

유도성 근접센서를 통한 금속표면 두께 검출에 관한 연구

박화범* · 이성재** · 김영길***

*아주대학교

A Study on Metal Surface Thickness Detection Using Inductive Proximity Sensor

Hwa-beom Park* · Seung-jae Lee** · Young-kil Kim ***

*Ajou University

E-mail : bayabarabam@ajou.ac.kr

요 약

자기적 원리를 이용한 Magnetic Sensor는 자기를 전기로 변환하는 Element로서 산업분야, 대학 및 연구소 등에서 대단히 폭 넓게 사용되고 있으나 아직 국내에서 체계적으로 양산 되고 있지 않은 상태이고 제작기술 수준 역시 선진국에 비해 저조하며 Excitation Current, Excitation Frequency, 코어의 투자율 등의 변화에 의해 센서 출력에 왜곡현상이 나타나거나 부하현상이 발생하여 이 때문에 최소 측정 범위가 제한된다. 따라서 양호한 출력신호를 감지하기 위해서는 신호변환장치 의 성능이 뒷받침되어야 한다. 본 논문 에서는 유도성 근접 센서를 이용 하여 신호변환장치 회로를 설계하여 금속표면에 페인트 두께를 마이크로 단위로 검출, 측정 하는 제어 시스템을 연구하는데 그 목적을 둔다.

ABSTRACT

The magnetic sensor using electromagnetic principle, which transfers magnetic into electric, is the electric component. It has been widely applied to the industry, university and the research. However there are some problems. Not only the Korean domestic sensor manufacture skills are still lower than the advanced manufacture's but also production of sensor is not well organized yet. Due to changing excitation current, excitation frequency and the rate magnetic permeability core, there sometimes would be distorted phenomena or loaded phenomena which result in limited measurement range. Therefore, the signal conversion device should support to receive undistorted and nice output. This paper focuses on both the design of signal transform circuit using inductive proximity sensor and the signal transfer equipment (Z device) which detects thickness of painted material.

키워드

inductive proximity sensor, magnetic sensor, metal surface, eddy current

1. 서 론

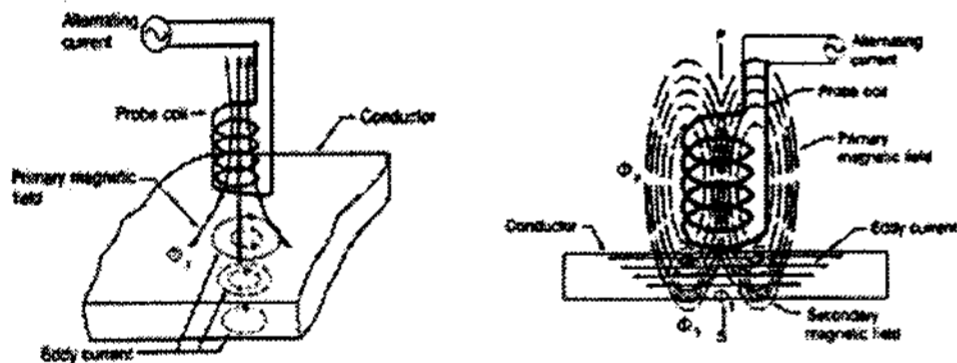
금속도체에 대한 도장 및 코팅은 페인트 및 화학제품을 이용하여 금속도체 표면에 건조된 피막층을 형성시킴으로써 부식, 열화 등 주위 환경으로부터 부품 또는 제품을 보호하는 역할 뿐 아니라 정전기 방지, 내마모성, 열전도성 등 부품에 새로운 특성을 부여하는 기능을 한다. 또한 피도체가 도막에 의해 그 아름다움을 계속 유지시켜

주는 환경 미화 환경 보호의 기능 등 사용 목적이 점차 넓어지고 있다. 특히 금속의 열화현상으로 인한 금속도체 내의 부식은 도장막이나 코팅막 두께에 영향을 받기 때문에 코팅막의 두께가 너무 얇으면 기능성이 떨어지고 너무 두터우면 코팅 시 사용되는 화학제의 과다 사용으로 환경오염의 문제가 발생 및 부분 부식이 발생하게 되므로 금속도체에 코팅막이 고르게 분포되는 것이 중요하다.

