

주파수 및 속도 변화에 따른 와전류 센서의 개발

최덕수, 이항범
 송실대학교 전기공학과

Development of Eddy Current Sensor Considering Frequency and Velocity

Duck-su Choi, and Hyang-beom Lee
 Department of Electrical Engineering, Soongsil University

Abstract - In this paper, the eddy current sensor is developed for observing the ability of detecting defect with variation of frequency and velocity. The circuit designed for processing detected voltage and changing frequency is used for eddy current sensor to detect defect with variation of frequency. The ability of eddy current sensor to detect defects is studied with variation of velocity adjusted by rotating the circular plate. This study shows that the ability of eddy current sensor for detecting defect is increased and decreased by frequency. This fact means that the sensor has its best ability at a certain frequency. And the ability of eddy current sensor by velocity is decreased by increased velocity. Therefore, the eddy current sensor has to be developed with consideration of its operation velocity and frequency.

1. 서 론

각종 설비와 구조물에 대한 안전성과 제품에 대한 신뢰성은 항상 요구되어 왔으며 이러한 안전성과 신뢰성은 그 상태를 진단하고 수명을 파악함으로써 평가된다. 여기서 안정성에 대한 진단과 수명을 파악하는데 있어서 가장 효율적인 방법은 비파괴 검사이다. 비파괴 검사는 검사 대상에 손상을 가하거나 파괴하지 않고 대상의 내부와 외부에 존재하는 불연속 혹은 결함을 탐지하거나 검사 대상의 물성을 판단하는 기술이다. 특히 금속과 같이 도전체로 된 제품이나 부품의 표면 상태를 조사하는데 와전류 탐상 방법이 가장 효과적이다. 철강, 비철의 관이나 봉, 선 등에 대하여 고속으로 자동화 하여 생산라인의 전수검사에 유용하다. 또 발전소와 석유 플랜트의 열교환기의 전열판이나 항공기 부품의 정기검사 등의 보수, 보전에 용이하다. 이러한 와전류 탐상방법에 사용되는 와전류 센서는 시간의 변화에 따라 변화하는 자속을 도체에 가하면 전자기유도현상에 의해 유기전력이 발생하고 이 유기전력은 렌츠의 법칙에 따라 시간에 따라 변화하는 자장을 방해하는 방향으로 와전류가 흐르게 된다. 도체안에 발생하는 와전류는 도체의 표면에 집중하여 흐르는데 이것을 표피효과라고 하며 표피효과도의 정도를 나타내는 기준을 침투깊이로 정의할 수 있다. 침투깊이는 도체의 투자율, 도전율, 주파수에 관계되고 투자율과 도전율은 검사대상이 정해지면 그 값이 결정되어 버린다. 따라서 침투깊이에 영향을 줄 수 있는 것은 주파수라고 할 수 있다.

본 논문에서는 주파수 및 속도 변화에 의한 와전류 센서의 결함 검출 능력을 고찰하기 위해 와전류 센서를 개발했다. 와전류 센서는 1차코일, 2차코일, 페라이트로 구성되어 있으며 3종류의 와전류 센서를 제작하여 실험하였다. 결함은 회전원판에 가공하였으며 회전원판의 재질은 강자성체인 저탄소강 45C를 사용하였다. 주파수 변화에 따른 와전류 센서의 결함 검출을 위해 주파수를 변화시키고 검출된 전압을 처리하기 위한 회로를 구성하였으

며 주파수는 함수 발생기(Function Generator)를 사용하여 변화시켰다. 속도 변화를 위해 회전원판을 회전시켜 속도에 의한 와전류 센서의 결함 검출 능력을 살펴 보았다.

