복합층에서 나타나는 투과형 펄스와전류 신호의 특성

최동명*, 신영길*, 권영호**
*군산대학교 전자정보공학부, **세안기술(주)

Characteristics of Through Transmission Pulsed Eddy Cuurent Signals from layers

Dong-Myung Choi*, Young-Kil Shin*, Young-Ho Kweon**
*Kunsan National University, **Sae-An Eng. Co.

Abstract - 복합층에서 나타나는 투과형 펄스와전류 (Pulsed Eddy Current; PEC) 탐상신호를 수치해석 방법을 사용하여 예측하고 분석하였다. 공기층이 없는 복합층에서 Ti-6Al-4V의 두께가 변하는 경우에는 Lift-off를 변화시켰을 때 나타나는 펄스와전류 신호특성과 LOI (Lift-off Intersection)가 형성되는 것을 관찰할 수 있었고, Aluminum의 두께가 변하는 경우에는 Aluminum만의 두께변화 시 발생하던 신호특성이 났다. 공기층이 있는 복합층에서는 Lift-off를 변화시켰을 때 나타나는 신호특성과 LOI가 형성되었고, 공기층이 증가하면 피크 값이 감소하는 것을 볼 수 있었다.

1. 서 론

와전류탐상법은 전도성 물질에 유도되는 와전류를 이용하여 결함의 위치나 크기, 재질의 물성변화를 탐지하는 방법이다[1]. 일반적인 와전류탐상은 단일 또는 소수의 주파수를 제한적으로 사용하기 때문에 탐상영역이 제한되는 표피효과가 나타난다. 하지만 펄스와전류 탐상은 넓은 주파수 대역폭을 갖는 펄스를 입력으로 사용하기 때문에 표피효과를 줄일 수 있고, 한 번의 탐상으로 여러 주파수의 특성을 얻을 수 있다고 알려져 있다[2-7]. 와전류탐상은 비접촉식이기 때문에 피검사체 표면이 고온이거나 거칠어도 검사를 할 수 있으며, 펄스와전류 탐상에서는 Lift-off 효과를 배제하고 검사할 수 있다고 알려져 있어 단열재나 코팅을 제거하지 않고도 도체의 두께를 측정할 수 있다[6-7].

본 논문에서는 Aluminum과 Ti-6Al-4V의 두 재질이 복합되어 층을 이루고 있을 때 나타나는 투과형 펄스와전류 신호를 수치해석 방법을 통해 예측하였고, 얻어진 펄스와전류 신호의 특성을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 수치모델링

펄스와전류 탐상의 모델링에는 시간에 따라 변하는 과도해석이 필요하다. 이를 위해 공간의 모델링에는 유한요소법을, 시간에는 역진 시간차분법을 사용하였다. 투과형 펄스와전류 탐촉자는 그림 1과 같은 형태를 사용하였고, 모델링 데이터는 표 1에 정리하였다.

표 1. 모델링 데이터와 피검사체의 물성

		Exciter	Sensor	Sensor Core
Coil Size	O.D	6.6[mm]	6.6[mm]	4.8[mm]
	두께	3.0[mm]	6.0[mm]	12.0[mm]
	폭	1.2[mm]	1.2[mm]	1.2[mm]
	권선수	240	240	투자율 1000

	물질	전도도	투자율
Test Plate	Aluminum	38.2 [MS/m]	1.0
	Ti-6Al-4V	0.61 [MS/m]	1.0

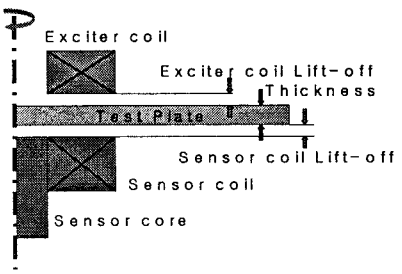


그림 1. 투과형 PEC 탐촉자

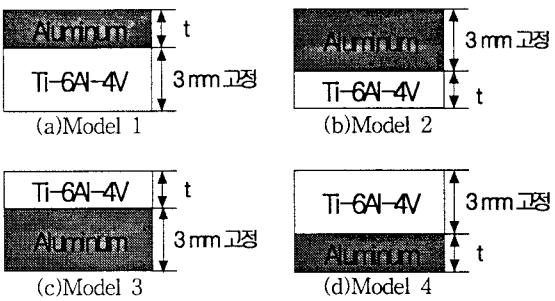
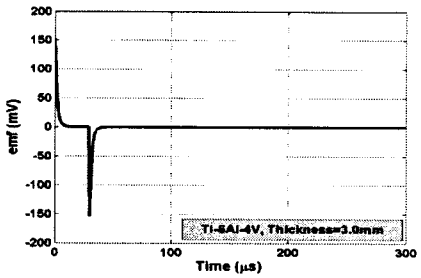


