

# PEC 를 이용한 강구조물 접합부 이격 무선 측정 방법에 관한 연구 Survey for a wireless PEC measurement for jointed steel gap

\*최유락<sup>1</sup>, #이재철<sup>2</sup>

\*Y. R. Choi<sup>1</sup>, #J. C. Lee(jclee2@kaeri.re.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 한국원자력연구원, <sup>2</sup> 한국원자력연구원

Key words : PEC, wireless, gap measurement

## 1. 서론

PEB(Pre-Engineered Building), 무빙셀터, 그리고 교량과 같이 철강재로 구성된 강구조물의 경우 철강재의 이음새 부분을 볼트로 체결하여 접합하는 조인트 공법이 많이 사용된다. 강구조물은 사용연수의 증가에 따라 변형이 생기게 되며, 이러한 변형은 구조물의 안전성에 매우 중요한 영향을 초래한다. 강구조물의 변형이 발생하게 되면 접합부의 벌어짐(이격) 현상이 발생하게 되는데, 본 논문에서는 이 이격 정도를 무선으로 감시/진단할 수 일종의 비파괴 검사 방법인 펄스 와전류 탐상(PECT : Pulsed Eddy-Currents Testing) 방법을 이용한 무선 센싱 기법에 대하여 기술한다.

비파괴 검사 방법으로는 방사선 투과 검사(Radiographic Testing), 초음파 탐상검사(Ultrasonic Testing), 자분 탐상 검사(Magnetic Particle Testing), 액체 침투 탐상 검사(Liquid Penetration Testing), 육안 검사(Visual Testing), 그리고 와전류 탐상 검사(ECT : Eddy-current Testing) 방법이 주로 사용되고 있다. 현재까지 강구조물의 접합부 검사에는 육안 검사가 보편적으로 적용되어 왔다. 강구조물의 특성상 육안 검사가 불가능한 지점이 매우 많고, 정밀하지 못한 육안 검사의 한계와 장주기(Long-term period) 검사의 한계로 인해 정확한 감시/진단이 이루어지지 않고 있다. 초음파 검사나 와전류 검사의 경우 검사 장비의 비용과 크기로 인하여 검사 장치의 설치와 운영이 불가능하다. 더욱이 초음파 검사의 경우 강구조물의 부식에 따라 매질인 강구조물의 초음파 전파 속도가 달라지는 문제가 있으며, 매질 사이의 공기층(이격)이 존재할 경우 측정이 곤란해지는 문제가 있다.

와전류 탐상 검사 방법은 대부분 검사체의 표면의 결함에 대한 검사를 수행하는데, 펄스 와전류 탐상의 경우에는 피검체의 깊숙한 지점의 정보를 얻을 수 있다.

이러한 펄스 와전류 탐상을 이용할 경우에도 펄스/리서버와 펄스 와전류 센서, 그리고 신호수집 서버가 존재해야 하므로 강구조물의 수많은 접합부에 대한 검사를 위한 일반적인 장비로는 활용할 수 없다.

본 논문에서는 펄스 와전류 탐상을 이용하여 강구조물 접합부의 상태를 정밀 측정되되, 펄스 와전류 탐상시스템 중 펄스/리서버와 펄스 와전류 센서를 무선 통신 모듈과 결합하여 작은 모듈로 구성하고, 신호수집 서버와 무선 통신을 통해 Data Acquisition 을 수행하는 기술에 대하여 언급한다.

## 2. 펄스 와전류 탐상 기술

와전류 탐상은 금속 등의 도체에 자속을 작용시켜 도체 내부에 생기는 와전류의 변화를 검출하는 시험 방법이다. 와전류 탐상 방법은 사용주파수의 중첩 정도에 따라 크게 단일 주파수 방법(single frequency method), 다중 주파수 방법(multifrequency method)과 펄스 와전류 방법(pulsed eddy current method)으로 나누어진다.

단일 주파수 방법은 단일 주파수를 갖는 전류를 사용하여 탐상하는 방법으로 다른 두 방법에 비해 기기조작이 간단하고 장비가 저렴하기 때문에 산업체에서 자동화시켜 품질관리에 많이 사용되고 있다.

다중 주파수 방법은 몇 개의 주파수가 중첩된 파를 이

용하여 탐상하는 방법으로 단일 주파수 방법이 갖는 단점인 탐상 목적과 관계없는 인자에 의한 노이즈를 감소시켜 준다. 이 방법을 사용하면 다원연립방정식이 해를 구하는 방법과 같은 원리에 의해 원하는 인자에 의한 영향을 최적화시켜 탐상을 수행할 수 있다. 이 방법은 단일 주파수 방법보다 기기조작이 복잡하고 장비가 고가이나 신뢰성이 높은 탐상이 가능하므로 중요한 설비의 안전관리에 많이 사용되고 있다.

