

이중센서를 이용한 코팅막 두께 측정 가능성 평가

김주현*(부산대 지능기계공학과), 김성렬(부산대 지능기계공학과),
김정목(부산대 ERC), 김화영(부산대 기계기술연구소), 안중환(부산대 기계공학부)

Measurement Feasibility Assessment of Coating Film Thickness using Dual Sensor

J. H. Kim (Dept. Mech. & Intel. Eng., PNU), S.R. Kim (Dept. Mech. & Intel. Eng., PNU),
J. U. Kim(ERC, PNU), H.Y. Kim(RIMT., PNU), J.H. Ahn(Mech. Eng. Dept., PNU)

ABSTRACT

A technical performance of the coating depends greatly on the thickness of painting film or coating film. Therefore the confirmed report of the technique to measure accurately is essential to the coating film thickness for the assessment about a coating quality performance. In this paper, two gap sensors - eddy current gap sensor and capacitance gap sensor - which has a different operating principle were used to measure the thickness of a nonmagnetic substance coating film such as paint, enamel or ceramic that was coated on the metallic material. A capacitance gap sensor was used to measure the distance between the sensor head and a coating film and an eddy current gap sensor to measure the distance between the sensor head and a base metal. Then the thickness of a coating film was obtained by the difference of two measurement value. At this result, the suggested dual sensor can measure an arbitrary film thickness to be coated on a base metal as the measurement value of coating thickness exists accurately within the $\pm 2\%$ error.

Key Words : Dual sensor(이중센서), Eddy current sensor(와전류 센서), Capacitive sensor(정전용량 센서),
Coating film(코팅막), Nonmagnetic substance(비자성체)

1. 서론

금속체에 대한 도장 및 세라믹 코팅은 부식, 열화 등 주위 환경으로부터 부품 또는 제품을 보호하는 역할 뿐 아니라 정전기 방지, 내마모성, 열전도성 등 부품에 새로운 특성을 부여하는 품질개선의 효과도 갖고 있다. 최근에는 미적 감각을 위한 채색화 및 광택 디자인, 표면 마무리의 평활화 등 사용목적이 점차 넓어지고 있다. 특히 내마모성, 내부식성, 단열성과 같은 코팅 혹은 도장의 기능적 성능은 도장막(painting film)이나 코팅막(coating film) 두께에 크게 의존한다. 하지만 코팅막의 두께가 너무 얇으면 기능성이 떨어지고, 너무 두터우면 코팅시 사용되는 유기용제의 과다사용으로 인한 환경오염의 문제가 발생하게 되므로 적당한 두께로 전 영역에 걸쳐 균일하게 도포하는 것이 매우 중요하다. 따라서 이러한 코팅막 두께를 정확히 측정할 수 있는 기술의 확보가 필요하며, 이 측정기술은 코팅

후 품질개선 및 성능평가에 중요한 역할을 수행한다.

현재, 코팅막 두께를 측정하는 방식은 와전류센서나 초음파 센서를 이용한 것으로 주로 한개의 센서에 의해 측정이 이루어지고 있으며, 이런 경우 측정시 기준값의 부정확성 및 주위 노이즈에 의한 영향이 측정결과에도 그대로 반영되는 문제점을 갖고 있다.¹

본 연구에서는 기존방식에 의한 이러한 문제점을 해결하기 위해 두 개의 갭센서, 즉 와전류와 정전용량 변위센서를 이용한 차동방식(differential type)을 채택했으며 이 측정방식의 경우 두 신호의 차가 곧 측정하고자 하는 코팅막의 두께가 될 뿐만 아니라 주위 노이즈에 의한 영향이 서로 제거되기 때문에 측정오차의 발생 확률이 상대적으로 적어 보다 정확한 측정이 가능하다.

2. 이론적 배경

2.1 코팅막 두께 측정 원리

본 연구에서 제안된 이중센서로 사용된 정전용량 갭센서와 와전류 갭센서의 측정원리는 다음과 같다.