그림 2. 공기층이 없는 복합층 피검사체

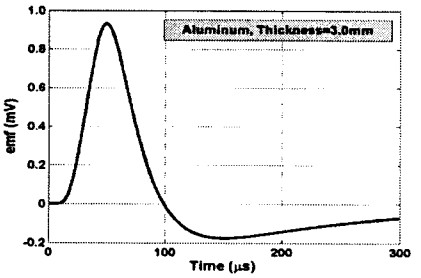
2.2 공기층이 없는 복합층

그림 2에 보인 공기층이 없는 복합층 피검사체에서 발생되는 펄스와전류 신호의 특성을 알아보기 위해 여자코일에 30μs동안 펄스전류를 인가하고 센서코일에 유도되는 신호를 조사하였다. 각 코일의 Lift-off는 피검사체 표면에서 0.6mm로 일정하게 유지하였다.

복합층이 없는 두께 3mm의 순수한 Aluminum과 Ti-6Al-4V에서 나타나는 펄스와전류 신호를 그림 3의 (a)와(b)에 보였다. 이 신호들은 같은 펄스폭의 전류를 인가한 결과로, 전도도가 다른 재질에서 펄스폭의 영향을 짐작할 수 있다[8-9]. 그림 1과 같은 투과형 펄스와전류 탐촉자는 피검사체를 투과하여 나오는 자속을 탐지하는 것이기 때문에 그림 3의 (a)에서처럼 전도도가 낮은 피검사체는 펄스와전류를 많이 생성하지 못하므로 여자코일에서 만든 자장에 반대되는 자장을 적게 만들어 센서코일에 도달하는 자장이 크므로 피크 값이 크게 나타나게 된다. 반면에 그림 3의 (b)에서처럼 전도도가 높은 피검사체는 펄스와전류를 많이 생성시켜 투과되는 자장을 감소시키게 된다. 이렇게 투과된 자장이 센서코일에 도달하여 신호로 나타나기 때문에 피크 값이 작게 나타나게 된다.



(a)Ti-6Al-4V, 두께 3.0mm



(b)Aluminum, 두께 3.0mm

그림 3. 코팅층이 없을 때 PEC 신호

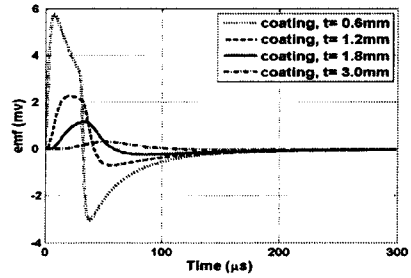
그림 4는 그림 2에 보인 피검사체들을 사용하여 얻은 펄스와전류 신호를 보인 것이다. 그림 4의 (a)와 (d), (b)와(c)는 펄스와전류 신호의 형태가 거의 비슷함을 알 수 있다. 하지만 Aluminum이 여자코일에 가까이 있을 때 피크 값이 더 크게 나타남을 알 수 있다. 그림 4의 (b)와 (c)의 펄스와전류 신호를 보면 피크 값 도달 시간이 동일하고, 코팅층의 두께가 증가할수록 피크 값이 감소하며, 각각의 펄스와전류 신호가 한 점에서 교차되는 것을 볼 수 있다. 이러한 교차점은 Lift-off 변화시에 발생되는 LOI(Lift-off Intersection)와 매우 유사한데[6-9], 이는 Ti-6Al-4V의 두께가 3mm까지 변하면서 생성되는 펄스와전류의 영향이 Aluminum의 펄스와전류로 인한 영향에 비해 미미해서 신호에 거의 영향을 주지 못하고, 마치 Aluminum과 코일간격의 변화처럼 보이기 때문에 나타난 것이라고 볼 수 있다.

그림 4의 (a)와 (d) 의 펄스와전류 신호는 Ti-6Al-4V의 두께가 3mm로 고정되어 있고, Aluminum의 두께가 변화했을 때 나타나는 펄스와전류 신호이다. 이 신호도 역시 Ti-6Al-4V에 의해 생성되는 펄스와전류가 너무 작아서 전체 신호에 주는 영향은 거의 없고, 각 두께별 Aluminum으로부터의 신호가 주로 전체 펄스와전류 신호로 나타나는 것으로 판단된다.