펄스 와전류 방법은 다중 주파수 방법을 보다 개선한 방법으로 적당한 형태를 갖는 펄스를 이용하여 탐상을 수행하는 방법으로 그 원리에 있어서 다중 주파수 방법과 유사하다. 이 방법은 현재 거의 실용화되어 있지는 않으나 잠재성이 높기 때문에 이에 관한 연구가 계속 진행되고 있다.

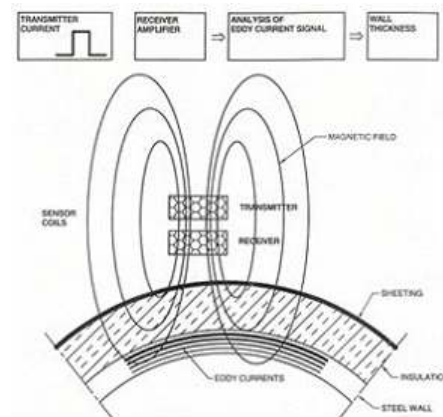


Fig. 1 Principle pulsed eddy current

일반적인 와전류 탐상 기술은 특정한 정현파 교류를 코일에 인가한다. 그러나 펄스 와전류 탐상 기술은 스텝 전압을 코일에 인가한다. 이러한 스텝 전압을 사용함으로써 광대역의 주파수 대역을 코일에 인가하는 장점이 있다. 그 결과 다양한 주파수에 대한 전자기 응답은 단일스텝에 의해서 측정될 수 있고 침투 깊이가 여기 주파수에 의존되기 때문에 깊이 범위의 정보가 단 한번에 측정될 수 있다. 만약에 측정이 시간영역에서 이루어진다면 결함이나 다른 부식 등의 신호가 검사코일에 의해서 거리의 특징으로 시간영역에서 나타난다. 신호의 해석은 일반적으로 기준신호가 나타나고 이것은 다른 신호와 비교됨으로 두께, 부식 등 검출할 수 있다.

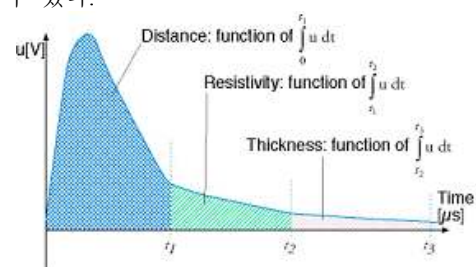


Fig. 2 Parameters of PEC

펄스 와전류 탐상 신호는 그림 2 같이 펄스 와전류 센서와 피검체 간의 거리, 피검체의 저항, 그리고 피검체의 두께에 대한 정보를 포함한다.

### 3. 강구조물 접합부 이격 측정 방법

강구조물 접합부는 보통 2 겹 또는 3 겹으로 조인트 된다. PEB 나 무빙셀터 같은 구조물들의 접합부는 보통 볼트를 이용하여 체결을 하게 되는데, 사용연수가 증가함에 따라 볼트 체결부에 이격이 생기게 된다. 이는 구조물의 피로도 누적에 따른 현상이나 이러한 구조물의 변형이 크게 진행된다면 구조물 자체의 안전성에 문제가 발생하게 된다. 강구조물의 안전성을 평가하는 항목은 여러 가지가 있지만, 접합부의 이격 측정은 가장 중요한 인자 중 하나이다.

강구조물 접합부의 이격 측정을 하기 위해서 본 논문에서는 펄스 와전류 탐상 방법을 응용하여 적용하였다. 본 논문에서 제안하는 펄스 와전류 탐상 응용 기법은 두 세 겹의 피검체에 대한 펄스 와전류 수집 신호의 크기가 피검체들이 밀착되었을 때와 이격이 생길 때 달라지는 것을 이용하는 방법이다. 펄스 와전류는 자기장을 이용한 맴돌이 전류를 이용하는 와전류 검사 방법의 하나이므로 피검체가 밀착되었을 때 유도되는 전류의 세기가 피검체 사이에 이격이 있을 때의 전류 세기 보다 크다.

본 논문에서는 이를 실험하기 위하여 피검체로 두께 10mm 의 SS400 두 장을 사용하였다. 이격을 만들기 위해서 SS400 사이에 복사용지를 한 장에서 네 장까지 끼워 넣으면서 실험을 수행하였다.