정전용량 갭센서는 일반적으로 도체(conductive material)와 부도체(insulator)의 변위를 측정할 수 있다. 여기서 도체라 함은 금속(steel, aluminum)과 같은 전도성이 뛰어난 물체에서 반도체(carbon, silicon)까지 포함한다. 그리고 부도체(insulator)라 함은 플라스틱, 유리, 고무 그리고 나무판자 같은 전도체와 반도체를 제외한 모든 물체를 가리킨다. 정전용량 갭센서의 측정원리는 Fig. 1 과 같이 센서와 검출 물체 사이의 정전용량(capacitance)을 이용하여 변위를 측정한다. 용량상수 C는 면적 S와 변위 D의 식으로 나타내어 진다.²

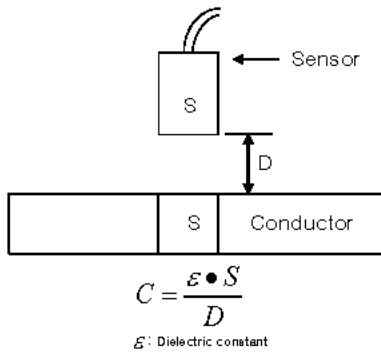


Fig 1. Measurement principle of capacitance gap sensor

Fig. 2 는 와전류 갭센서의 원리를 나타낸 것으로 센싱코일(L₁)에 고주파의 전류를 흘려 보낼 때 발생하는 고주파 자기장을 이용하여 센서와 측정대상물과의 거리를 측정하는 센서로서 금속에만 반응한다. 고주파 발진회로에 의해 형성된 자속 ϕ_1 내에 금속 물체가 있으면 물체의 표면에 등가 인덕턴스(L₂)와 등가저항(R₂)이 형성되고 역기전력이 발생한다. 역기전력을 e, 그리고 자속을 ϕ 라 하면 다음과 같이 표현이 가능하다.

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

여기서 e 가 음의 값을 갖는 것은 음의 방향으로 역자속이 발생하여 센서측 코일의 전력 손실을 발생시킨다는 것을 의미한다. 이러한 원리에 의해 도재 표면위에는 ϕ_1 과 반대방향으로 자속 ϕ_2 가 발생해 발진회로측의 전력손실로 되어 발진회로의 진폭전압의 변화로 나타난다.³

Fig. 3 은 본 연구에서 제안된 이중센서에 의한 코팅막 두께 측정원리를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 정전용량 갭센서를 이용하여 코팅막까지의 거리 d₁을 구하고, 와전류 갭센서를 이용하여 도재

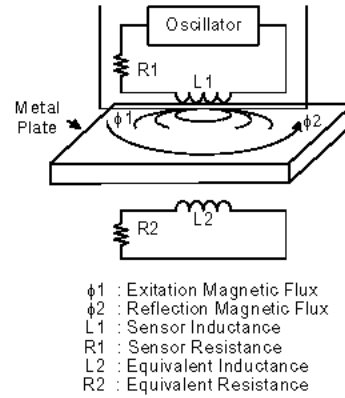


Fig 2. Measurement principle of eddy-current gap sensor

까지의 거리 d₂를 구한 다음, 두 측정값 d₁, d₂의 차를 이용하여 코팅막의 두께 t를 구하였다.

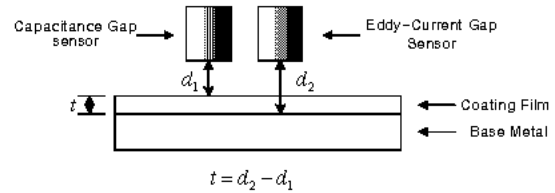


Fig 3. Measurement principle of dual Sensor

3. 실험

3.1 실험 장치 구성 및 방법

Fig 4 는 본 연구에서 사용된 실험장치의 구성도를 나타낸 것으로 ABC사의 와전류 갭센서와 앰프(5706PS-7022)를 사용하였고 정전용량 갭센서로는 센서 프로브(VE133)와 앰프(VT510)를 사용하였다. Table 1 은 본 연구에 사용된 센서의 성능을 보여주고 있다.

