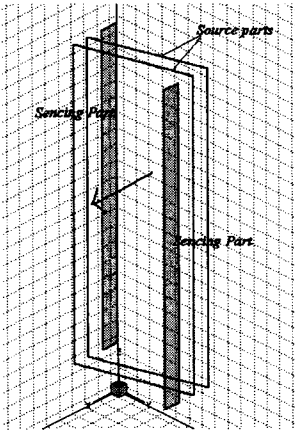
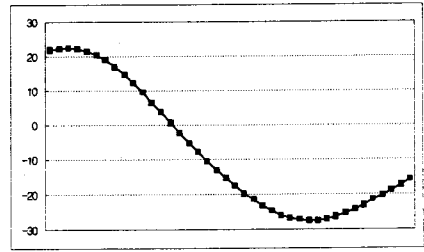


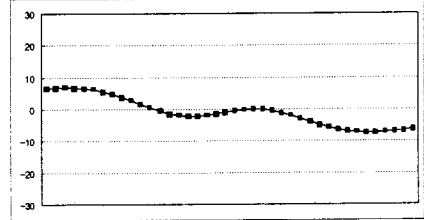
그림 5. 제안된 통과형 금속 탐지기의 구조

4.2 새로운 모델의 검증

본 절에서는 3.3절에서 기존 모델의 문제점을 보이기 위하여 사용한 금속체의 배치를 제안된 모델에 적용하여 제안된 모델을 이용하면 기존 모델에서 구별할 수 없었던 경우를 구별할 수 있음을 검증하도록 한다. 그림 6은 그림 4에 나타난 두 가지 경우에 대한 결과를 나타낸다. 그림 6.(a)는 큰 금속이 1개 통과할 때의 유기전력 차이를 나타내고, 그림 6.(b)는 작은 금속이 2개 통과할 때의 유기전력 차이를 나타낸다.



(a) 큰 금속 1개 통과시 (단위 10^{-5} Volts)



(b) 작은 금속 2개 통과시 (단위 10^{-5} Volts)

그림 6. 제안된 모델의 유기전력 차이

그림 6.(a)의 유기전력 파형의 크기는 그림 6.(b)의 크기에 약 2배 가량 증가되어 나타난다. 이로부터, 새로운 통과형 금속 탐지기는 금속의 크기에 따른 탐지가 가능함을 검증하였다. 이는 앞서 설명한 동작 원리와 같이, 금속이 -y 방향의 센서를 통과한 후 +y 방향의 센서를 통과하게 되므로, 작은 금속이 2개 통과할 때 -y 방향 쪽의 금속이 먼저 센서에 영향을 끼치고 난 후 나머지 금속이 +y 방향의 센서에 영향을 미치게 되기 때문이다.

5. 결 론

본 논문에서는 1차원 센싱 통과형 금속 탐지기가 가진 문제점을 보완하는 2차원 센싱이 가능한 새로운 모델을 제안하였다. 유한 요소법을 이용하여 새로운 모델이 기존의 모델에서 불가능하였던, 여러 개의 금속이 동시에 통과하는 경우의 탐지가 가능함을 검증하였다. 향후 논문에서는 더 정확한 탐지가 가능한 여러 형태의 통과형 금속 탐지기 설계를 수행할 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이석희, "히스테리시스 전동기의 전압원 유한요소 해석", 서울대학교 공학석사 학위 논문, 2000
- [2] 임달호, "유한요소법", 동명사, 1987
- [3] <http://www.pti-world.com/>
- [4] <http://www.clever.net/security/9000.html>