

## 반사형 펄스와전류 탐상을 위한 탐촉자 설계

신영길\*, 최동명\*, 정희성\*\*, 송성철\*\*

\* 군산대학교 전자정보공학부, \*\*세안기술주식회사

### Design of A Probe for Reflection Type Pulsed Eddy Current Testing

Young-Kil Shin\*, Dong-Myung Choi\*, Hee-Sung Jung\*\*, Sung-Chul Song\*\*

\* Kunsan National University, \*\*Sae-An Engineering Corp.

**Abstract** – 반사형 펄스와전류(Pulsed Eddy Current; PEC) 탐상을 위한 여러 가지 탐촉자를 설계하고, 수치해석 방법을 사용하여 신호특성과 두께변화에 대한 민감도를 조사하였다. 구리와 페라이트를 차폐체로 사용한 결과, 구리로 차폐한 여자코일이 페라이트로 차폐한 센서코일보다 안쪽에 있는 것이 두께변화에 더 민감하였고, 페라이트만으로 차폐한 경우에도 여자코일이 안쪽에 있는 것이 더 민감하다는 것을 알 수 있었다. 한편, 두께가 두꺼워지면 펄스신호의 피크치는 감소하며 피크 발생시간이 변화하는 것을 관찰할 수 있었다.

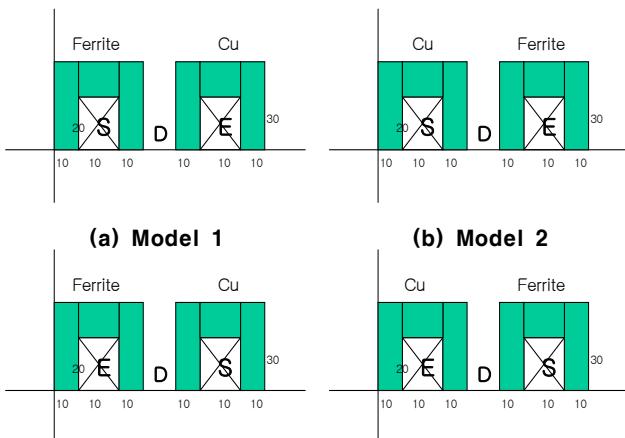
#### 1. 서 론

일반적인 와전류탐상은 단일 주파수 혹은 몇 개의 주파수를 사용한다. 이러한 경우 사용 주파수에 따라 표피효과에 의해 검사 영역이 제한된다. 펄스와전류(Pulsed Eddy Current; PEC) 탐상에서는 이론적으로 매우 넓은 주파수 대역폭을 가지는 펄스 신호를 사용하므로, 많은 수의 주파수를 사용한 일반 와전류 탐상을 통해 얻어질 수 있는 정보를 손쉽게 얻을 수 있으리라는 기대를 갖게 하며, 자속의 침투깊이 또한 일반 와전류 탐상에 비해 더 깊어질 것으로 예상된다. 펄스와전류 탐상에서는 비접촉식이므로 단열재나 코팅 층을 제거하지 않고도 금속의 두께를 측정할 수 있으며 피검사체가 고온이거나 표면 상태가 거칠어도 측정이 가능하다는 장점이 있다[1]~[3]. 본 논문에서는 코일의 배치 및 차폐체의 효과에 대해 조사하여, 평판 도체의 두께 측정에 효과적인 탐촉자를 설계하고자 하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 수치 모델링 및 기본 설계 모델

펄스전류는 시간에 따라 변화하므로 과도해석이 필요하고, 이를 위해 공간의 모델링에는 유한요소법을, 시간에 대해서는 유한차분법을 사용하여 모델링 하였는데, time step 크기의 제한이 없는 역진차분법을 사용하였다[3]. 본 연구에서는 여자코일과 센서코일의 위치를 바꿔 가면서 구리와 페라이트를 각 코일의 차폐물로 사용하여 설계의 효율성을 조사하였는데, 사용된 반사형 PEC 탐상 프로브의 기본 설계 모델들을 그림 1에 보였다.



&lt;그림 1&gt; 반사형 PEC 탐상 프로브 기본 설계 모델

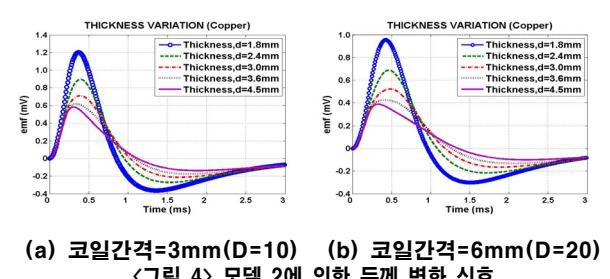
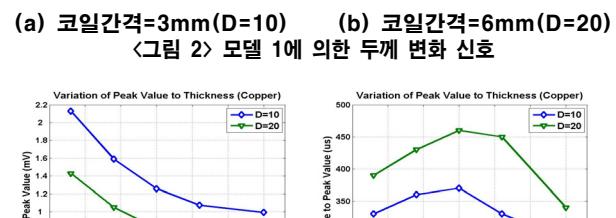
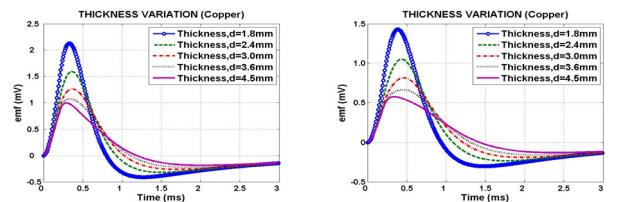
이러한 네 가지 설계모델들을 전도도가 높은 구리 평판과 중간정도인 텅스텐, 전도도가 낮은 인코넬 평판에 적용하여, 각 평판의 두께 변화로 인한 신호들을 조사하였다.