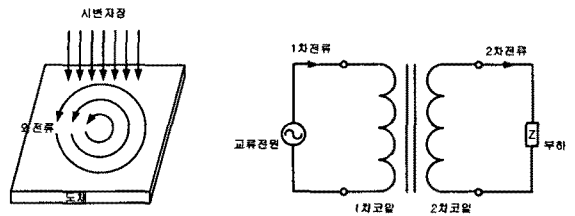
2. 와전류 탐상원리

와전류 탐상원리는 그림 1의 (a)와 같이 시간에 따라 변화하는 시변자장을 가하면 전자기유도현상에 의해 도체에 유기전력이 발생하고 이 유기전력은 렌츠의 법칙에 따라 시변자장을 방해하는 방향으로 유도전류가 발생하게 되는데 이 전류를 와전류라고 한다. 이때 도체에 발생하는 와전류는 도체의 표면에 집중하여 흐르게 되는데 이것을 표피효과라고 한다. 또한 표피효과도의 정도를 나타내는 기준을 침투깊이로 정의할 수 있으며 식 (1)과 같다. 침투깊이는 투자율, 도전율, 주파수에 관계된다. 와전류 탐상은 와전류 발생의 원리를 이용해 도체에 결함이 있을 경우 와전류의 변화가 생기고 그림 1의 (b)와 같이 2차코일단에 임피던스의 변화가 일어나게 되어 결함의 유무, 크기, 종류 등을 파악할 수 있게 된다.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (1)$$

$$\mu = \mu_r \mu_0 \quad (2)$$

- f : 주파수 [Hz]
- σ : 도전율 [S/m]
- μ : 투자율 [H/m]
- μ_r : 비투자율
- μ_0 : 진공중의 투자율 [H/m]



(a)와전류 분포

(b)등가회로

그림 1. 와전류 탐상원리

3 와전류 센서 제작과 실험

와전류 센서는 표 1과 같이 3종류를 제작하였다. 와전류 센서는 1차코일, 2차코일, 페라이트로 구성되어 있다. 3종류 모두 같은 페라이트를 사용하여 페라이트 내부에 1차, 2차코일을 감았으며 1차코일의 길이는 같게 하고 2차코일의 길이는 다르게 하였다. 주파수 변화에 따른 와전류 센서의 결합 감출을 위해 주파수를 변화시키고 감출된 전압을 처리하기 위해 회로를 구성하였다. 회로는 와전류 센서의 1차 코일을 여자 시키고 주파수를 변화시킬 수 있는 발전부와 2차코일에서 유기된 기전력을 직류로 변환하는 직류처리부, 직류전압을 National Instruments사의 GPIB Card를 통해 PC로 취득하는 출력전압 취득부로 구성되어 있다. 결합은 회전원판에 가공하였고 치수는 17[mm]×17[mm]×3.4[mm]로 하였다. 회전원판의 재질은 강자성체인 저탄소강 45C를 사용하였다. 강자성체인 회전원판을 사용했기 때문에 주파수 적용범위를 100[Hz]~1000[Hz]로 하였다. 회전원판과 와전류 센서 사이의 lift off를 3[mm] 하고 회전원판을 회전시켜 결합을 검출하였다. 주파수는 100[Hz]~1000[Hz]로 100[Hz]씩 증가하여 변화시켰다. 회전원판의 회전수는 0[rpm], 20[rpm], 40[rpm]하여 회전시켰으며 여기에 해당되는 속도는 0[m/s], 0.3[m/s], 0.6[m/s]이다. 와전류 센서의 결합의 검출 능력은 결합이 없는 부분에서의 직류출력전압과 결합이 있는 부분의 직류출력전압의 차의 값(Vpp)으로 나타냈다. 표 2, 3, 4와 그림 2에서 그림 7까지는 주파수와 속도의 변화에 따른 Vpp의 값을 나타낸 것이다. 그림 2, 3, 4에서 알 수 있듯이 각각의 센서는 정지상태(0[rpm])에서 최대의 Vpp값을 나타내다가 주파수와 속도가 증가할수록 Vpp의 값이 감소하는 형태를 보이고 있다. 그림 4, 5, 6은 같은 속도에서 주파수의 변화에 따른 Vpp값을 비교한 것이다. 정지상태에서는 300[Hz]~700[Hz]에서 최대의 Vpp값을 나타내다가 회전수가 20[rpm], 40[rpm]에서 센서 A는 400[Hz], 센서 B는 500[Hz], 센서 C는 800[Hz]에서 최대의 Vpp값을 나타내고 있다. 즉, 속도와 주파수가 증가함에 따라 어느 특정주파수에서 최대의 Vpp값을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다.