코팅막 두께를 측정하기 위해 두 개의 갭센서로

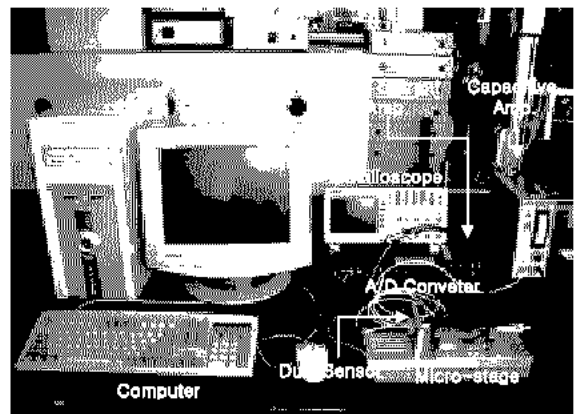


Fig 4. Photograph of Experimental Setup

Table 1. Specification of sensors

종류	5706PS-7022	VE133&VT510
측정거리	0-1mm	0-1mm
분해능	0.03 μ m	1 μ m
전압출력	0-10V	0-5V

구성된 이중센서를 마이크로 스테이지의 고정부에 부착시키고 정확한 측정을 위해 두 센서의 영점을 세팅한 뒤, 마이크로미터가 부착된 이동부에 표준 시편, 테프론 시편을 각각 부착하여 번갈아 가며 측정하였다. 사용된 마이크로미터의 분해능은 10 μ m 으로 실험에서는 이중센서와 시편 사이를 100 μ m 단위로 0 mm에서부터 1 mm까지 이동시켜가면서 거리 변화에 따른 전압신호를 A/D 보드(Wavebook512)로 획득하였다.

실험에 사용된 모재와 시편은 Table 2 와 같다.

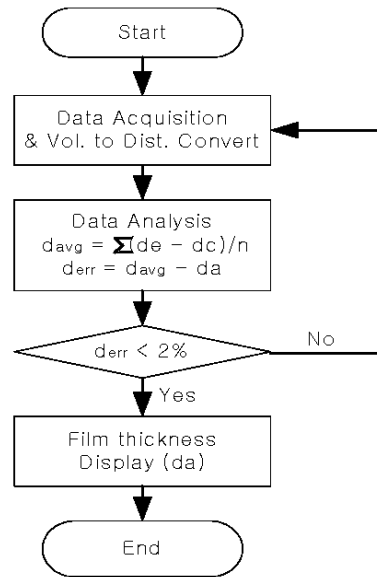
Table 2. Specification of base Metal and coating Film

모재	코팅막 종류	코팅막 두께(μ m)
AL50	표준시편 (재질: 플라스틱)	50, 100, 250
	테프론 필름	50, 150, 250
SUS	표준시편 (재질: 플라스틱)	50, 100, 250
	테프론 필름	50, 125, 250

3.2 두께 측정 알고리즘

Fig. 5 는 코팅막 두께 측정 알고리즘의 블록다이어그램을 나타낸 것이다. 이중센서에서 획득된 전압신호를 A/D 컨버터로 변환한 후, 전압출력의 크기를 거리로 환산하여 와전류 센서에 의해 획득된 측정거리(d_e)와 정전용량 센서에 의해 획득된 측정거리(d_c)를 구하였다. 이때 두 센서에서 측정된 거리의 차($d_a = d_e - d_c$)는 구하고자 하는 코팅막의 두께가 된다. 측정의 정확성을 위하여 임의의 코팅막 두께(d_a)를 가진 시편에 설정된 샘플링 횟수로 두께를 측정된 값의 평균값(d_{avg})과 비교하여 미리 설정된 오차률(d_{err})보다 클 경우에는 다시 측정을 수행하도록 하였다. 이것은 한번의 측정값으로는 주위 노이즈나 균일하지 못한 일부 코팅막에 의한 측정 오차가 발생할 수 있기 때문에 이런 오차를 줄이기 위한 방법으로 사용하였다. 샘플링은 초당 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 으로 하였고 각 샘플링 개수만큼 측정된 값을 설정한 샘플링으로 나눈 평균값을 출력하도록 하였다.