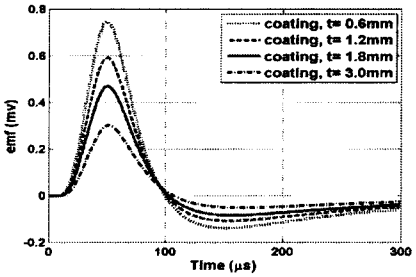
2.3 공기층이 있는 복합층

두 개의 금속층 사이에 부식이 발생한 경우를 상정하고, 그림 5에 보인 바와 같이 복합층 사이에 공기층이 형성된 피검사체의 펄스와전류 신호를 조사, 분석하였다. 피검사체의 표면에 위치한 각각의 코일이 표면에서 0.6mm로 일정하게 Lift-off를 유지하고, 입력전류를 30 μs동안 인가한 상태에서 펄스와전류 신호를 조사하여 그림 6에 나타내었다. 이때 두께 2.1mm인 Ti-6Al-4V가 펄스와전류 신호에 미치는 기여분은 거의 무시될 수 있을 정도로 작은 값이며, 대부분 Aluminum으로부터의 Lift-off 변화에 대한 반응이 펄스와전류 신호로 나타난 것으로 보인다.

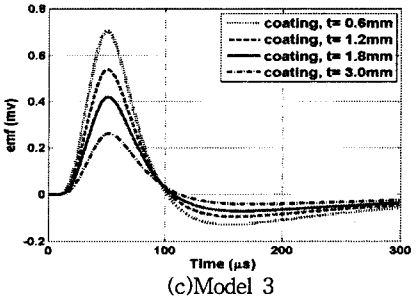
그림 6의 (a)와(b)는 피크값 도달 시간이 같고, 공기층이 두꺼워질수록 피크값이 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한, 공기층의 두께변화에 따라 발생되는 펄스와전류 신호들은 한 점에서 교차하는 것을 볼 수 있다. 이는 마치 Lift-off 변화에 따라 발생되는 LOI가 형성된 것처럼 보인다. 이렇게 Lift-off 변화로 인한 펄스와전류 특성이 나타나는 주된 이유는 2.1mm 두께의 Ti-6Al-4V가 펄스와전류 신호에 미치는 기여분이 거의 무시되므로, 마치 Aluminum과 코일간의 간격이 증가된 것처럼 보이기 때문이라고 판단된다. 그림 6의 두 신호를 비교하면 피크 값이 차이가 나는 것을 알 수 있다. 그림 6 (a)가 더 큰 피크 값을 갖는데 이는 피검사체가 여자코일에 근접할수록 강한 자장의 영향을 받게 되고, 이 강한 자장이 Aluminum을 더 많이 투과하기 때문에 피크 값이 더 커지게 된 것으로 판단된다. 반면 그림 6 (b)의 경우, Aluminum 층이 여자코일로부터 멀리 떨어져 있어 자장의 영향을 약하게 받아 투과되기 때문에 피크 값도 작게 나타나는 것으로 보인다.



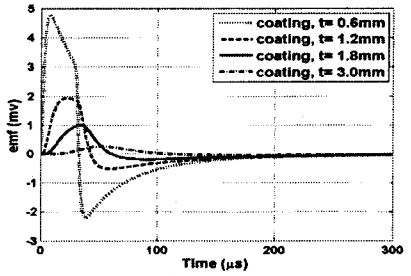
(a)Model 1



(b)Model 2



(c)Model 3



(d)Model 4

그림 4. 공기층이 없는 복합층 PEC 신호

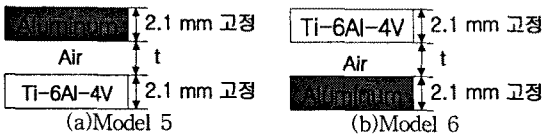
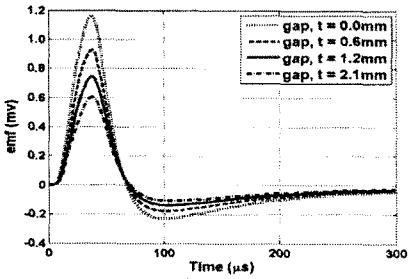
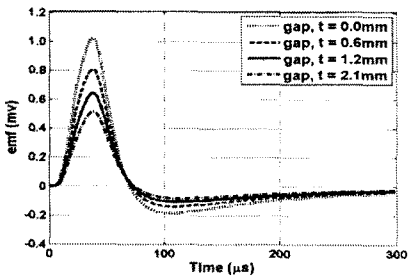


그림 5. 공기층이 있는 복합층 피검사체



(a)Model 5



(b)Model 6

그림 6. 공기층이 있는 복합층 PEC 신호

3. 결 론

본 논문에서는 투과형 펄스와전류 탐촉자를 사용하여 복합층에서 나타나는 펄스와전류 신호의 특성을 조사, 분석하였다.