본 논문에서는 전자 유도 코일에서 발생하는 자속을 이용한 와전류 방식을 이용 금속표면 두께에 따라 자속의 세기 및 주파수가 다르게 되어 금속 재료로부터 전자 유도 코일의 총합 임피던스가 변화하는 전기신호를 검출하여 신호 변환장치를 설계 하여 코팅막의 두께를 마이크로미터로 측정 하는 제어 시스템을 설계 하며 이 방식에는 외부 자계의 유도라든지, 외부 잡음 등에 의한 영향을 작게 하는 특징이 있다.

II. 와전류의 원리

코일에 시간에 따라 변화하는 교류 전류를 흘려보내면 코일의 주위에 시변 자장(ϕ_p)이 발생한다. 이 시변자장 내에 그림 1의 (a)와 같이 도체를 가져가면 전자기유도현상에 의해 도체 내에 유기기전력이 발생하고 이 유기기전력은 렌츠의 법칙에 따라 시변자장(ϕ_p)을 방해하는 전류가 흐르게 되는데 이 전류를 와전류라고 한다. 그림 1의 (b)와 같이 와전류는 시변자장을 방해하는 방향으로 자장(ϕ_s)을 발생하여 ϕ_p 와 ϕ_s 의 합성에 의해 코일에 쇄교 되는 총 자장 ϕ_t 가 변하게 된다, 총 자장 ϕ_t 에 의해 입력단의 교류 전류가 변하게 된다, 따라서 코일의 임피던스 변화로 표현되므로 고체의 상태, 위치, 결함, 재질 등을 파악할 수 있게 된다.



(a)와전류의 유도 (b)와전류에 자장의 변화

[그림 1. 와전류 발생 원리]

교류전류를 흘려보낸 코일에 도체를 접근시키면 도체에 와전류가 유도된다 도체에 발생한 와전류는 도체의 표면에 집중되고 도체의 내부로 들어 갈수록 적게 흐르게 되는데 이것을 표피효과가 일어나는 원인은 도체 내부의 임의의 위치에 발생하고 있는 와전류는 코일의 자속 변화를 없애는 방향으로 자속을 발생한다. 따라서 이 와전류보다도 깊은 위치의 자속은 감소하기 때문에 발생하는 와전류는 도체의 내부에 들어 갈수록 감소하게 된다. 표피효과 정도를 나타내는 기준으로 침투 깊이가 정의 된다. 도체 표면에서 $x[m]$ 인 곳의 와전류 밀도를 J_x 라고 하면 J_x 는 다음 식으로 표현 된다.

$$J_x = J_0 \exp(-x \sqrt{\pi f \mu \sigma}) \dots\dots\dots(2.1 \text{ 수식})$$

$$J_0 = \text{도체 표면의 전류 밀도 } [A/m^2]$$

$$f = \text{교류자계의 주파수 } [Hz]$$

$$x = \text{도체 표면에서의 깊이 } [m]$$

$$\sigma = \text{도체의 도전율 } [S/m]$$

$$\mu = \text{도체의 투자율 } [H/m]$$

이다. 여기서

$$\delta = 1 \sqrt{\pi f \mu \sigma} \dots\dots\dots(2.2 \text{ 수식})$$

와전류에서 실질적으로 구하고자 하는 양은 탐상코일의 임피던스이며 이 임피던스는 주어진 전류에 대하여 코일에 유기되는 기전력을 계산 하여 구할 수 있다.

$$Z = R + j\omega L = \frac{E}{I} \dots\dots\dots(2.3 \text{ 수식})$$

$$I = \int_{\Omega} J_s d\Omega \dots\dots\dots(2.4 \text{ 수식})$$

$$E = - \frac{d\Phi}{dt} = - j\omega \Phi \dots\dots\dots(2.5 \text{ 수식})$$

전류는 주어진 전류밀도로부터 구하고, 유도 기전력은 스톡의 정리를 이용한 다음 식으로부터 구하게 된다.