4. 실험 결과



d_e : Distance acquired by eddy current sensor
 d_c : Distance acquired by capacitive sensor
 d_a : Arbitrary acquired value
 d_{avg} : Average of sampled values
 d_{err} : Measurement error

Fig 5. Algorithm of Thickness Measurement

4.1 표준시편의 측정결과

Fig. 6 (a)는 모재가 AL50 일 때 표준시편의 두께를 변화시키면서 정전용량 갭센서와 와전류 갭센서의 신호 변화를 획득한 그래프이며 Fig 6 (b)는 측정거리 300 μ m 일 때 표준 시편의 두께에 따른 와전류 갭센서의 출력신호를 나타낸 것이다. Fig. 6(a), (b) 에서 볼 수 있듯이, 모재가 동일하고 코팅막의 두께가 다를 경우에는 정전용량 갭센서의 출력신호는 동일하지만 와전류 갭센서의 출력신호가 두께에 따

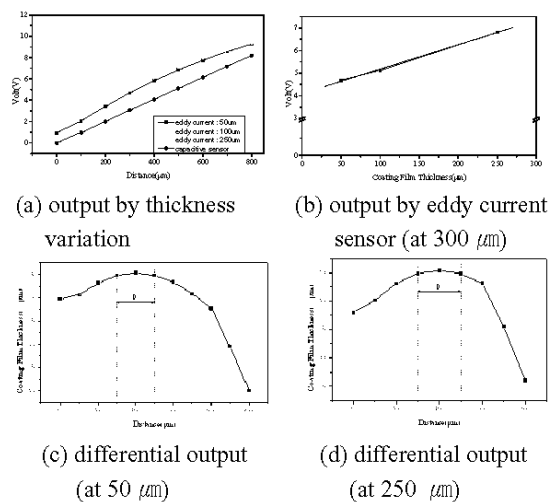


Fig 6. Measured results by dual sensor at standard test piece

라 달라짐을 알 수 있다. 그리고 이때의 출력신호의 차이는 두께에 따라 선형성을 띠을 알 수 있다. Fig.6 의 (c)와 (d)는 각각 두께 50 μm , 250 μm 일 때 두께 측정 알고리즘을 통하여 코팅막의 두께를 구한 결과이다. 이 그래프에서 알 수 있듯이 측정구간 300 μm ~500 μm 사이에서 $\pm 2\%$ 오차를 가지면서 코팅막의 두께값에 수렴함을 알 수 있다.

4.2 테프론시편의 측정결과

Fig. 7(a)는 모재가 A150 일 때 테프론시편의 두께를 변화시키면서 획득한 그래프이다. Fig 7 (b)는 측정거리 300 μm 일 때 테프론시편의 두께에 따른 와전류 갭센서의 출력신호를 나타낸 것이다. 앞의 실험과 같이 Fig. 7(a), (b)에서 모재가 동일하고 코팅막의 두께가 다를 경우에는 정전용량 갭센서의 출력신호는 동일하지만 와전류 갭센서의 출력신호가 두께에 따라 달라짐을 알 수 있으며 표준시편의 경우와 동일하게 출력신호의 차이가 두께에 따라 선형성을 띠을 알 수 있다. Fig 7 의 (c)와 (d)는 각각 두께 50 μm , 250 μm 일 때 두께 측정 알고리즘을 통하여 코팅막의 두께를 구한 결과이다. 이 그래프에서도 알 수 있듯이 표준시편의 경우와 유사하게 300 μm ~500 μm 사이에서 $\pm 2\%$ 오차를 가짐을 알 수 있다. 그리고 표준시편과 테프론시편의 결과를 비교하여 볼 때 와전류 갭센서의 출력신호가 동일한 두께의 코팅막이라도 종류에 따라 크기가 달라진 것을 볼 수 있다. 이것은 와전류 갭센서에 의해 모재에 발생한 역기전력이 코팅막을 통과하는 과정에서 역기전력의 변화가 생긴 것으로 판단할 수 있다. 이것은 코팅막의 종류에 따라 와전류가 미소한 영향을 받기 때문에 동일한 두께의 코팅막이라도 종류가 다르면 출력신호의 크기가 달라짐을 알 수 있다.