표 1. 와전류 센서의 사양

와전류 센서	1차코일		2차코일	
	직경[mm]	길이[m]	직경[mm]	길이[m]
A	0.1	4.5	0.08	50
B	0.1	4.5	0.08	38
C	0.1	4.5	0.08	25

표 2. 와전류 센서 A의 Vpp 변화 단위[V]

회전수 \ 주파수	0[rpm]	20[rpm]	40[rpm]
100[Hz]	6.01	1.73	0.80
200[Hz]	7.63	2.89	1.82
300[Hz]	7.62	4.94	2.98
400[Hz]	7.65	6.40	4.00
500[Hz]	7.65	4.76	3.07
600[Hz]	7.64	3.20	1.91
700[Hz]	7.64	2.40	1.47
800[Hz]	6.51	1.91	1.11
900[Hz]	5.42	1.56	1.00
1[kHz]	4.56	1.24	0.756

표 3. 와전류 센서 B의 Vpp 변화 단위[V]

회전수 \ 주파수	0[rpm]	20[rpm]	40[rpm]
100[Hz]	4.49	1.11	0.8
200[Hz]	7.57	2.31	1.33
300[Hz]	7.63	3.33	2.22
400[Hz]	7.62	5.11	2.93
500[Hz]	7.66	5.69	3.60
600[Hz]	7.71	5.78	3.29
700[Hz]	7.69	4.53	2.31
800[Hz]	7.62	3.33	1.69
900[Hz]	7.62	2.40	1.33
1[kHz]	6.61	1.91	1.2

표 4. 와전류 센서 C의 Vpp 변화 단위[V]

회전수 \ 주파수	0[rpm]	20[rpm]	40[rpm]
100[Hz]	2.89	0.755	0.533
200[Hz]	5.98	1.56	1.02
300[Hz]	7.63	2.44	1.60
400[Hz]	7.65	3.64	2.00
500[Hz]	7.63	4.13	2.36
600[Hz]	7.65	4.58	2.76
700[Hz]	7.64	5.24	3.07
800[Hz]	7.67	5.51	3.38
900[Hz]	7.66	4.18	2.62
1[kHz]	7.64	3.24	1.96