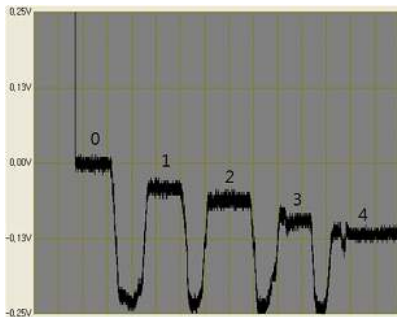


Fig. 3 PEC gap measuring experiment

그림 3에서는 0~4 번까지의 신호 레벨을 볼 수 있다. 0 번 레벨의 수집 신호는 SS400 두 개를 밀착시켰을 나온 신호이고, 1~4 번 레벨의 신호는 복사용지(두께 0.01mm)를 레벨 수만큼 SS400 사이에 끼었을 때 수집된 신호이다. 이 그림에서 보면 SS400 을 밀착 시켰을 때 0.00V 를 기준으로 수집되는 신호 유형이 복사용지를 한 장씩 끼울 때 마다 전압 값이 변화되는 것을 볼 수 있다. 이 전압의 차이는 피검체에 따라 달라지지만, 캘리브레이션을 통해 전압 값의 차이에 따른 이격도를 측정하면 강구조물 접합부의 이격 값을 쉽게 알아낼 수 있다.

### 4. 펄스 와전류 탐상기의 무선화

강구조물의 접합부는 그 수가 매우 많으면서도 검사자가 직접접근하기 어려운 지역에도 많이 설치되어 있다. 펄스 와전류 탐상을 무선으로 수행할 수 있는 기술이 있다면 이러한 문제를 쉽게 해결할 수 있을 것이다.

초음파 검사나 와전류 검사의 경우 센서에 신호를 발생시키는 펄스 보드와 센서가 받은 RAW 신호를 직접 수집하는 리시버 보드가 기본적으로 필요하다. 또한 리시버 보드에서는 수집되는 신호를 계속 쌓아둘 수 없기 때문에 이 신호를 저장할 수 있는 신호수집용 저장 장치가 필요하다. 현재까지는 이러한 구조의 검사 장비만 제공

되고 있으며, 이러한 장비를 수많은 강구조물의 접합부에 설치하는 것은 불가능하다. 센서와 펄스/리시버를 일체화 및 소형화하면서 수집 데이터를 무선으로 송신할 수 있는 모듈을 포함시킨다면 이 문제는 해결될 수 있다.

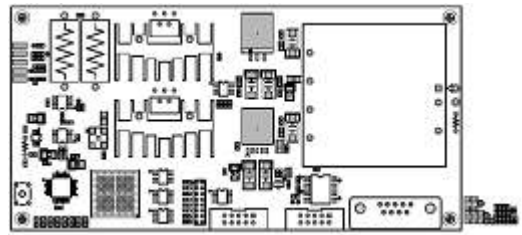


Fig. 4 Wireless PEC module

그림 4 는 펄스/리시버와 무선 통신 모듈을 장착할 수 있는 펄스 와전류 무선 탐상기의 배치도이다. 센서는 이 모듈에 직접 연결되며 전원 공급은 자체 배터리를 사용한다. 강구조물 이격 측정의 경우 상시 진단이 필요한 분야가 아니므로 배터리로 전원 공급을 수행하지만, 필요에 따라 에너지 하베스팅(Energy harvesting)을 이용한 자체 전력 수급 기술을 접목할 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 와전류 비파괴 검사 방법에 있어 펄스 와전류 기술을 이용하여 피검체의 두께를 측정하는 기술을 응용하여 강구조물 접합부의 이격 측정을 수행하는 방법에 대하여 기술하였다.

강구조물 접합부의 이격이 발생하면 유도되는 와전류의 차이가 발생하게 되는데, 이를 이용하면 접합부의 이격 정도를 정밀하게 측정할 수 있다. 펄스 와전류 기술의 경우 피검체와 주위 환경에 따라 다소 차이가 있기는 하지만 약 0.02 $\mu$ m 의 정밀도를 얻을 수 있어 강구조물 접합부 이외에 정밀 접합 분야에도 적용할 수 있다. 기존 와전류 검사 장비가 유선화되어 있고 부피가 크며 고가인 관계로 센서네트워크 타입의 감시/진단 네트워크를 구축하기가 불가능하였으나, 검사 모듈 자체를 일체화, 소형화, 무선화 함으로써 많은 수의 접합부에 대한 감시/진단이 가능하게 되었다.

현재는 강구조물 접합부와 같은 평판 타입에서 벗어나 곡관 타입의 비파괴 측정을 위한 펄스 와전류 연구를 수행하고 있다.

### 후기

본 연구는 지식경제부의 지원으로 수행된 것으로 연구를 수행할 수 있게 도와주신 관계자 분들께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

### 참고문헌

1. Chen, T., Tian, G.Y., Sophian, A., Que, P.W., Feature extraction and selection for defect classification of pulsed eddy current NDT, 2008 NDT and E International, Volume 41, Issue 6, Pages 467-476.
2. Sophian, A., Tian, G.Y., Taylor, D., Rudlin, Electromagnetic and eddy current NDT: A review, 2001 Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, 43 (5), pp. 302-306.
3. Tian, G.Y., Sophian, A., Reduction of lift-off effects for pulsed eddy current NDT, 2005 NDT and E International, 38 (4), pp. 319-324.