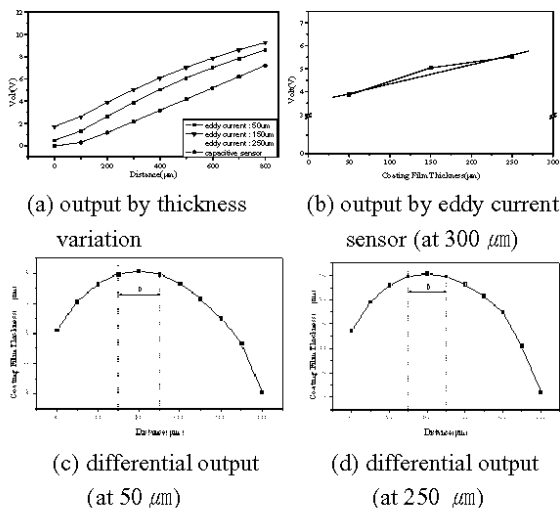


Fig 6. Measured results by dual sensor at teflon test piece

4.3 모재의 종류에 따른 측정결과

Fig. 8 은 각각 50 μm , 250 μm 두께의 테프론 코팅막에 모재를 각각 SUS, A150 으로 하여 이중센서로 획득한 신호를 보여주고 있다. 코팅막이 동일하므로 정전용량 갭센서의 출력신호는 동일하지만 모재의 종류가 달라서 와전류 갭센서의 출력신호가 다름을 알 수 있다. 이것은 모재가 가진 투자율이 다르기 때문에 와전류 갭센서의 출력에 영향을 미쳐 발생한 결과라고 판단할 수 있으며 모재의 투자율 특성에 대한 보정이 필요하다.

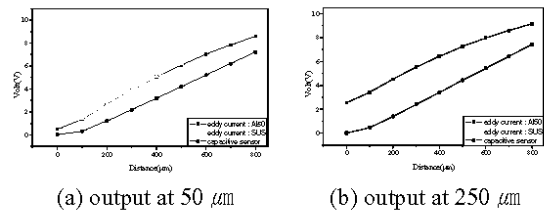


Fig 8. Measured results at different kinds of base metals

5. 결론

본 연구는 와전류 센서와 정전용량 센서로 구성된 이중센서에 의한 코팅막 두께 측정 가능성에 대한 실험을 하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 이중센서를 이용한 금속체 위의 도장막, 코팅막의 두께 측정이 실현 가능하다.
- 2) 측정된 값이 선형성을 갖고 있음을 알 수 있다.
- 3) 모재의 투자율 변화에 따라 와전류 센서의 출력신호가 영향을 받음을 알 수 있었다.
- 4) 제안된 측정구간 내에서 두께 측정값이 $\pm 2\%$ 오차내에 수렴됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. R. Wagn, P.L. Wong, "Optical characteristics fo thin film coating and measurement of its thickness," Tribology International Vol. 30, No. 11, pp. 801-806, 1997.
2. P.W.Kolb, R.S.Decca, and H.D.Drew, "Capacitive sensor for micropositioning in two dimensions," Rev.Sci.Instrum. Vol. 69, No. 1, pp. 310-313, 1998.
3. 김성렬, 김선호, 황진동, 안중환, "직접관찰법에 의한 드레싱 시기 검출시스템," 한국 정밀공학 회지, 제 99 권, 제 99 호, pp. 149-150, 1999.