

와전류를 이용한 도체 인식시스템 구현

최명현, 김병택
군산대학교 공과대학 전자정보공학부

Conductor Identification System Using Eddy Current Phenomenon

Myoung hyun Chio, Byung Taek Kim
College of Engineering School of Electronic & Information Eng., Kunsan National University

Abstract - 공극이 있는 인덕터의 임피던스는 공극 내에 도전을 이 있는 물체가 삽입 될 때, 와전류가 발생하여 임피던스의 변화가 생긴다. 이 현상을 이용하여 도체의 종류 및 불순물을 판단할수 있는 장치를 구현하였다. 이를 위해 자기회로법을 이용하여 인덕터를 설계하였고, 전자장 시뮬레이션을 통해 특성을 해석하였다. 또한 실제 시스템을 구현함으로써 해석결과와 실험결과를 비교하였다.

1. 서 론

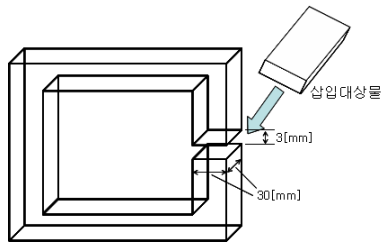
전기적 시스템의 상태는 시스템의 임피던스를 관측함으로써 파악할 수 있으며 이를 이용하여 많은 sensor들이 개발되었다. 특히 도체와 자성체 물질 등의 삽입물에 대한 성분을 판별하고자, 와전류를 이용한 sensor 응용이 가능하다[1].

본 논문에서는 공극을 가진 간단한 형태의 인덕터를 이용하여, 공극에 삽입된 도전체 및 자성체를 구분할 수 있는 시스템을 설계 및 구현하였다. 이를 위해 등가 자기회로법을 이용하여 인덕터의 기본 형상을 설계하였고, 전자장 상용 s/w인 Maxwell 2D를 이용하여 도전체 및 자성체 재료의 피인식물이 삽입될 때의 특성을 해석하였다. 설계된 시스템의 특성을 검증하기 위해 실제 제작하였으며, 해석결과와 비교 검토하였다.

2. 인식시스템 설계

2.1 인덕터 설계

설계하고자 하는 시스템은 정격전압 220[V], 주파수 60[Hz]에서 삽입물이 없는 경우 0.1[A]의 정격전류를 갖도록 하였다. 이를 위해 공극이 있는 인덕터를 자기회로법을 이용하여 설계한다[2]. 먼저 공극의 형상은 삽입물의 크기를 고려하여 결정했으며 기본적인 구조는 그림1에 제시하였다. 이 때 자성체의 재질은 S23으로 비 투자율은 1500으로 산정하여 설계한다.



<그림 1> inductor 기본형태

그림 1의 형태를 갖는 시스템의 임피던스 Z 는 식(1)로부터 2200[Ω]이 된다.

$$Z = \frac{V}{I} \tag{1}$$

그리고 시스템의 리액턴스가 저항보다 크게 하기위해 1:10의 비율로 선정하였고, 따라서 전기저항 R_{coil} 은 220[Ω]이고, 인덕턴스는 5.84[H]가 된다. 이를 자기저항 R 로 표현하면 식(2)와 같다.

$$L = \frac{n^2}{R} \tag{2}$$

자기저항 R 은 식(3)과 같이 철심자기저항 R_c 와 공극의 자기저항 R_a

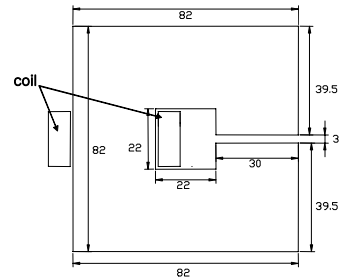
의 합으로 표현된다.

$$R = R_a + R_c = \frac{l_a}{\mu_0 A_a} + \frac{l_c}{\mu_r \mu_0 A_c} \tag{3}$$

식(3)으로부터 시스템의 R 을 계산하고, 이로부터 요구 인덕턴스 5.84[H]를 갖게 하기 위해서는 식(2)에 의해서 코일의 턴수는 4000[turns]이 된다. 또한 설계하고자하는 코일의 전기저항 R_{coil} 을 알고 있으므로 식(4)에 의해서 반지름은 대략 $r_{coil}=0.01[mm]$ 이 된다.

$$R_{coil} = \rho \frac{l}{A} = \frac{l}{\pi r_{coil}^2} \tag{4}$$

이상의 설계과정을 통하여 와전류방식 도체 인식장치 기본설계형상을 그림 2와 같이 결정하였다.