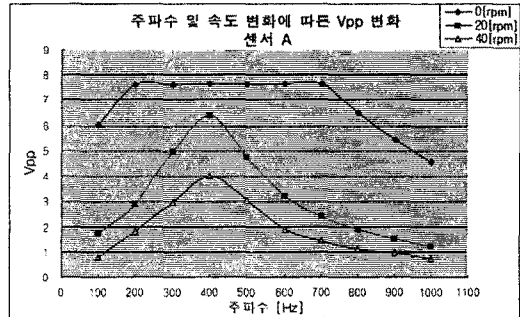


그림 2. 와전류 센서 A의 Vpp 변화

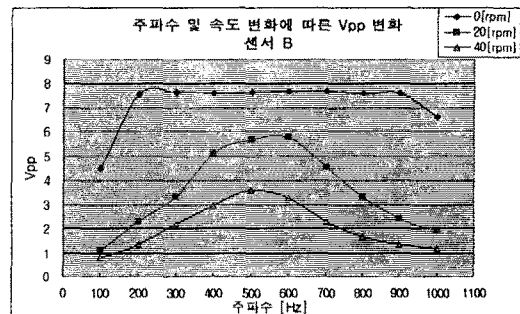


그림 3. 와전류 센서 B의 Vpp 변화

5. 결 론

주파수 및 속도 변화에 의한 와전류 센서의 결함 검출 능력을 고찰하기 위해 와전류 센서를 개발했다. 와전류 센서는 3종류를 제작하여 실험하였고 결함은 회전원판에 가공했다. 주파수 변화에 따른 와전류 센서의 결함 검출을 위해 주파수를 변화시키고 검출된 전압을 처리하기 위한 회로를 구성하였다. 속도 변화를 위해 회전원판을 회전시켜 속도에 의한 와전류 센서의 결함 검출 능력을 살펴 보았다. 결함의 검출 능력은 결함이 없는 부분에서의 직류출력전압과 결함이 있는 부분의 직류출력전압의 차이 값(Vpp)으로 나타냈다. 주파수 변화에 의한 와전류 센서의 결함 검출 능력은 주파수가 높아짐에 따라 증가했다가 감소하는 특성을 보이고 있다. 즉 특정한 주파수에서 최고의 검출 능력을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 속도에 의한 영향은 속도가 증가할수록 검출 능력이 감소함을 보이고 있다. 그러므로 와전류 센서의 결함 검출에 있어서 사용 속도를 고려하고 적절한 주파수를 선정하여 와전류 센서를 개발해야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Steven D. Roach, "Designing and Building an Eddy Current Position Sensor", *Sensors Articles*, January 27, 2001.
- [2] Andrea Bernieri, Giovanni Betta, Guglielmo Rubinacci, and Fabio Villone, "A Measurement System Based on Magnetic Sensors for Nondestructive Testing", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 49, No. 2, April 2000.
- [3] H. Kim, and T. Shoji, "Nondestructive Evaluation of Surface Defect Shape and Size by the Induced Current Focusing Potential Drop", *The 71st JSME Spring Annual Meeting Proceeding*, pp. 586-588, 1994.
- [4] V. S. Cecco, "Design and Specifications of a High Saturation Absolute Eddy Current Probe with Internal Reference", *Mat. Eval.* 1994.
- [5] Jack Blitz, *Electrical and Magnetic Methods of Nondestructive Testing*, Adam Hilger, 1991.
- [6] 이세경 외, *와전류 탐상용 탐촉자 개발*, 과학기술처, 1986.

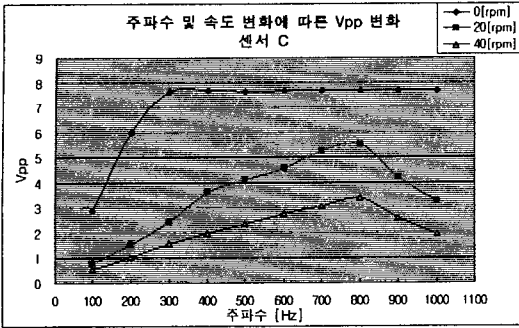


그림 4. 와전류 센서 C의 Vpp 변화

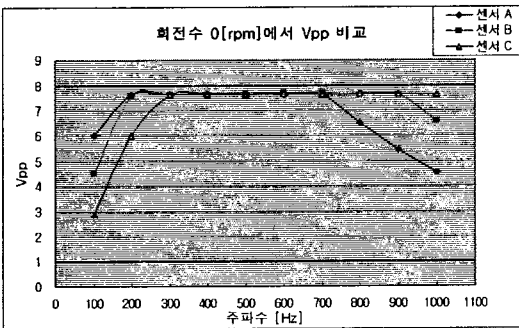


그림 5. 회전수 0[rpm]에서 와전류 센서의 Vpp 변화

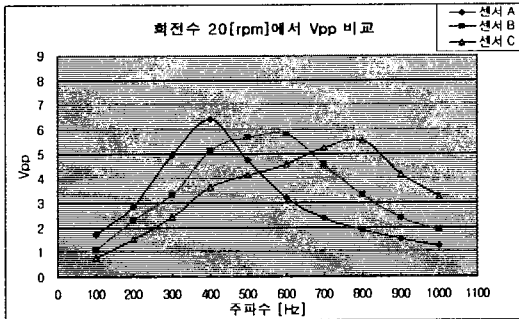


그림 6. 회전수 20[rpm]에서 와전류 센서의 Vpp 변화

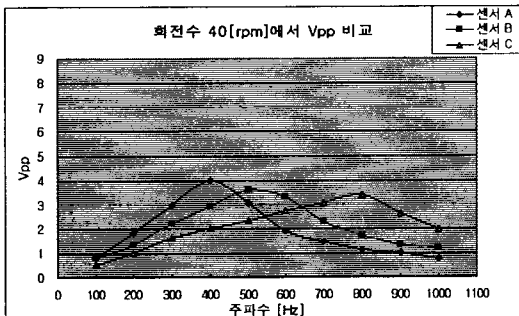


그림 7. 회전수 40[rpm]에서 와전류 센서의 Vpp 변화