$$\Phi = \int B \cdot ds = \oint A \cdot dl \dots\dots\dots(2.6 \text{ 수식})$$

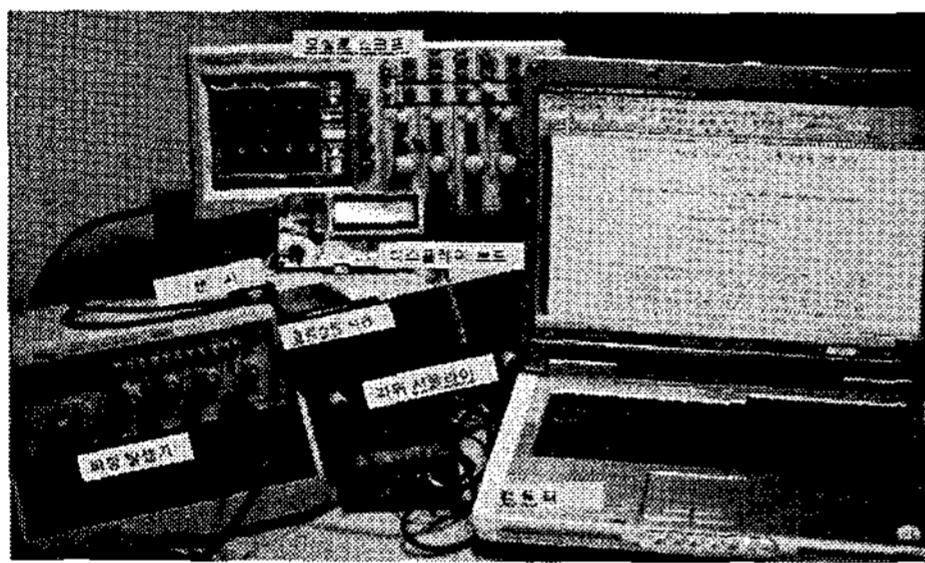
따라서 다음 식을 계산하게 되면 임피던스를 구하게 된다.

$$Z = \frac{-j\omega \oint A \cdot dl}{\oint_{\Omega} J_s \cdot d\Omega} \dots\dots\dots(2.7 \text{ 수식})$$

이렇게 계산된 임피던스는 금속도체의 코팅막의 두께에 따라 변화가 되는데 이 변화분의 전기신호를 검출하여 행하는 방법이 와전류 검출 방식이다. 와전류 검출로서는 미약한 신호 변화밖에 얻을 수 없다. 그러하기 때문에 센서의 미세한 신호를 증폭시켜 센서의 감도를 높이며 센서의 오차율을 줄이기 위해 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어주는 ADC를 사용하여 세밀한 두께에서의 금속 표면 코팅 두께를 검출할 수 있는 회로를 설계하여 실험을 하였다.