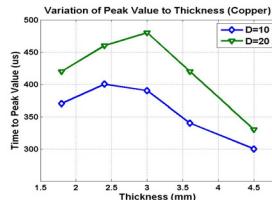
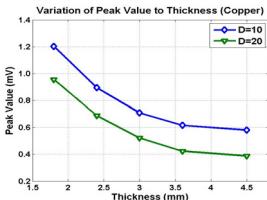
##### 2.2 구리 평판 위에서의 설계모델별 신호 예측

그림 2~9에는 구리 평판 위에 위치한 각 설계 모델들로부터 예측된 두께별 PEC 신호들과 그 신호들의 피크치 및 피크치가 발생되는 피크 시간을 두께별로 조사하여 도표로 나타내었다. 여기서 차폐된 여자코일과 차폐된 센서코일 사이의 간격을 3 mm와 6 mm, 두 가지로 달리하여 조사하였다. PEC 신호들은 두께가 증가하면 피크치는 감소하지만 피크 시간은 증가하다가 어느 정도 깊이 이상이 되면 다시 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 또한 차폐 코일 사이의 간격이 증가하면 피크치가 작아지고 피크시간이 전반적으로 증가한다는 것을 알 수 있다.

모델 1과 모델 4의 신호들을 비교해 보면 여자코일이 안쪽에 위치한 것이 신호의 피크치가 더 큰 것을 알 수 있으며, 모델 2와 모델 3을 비교해 보아도 마찬가지 결론을 내릴 수 있다. 한편, 여자코일이 안쪽에 위치한 모델 3과 모델 4의 신호들을 비교해 보면, 여자코일에는 구리로 차폐하고 센서코일에는 페라이트로 차폐한 것이 신호의 피크치가 더 크다는 것을 알 수 있다.

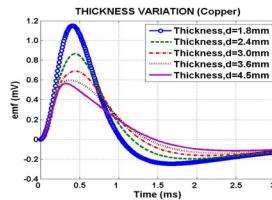
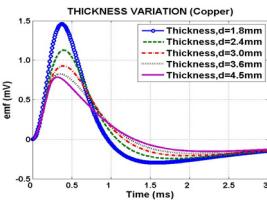
그러나 단순히 피크치의 변화량만을 가지고 두께변화에 대한 신호의 민감도를 말하기는 어렵다. 즉, 전체 신호의 크기에서 두께변화에 의한 신호크기의 변화를 조사해 볼 필요가 있다. 따라서 1.8 mm에서 4.5 mm





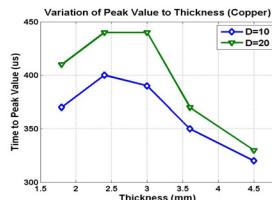
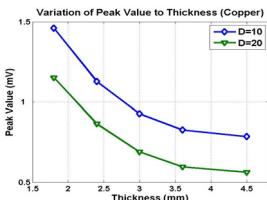
(a) 피크치 변화

&lt;그림 5&gt; 모델 2 신호에서 두께에 따른 피크치 및 피크시간 변화



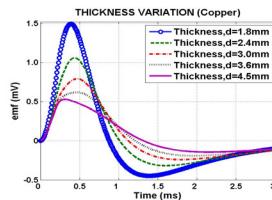
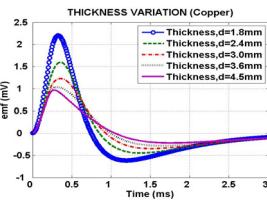
(a) 코일간격=3mm(D=10)

&lt;그림 6&gt; 모델 3에 의한 두께 변화 신호



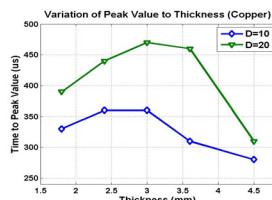
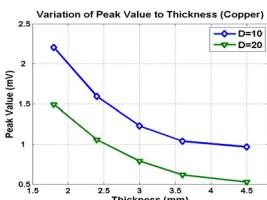
(a) 피크치 변화

&lt;그림 7&gt; 모델 3 신호에서 두께에 따른 피크치 및 피크시간 변화



(a) 코일간격=3mm(D=10)