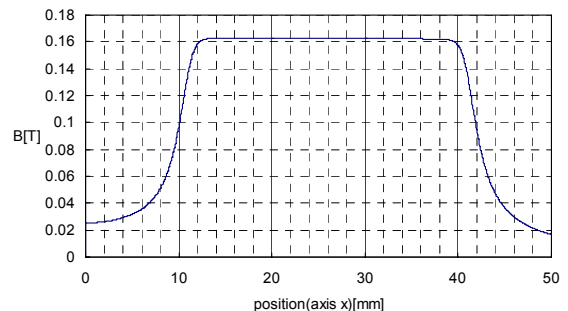


<그림 2> 인식시스템의 설계형상

2.2 유한요소법을 이용한 시스템 특성해석

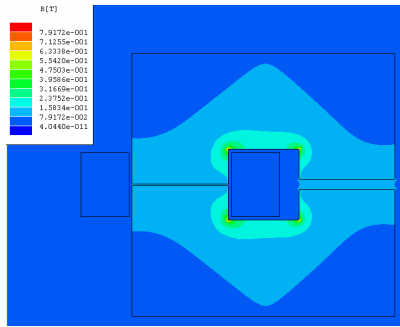
설계된 시스템의 특성을 분석하고자 Maxwell 2D를 이용하여 해석하였다. 먼저 시스템 인덕턴스를 해석하기 위해 정자계 해석을 수행하였으며 입력전류 0.1A일 때, 해석 모델의 공극부분의 자속 밀도를 계산하였고 그림 3에 나타내었다. 그림으로부터 공극부의 자속밀도가 0.162[T]에 도달하며 이로부터 인덕턴스를 식(5)로부터 계산하면 5.83[H]로서 설계치와 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

$$L = n \frac{\phi}{i} = n \frac{l_z \int B(x) dx}{i} \tag{5}$$

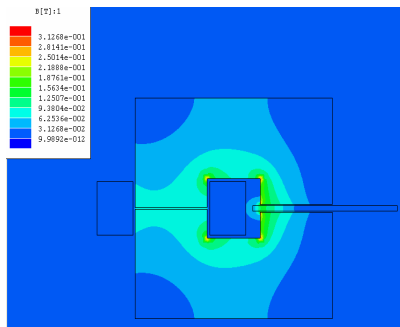


<그림 3> 공극에서의 자속밀도

실제 220[V]의 전압이 인가될 때, 삽입물질의 종류에 따라 회로에 흐르는 전류를 예측하기 위해서 전압원 시간차분해석을 수행하였다. 구리가 삽입되었을 때와 삽입되지 않은 경우의 자속분포를 그림 4에 나타내었으며, 도체가 있는 경우 도체의 와전류에 의해 공극내 자속밀도가 심하게 왜곡되는 현상을 볼 수 있다. 사용된 삽입물의 종류와 도전을 및 투자율을 표1에 제시하였고, 각각의 해석결과를 그림 5에 나타내었다. 결과로부터 삽입물의 도전을 높을수록 입력전류가 상승하며 위상은 앞서게 되는 것을 알 수 있으며 이는 도체 내에 와전류와 동손이 크게 발생하기 때문이다. 반면, 자성체인 S23이 삽입된 경우는 시스템의 인덕턴스가 커지는 효과가 발생하므로 전류량은 감소한다. 이 때 위상은 앞서게 되는 이유는 S23재료의 도전을 고려함으로써 와전류손실이 상승했기 때문이다. 이로써 도전률과 비투자율의 차이로 와전류로 인한 도체인식 시스템 구현가능성을 확인할 수 있었다.