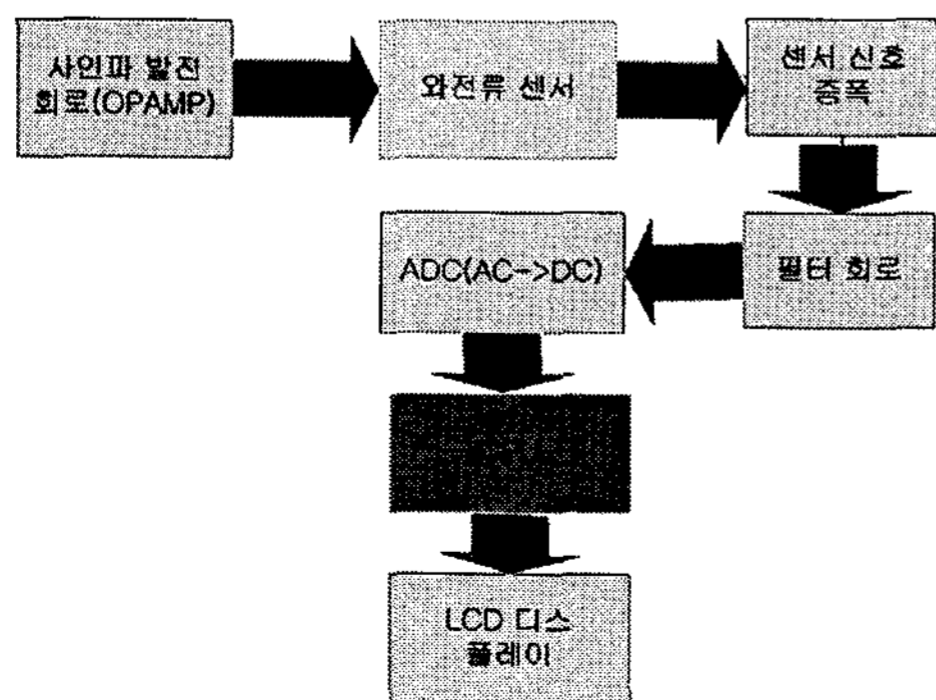
III. 실험장치 및 고찰

[그림 2]는 본 연구에서 사용된 실험장치의 구성도를 나타낸 것으로 와전류 센서와 실험을 위해 제작한 PCB 보드에 12bit ADC를 사용하여 8bit CPU로 처리하였으며 실험에 사용된 코팅막은 여러 종류의 플라스틱 시편을 이용하여 금속표면 두께를 샘플링 할 수 있었다. 또한 PCB 보드에 와전류 센서로 출력되는 미세한 센서의 신호를 증폭 하기위해 증폭회로를 OPAMP로 설계 하였으며 초기 와전류 센서로 입력되는 사인파 발진회로 역시 OPAMP를 사용하여 설계 하였다.

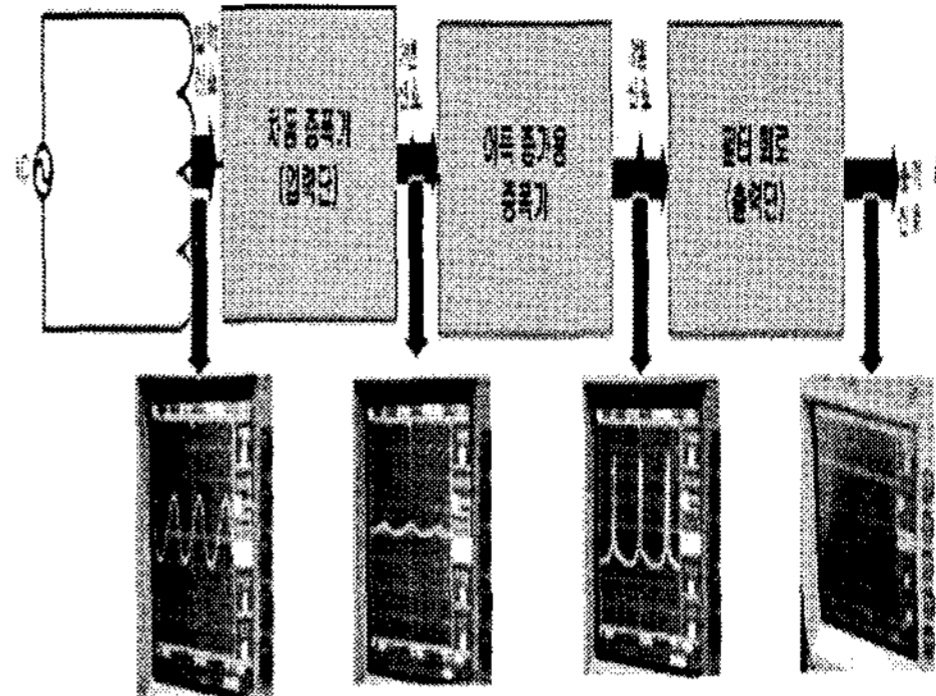


[그림 2. 실험 장치 구성도]

[그림 3]은 실험을 위해 제작된 PCB 보드의 H/W 구성도를 나타내고 있다. 파형 발생기를 사용하여 자체 제작된 와전류 센서의 주파수 특성을 실험하여 12KHZ 사인파 발진기를 설계 하였으며 사인파 발진기로 부터 입력 받은 와전류 센서는 미세한 출력 신호를 가지게 되어 센서 신호를 2단증폭 하여 필터 회로를 거쳐 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 12bit ADC를 8bit CPU로 데이터를 처리 하여 금속표면의 코팅막의 두께를 마이크로 단위로 샘플링 하여 LCD로 display 하였다.