&lt;그림 8&gt; 모델 4에 의한 두께 변화 신호



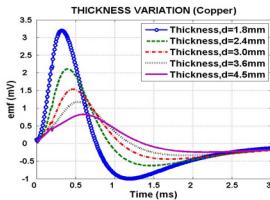
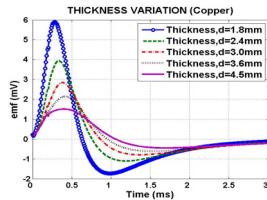
(a) 피크치 변화

&lt;그림 9&gt; 모델 4 신호에서 두께에 따른 피크치 및 피크시간 변화

&lt;표 1&gt; 구리와 페라이트 차폐에서 두께 변화 민감도 조사

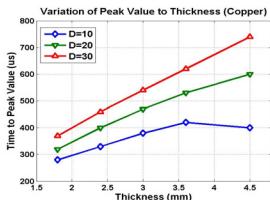
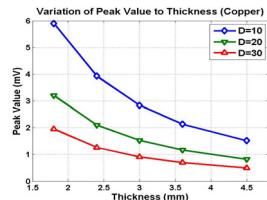
	구리		텅스텐		인코넬	
	D=10	D=20	D=10	D=20	D=10	D=20
Model 1	53.3%	59.78%	41%	46.5%	40.7%	47.7%
Model 2	51.6%	59.4%	42.17%	49.17%	44.96%	51.7%
Model 3	46.2%	51.15%	35.8%	41.9%	40%	47.4%
Model 4	56.16%	64.76%	45%	51.7%	44.7%	52%

까지의 두께변화로 인한 신호크기의 변화를 신호의 크기가 가장 큰, 두께가 가장 얕을 때의 신호로 나누어 정규화 시킨 값을 조사하여 표 1에 보였다. 이 결과들을 비교해 보면, 두 코일간의 간격이 클수록 민감도가 좋으며, 모델별 민감도에서는 모델 4가 가장 높은 민감도를 보임을 알 수 있다.



(a) 코일간격=3mm(D=10)

&lt;그림 10&gt; 페라이트만으로 차폐한 모델에 의한 구리의 두께변화 신호



(a) 피크치 변화

&lt;그림 11&gt; 그림 10의 신호에서 두께에 따른 피크치 및 피크시간 변화

&lt;표 2&gt; 페라이트만으로 차폐한 모델에서 두께 변화 민감도 조사

	구리			인코넬		
	D=10	D=20	D=30	D=10	D=20	D=30
센서코일 안쪽	74.3%	74.2%	74.5%	44.3%	60.2%	65.8%
여자코일 안쪽	74.3%	74.2%	74.5%	50.96%	60.2%	65.8%

### 2.3 페라이트로 차폐한 설계 모델

차폐체로 구리를 사용한 경우에는 차폐체에 와전류가 유도되어 신호에 영향을 미칠 수 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위하여 차폐체를 모두 페라이트로 사용한 경우에 구리와 인코넬 평판에서의 신호들을 조사하였다. PEC 신호를 보면 두께가 증가할수록 피크치는 감소하며 피크 시간은 증가하고 있다. 피검사체의 전도도가 크면 피크치도 훨씬 더 크다는 것을 관찰할 수 있었다. 한편, 코일사이의 거리를 3, 6, 9 mm로 달리하여 조사해 보았더니 거리가 멀수록 피크치는 감소하며 피크시간이 증가한다는 것을 알 수 있었다.

앞서 조사한 바와 같이 1.8 mm에서 4.5 mm까지의 두께변화로 인한 신호크기의 변화를 신호의 크기가 가장 큰, 두께가 가장 얕을 때의 신호로 나누어 정규화 시킨 값을 조사하여 표 2에 보였다. 이 결과들을 보면 피검사체의 전도도가 높을수록, 코일사이의 거리가 멀수록, 그리고 여자코일이 안쪽에 있는 경우에 민감도가 높다는 것을 알 수 있으며, 표 1과 비교해 보면 페라이트로만 차폐한 모델이 피검사체의 두께변화에 더 민감하다는 것을 알 수 있다.

### 3. 결 론

반사형 펄스와 전류 탐상을 위한 탐촉자의 설계를 위해 여러 가지 코일 배치 및 차폐체의 효과에 대해 조사하였고, 평판 도체의 두께 측정에 효과적인 탐촉자를 설계하였다.

구리와 페라이트를 차폐체로 사용한 결과는 구리로 차폐한 여자코일이 페라이트로 차폐한 센서코일보다 안쪽에 있는 것이 두께변화에 더 민감하다는 것을 보여 주었고, 페라이트만으로 차폐한 경우에도 여자코일이 안쪽에 있는 것이 더 민감하며, 피검사체의 전도도가 높을수록, 코일 사이의 거리가 멀수록 더 민감하다는 것을 알 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- C. J. Renken, "The use of a personal computer to extract information from pulsed eddy current tests," Materials Evaluation, Vol. 3, pp. 356–360, 2001.
- J. H. V. Lefebvre, C. Mandache, "Lift-off point of intersection (LOI) behavior," Review of Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 24, pp. 523–530, 2005.
- X. Dai, R. Ludwig, and R. Palanisamy, "Numerical simulation of pulsed eddy-current nondestructive testing phenomena," IEEE Trans. Mag. Vol. 26, No. 6, pp. 3089–3096, 1990.