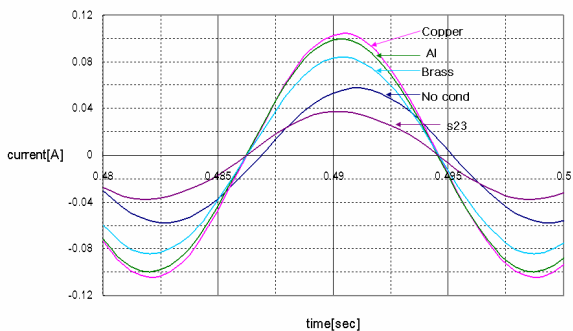
(a) 삽입물이 없을 때



(b) 구리가 삽입되었을 때
〈그림 4〉 자속밀도 비교 (t=0.5sec)

〈표 1〉 삽입물체의 재질특성

제질	도전율(mho/m)	비투자율
Copper	5.80×10^7	1
Aluminum	3.82×10^7	1
Brass	1.50×10^7	1
S23	2.00×10^6	1500

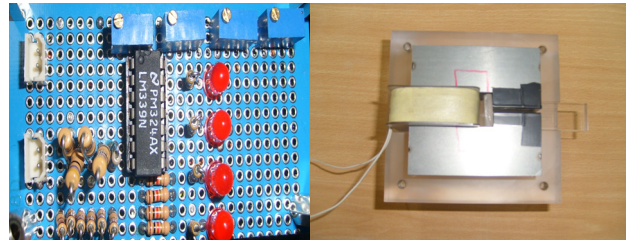


〈그림 5〉 삽입물을 넣었을 때 전류비교

3. 와전류를 이용한 도체 인식시스템 구현

설계결과에 따라 실제 인덕터 시스템과 LED level 표시기를 그림 6과

같이 제작하였다. 표시기의 원리는 비교기를 사용하여 도체를 삽입하였을 때 전류를 측정하여 도전에 따른 차이를 확인할 수 있도록 하였다.

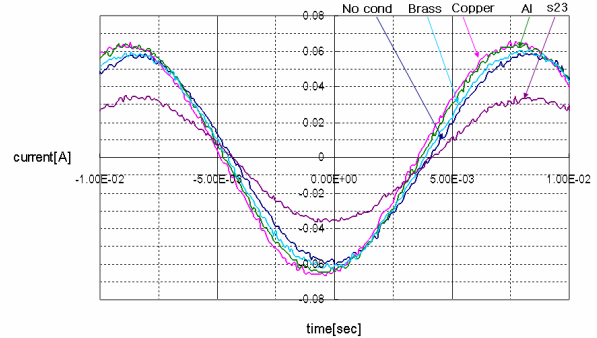


(a) LED level 표시기 (b) 구현한 인덕터 형상
〈그림 6〉 실제 시스템

실제시스템을 이용하여 삽입물의 종류에 따라 실험하였으며 전류파형을 그림 7에 나타내었고, 표2에 측정결과를 유한요소해석결과와 비교하였다. 결과데이터로부터 삽입물이 없는 경우와 S23이 삽입된 경우, 실험결과와 해석결과가 잘 일치하는 것을 볼 수 있고, 이는 구현된 시스템의 인덕턴스가 설계치와 부합하는 것을 의미한다. 반면 구리, 알루미늄 등 와전류와 같은 도체가 삽입되는 경우, 해석결과가 실험치보다 크게 계산되었음을 알 수 있다. 이는 실제 3차원적 분포의 와전류를 2차원해석에서 나타낼 수 없는 해석오차에 기인하며 이를 고려하여 표시기의 저항을 설정하여 삽입물의 제질을 표시하도록 하였다.

〈표 2〉 실험치와 해석치 비교

삽입물	FEM 해석[mA]	실험치[mA]
no cond	57.33	57.22
copper	103.11	63.20
Al	98.63	61.77
Brass	83.51	58.20
S23	37.61	33.25



〈그림 7〉 삽입물을 넣지 않았을 때 전류비교

4. 결 론

본 논문에서는 도체 및 자성체를 식별하기 위해서 와전류를 이용한 인식 시스템을 구현하였다. 공극이 있는 인덕터의 설계방법으로 등가자기회로법을 적용하였으며, 상용전압에서 구동 가능하도록 철심형상과 권선을 결정하였다. 결정된 설계안의 신뢰도를 검증하기 위해 2차원 유한요소법과 실제 제작 및 실험을 통해 확인하였다. 실험결과로부터 2차원과 3차원 와전류분포에 의한 차이로 인해, 해석과 실험의 오차가 발생하였으나 인식시스템으로 동작 가능함을 알 수 있었다. 또한 이와 유사한 시스템을 이용하는 경우, 비파괴 검사 시스템 등에 응용할 수 있을 것으로 생각된다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] 千原國宏, 센서공학, 동일출판사, 1993
- [2] S. H. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, McGraw Hill, 2006.