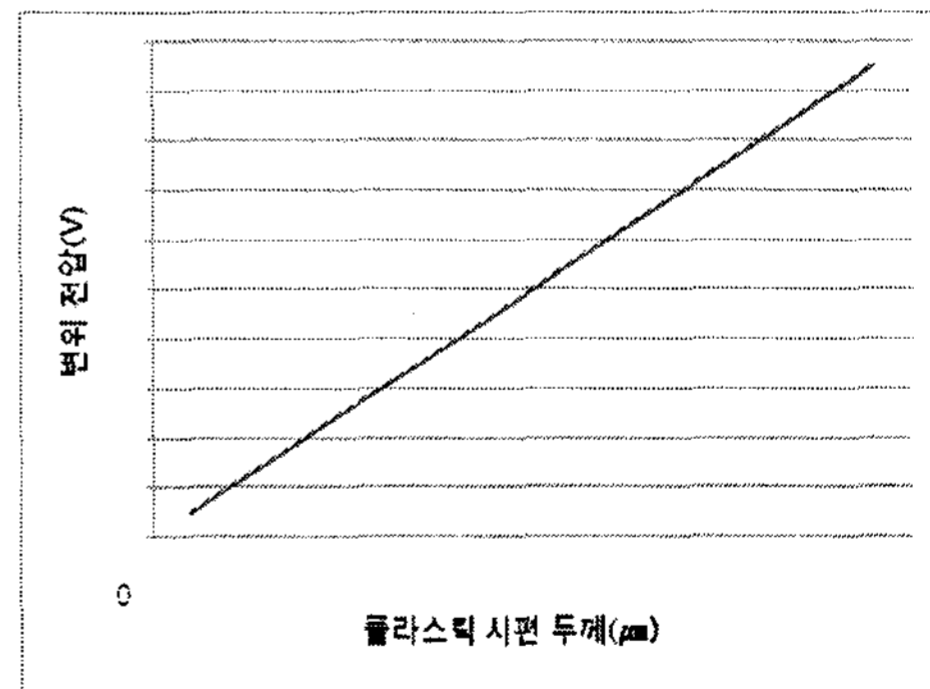
[그림 3. H/W 구성도]



[그림 4. OPAMP 구성도]

[그림 4]은 [그림 3]의 신호 증폭 부분과 필터 회로를 나타낸 OPAMP 부분으로서 처음 입력 부분으로부터 출력 되는 부분까지의 미세한 신호들이 샘플링 되어서 출력 되어지는 부분들을 오실로 스코프로 display 하였다. 와전류 센서로부터 차동증폭, 이득 증가증폭, 필터회로를 거쳐 샘플링 되어 짐을 확인 할 수 있었다.

[그림 4]에서 획득 된 전압 신호를 12bit ADC로 변환한 후, 전압 출력의 크기를 디지털 화 시켜 CPU에서 처리 할 수 있었다.



[그림 5. 변위전압에 따른 두께]

[그림 5]는 변위 전압에 따른 플라스틱 시편 두께에 따른 선형적인 그래프를 소프트웨어 처리를 통해 12bit의 크기만큼 샘플링 데이터를 처리 할 수 있었다. 또한 검출 amp를 설계 해주어서 외부 자계의 유도, 외래 잡음에 대한 잡음을 줄여 주었다. 하지만 특정 측정구간 내에서 두께 측정에 오차가 발생을 하였지만 위에서 언급했던 소프트웨어 처리를 통해 보정 할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문을 통하여 와전류 센서 와 신호변환장치 회로 로 구성된 코팅막 두께 측정에 관한 연구를 하였으며 전자 유도 코일의 총합 임피던스가 변화하는 전기신호를 검출하여 신호 변환 장치를 설계 하여 코팅막 의 두께를 마이크로미터로 측정 하는 제어 시스템을 설계, 변위 전압에 따른 플라스틱 시편두께를 샘플링 할 수 있었으며 신호 검출 amp를 통해 외래 자계의 유도 및 외래 잡음에 등에 영향을 최소화 할 수 있었다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스 컴퓨팅및네트워크원천기반기술개발사업의 지원에 의한 것임

참고문헌

- [1] Eddy Current Characterization of Materials and Structures, ASTM special Puolication, American Society For Testing and Materials, 1981
- [2] R Wagn, PL Wong "Optical characteristics fo thin film coating and measurement of its thickness" Tnbology Internation VoL 30 1997
- [3] F, Thollon, B. lebrun, N. Burais and Y. Jayet.
- [4] 김성렬, 김선호, 황진동, 안중환, "직접 관찰법에 의한 드리싱 시기 검출 시스템," 한국 정밀공학회지, 제 99권, 제 99 호
- [5] 김주현, 김성렬, 김정욱, 김화영, 안중환 "이중센서를 이용한 코팅막 두께 측정 가능성 평가" 한국 정밀공학회지, 2004
- [6] 박선호 저 "FA 센서 응용 백과" 동역 메카트로닉스 연구소 1993
- [7] 강연욱, 강지원, 양병모, 정재기 "와류센서를 이용한 ACS 전선의 내부부식 검출" journal of the korean Institute of Illuminating and Electrical installation Engineers Vo1.12, NO.1 pp,12~19 Feloruary 1998