공기층이 없는 복합층인 경우 Aluminum의 두께가 고정되고 Ti-6Al-4V의 두께가 증가하면 Lift-off 특성을 갖는 펄스와전류 신호가 나타나며, 그 특성은 피크 값 도달 시간은 일정하며, 피크 값만 감소한다는 것이다. 또한 각각의 복합층의 두께별 펄스와전류 신호가 한 점에서 만나는 LOI와 유사한 현상이 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 Ti-6Al-4V의 두께가 변해도 펄스와전류에 영향을 거의 주지 못하고, Lift-off 간격만 변화시킨 것 같은 효과가 났기 때문이다. 반대의 경우인 Ti-6Al-4V의 두께가 고정되고 Aluminum의 두께가 증가하면, Aluminum의 두께변화 신호가 나타난다. 이는 Ti-6Al-4V가 전도도가 낮아 펄스와전류에 미치는 영향이 매우 작기 때문에 나타나는 현상이라 볼 수 있다. 그리고 여자코일에 Aluminum이 근접한 경우가 피크 값이 더 커지는데, 이는 여자코일에 근접할수록 더욱 강한 자장이 발생하고, 이 강한 자장의 영향을 받아 투과되어 센서에서 감지되는 자장도 크기 때문이다.

공기층이 사이에 있는 복합층은 공기층이 두꺼워 질수록 피크 값은 감소하지만 피크 값 도달시간은 변화하지 않으며, Lift-off가 변할 때 나타나는 LOI가 형성된다. 이와 같은 현상이 나타나는 이유는 두께 2.1mm인 Ti-6Al-4V가 펄스와전류 신호에 미치는 영향은 거의 없는데 공기층이 증가하면 마치 Aluminum과 코일간의 간격이 증가된 것처럼 보이기 때문이라고 판단된다. 또한, Aluminum이 여자코일에 근접할 때 펄스와전류 신호가 더 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있었는데, 이는 여자코일에 근접할수록 자장의 세기가 더욱 커서 투과되는 자장도 커지기 때문이라고 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] V. S. Cecco, G. Van Drunen, F. L. Sharp, "Eddy Current Testing," Atomic Energy of Canada Limited, GP courseware, Inc., Columbia, MD 21044, 1987.

[2] 이정기, 서동만, 이승석, "펄스 와전류를 이용한 알루미늄 두께 평가," 비파괴검사학회지, Vol. 25, No. 1, pp. 15-19, 2005.

[3] Cheng-Chi Tai, James H. Rose, and John C. Moulder, "Thickness and conductivity of metallic layers from pulsed eddy-current measurements," Rev. Sci. Instrum. Vol. 67, No. 11, pp. 3965-3972, November 1996.

[4] M. S. Safizadeh, B. A. Lepine, D. S. Forsyth and A. Fahr, "Time-frequency analysis of pulsed eddy current signals," J. NDE, Vol. 20, No. 2, pp. 73-86, 2001.

[5] J. H. V. Lefebvre, C. Mandache, "Lift-off point of intersection (LOI) behavior," Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 24, pp. 523-530, 2005.

[6] Gui Yun Tian and Ali Sophian, "Reduction of lift-off effects for pulsed eddy current NDT," NDT&E International, Vol. 38, pp. 319-324, 2005.

[7] C. Mandache and J. H. V. Lefebvre, "Transient and harmonic eddy currents: Lift-off point of intersection," NDT&E International, Vol. 39, pp. 57-60, 2006.

[8] 신영길, 최동명, 안종관, "펄스의 폭이 투과형 펄스와전류 신호에 미치는 영향" , 2007년 춘계학술대회 논문집, pp. 144-151, 2007.

[9] Young-Kil Shin, Dong-Myung Choi, "Numerical analysis of through transmission pulsed eddy current testing and effects of pulse width variation", 비파괴검사학회지, Vol. 27, No. 3, pp. 255-261, 2007.