

인슐레이션 배관 감육 무선 측정 방법에 관한 연구

Survey of a wireless wall thinning measurement for insulated pipes

*최유락¹, #이재철¹, 권오석²
 *Y. R. Choi¹, #J. C. Lee(jclee2@kaeri.re.kr)¹, O. S. Kwon(oskwon@cnu.ac.kr)²
¹한국원자력연구원, ²충남대학교

Key words : wireless, wall thinning, insulated pipe, reactor

1. 서론

무선센서네트워크 기술의 발달과 더불어 UT/ECT와 같은 NDT와 같이 무선 센싱이 불가능하였던 분야에도 무선 센서 기술이 도입되고 있는 추세이다.

UT/ECT와 같은 NDT 검사는 센서 자체의 발전 기능을 필요로 하며, 대량의 데이터를 수집해야하는 특징을 가지고 있다. 센서의 발전과 대량 데이터 처리에 따르는 전력 소비 문제는 무선센서네트워크의 취약점과 직결되나 전지 기술의 발전에 따라 이러한 문제들이 지속적으로 개선되고 있다. UT/ECT 분야 중 펄스와전류(PEC:Pulsed Eddy Current) 기술은 무선센서네트워크의 취약점인 전력 보급 문제에서 비교적 자유로운데 이 기술은 사용 연령 증가에 따라 배관의 내부면이 부식되거나 많은 감육현상(wall thinning defect)을 유선으로 측정하는데 사용되고 있다.

원자로의 경우 150~160 기압의 압력과 섭씨 300도의 온도에도 견딜 수 있어야 하며 발전계통의 경우 이러한 조건을 대부분의 배관에서도 충족해야만 한다. 1차계통은 방사선에 오염된 냉각수를 포함하고 있으며, 오염되지 않은 냉각수를 포함하는 2차계통의 경우에도 1차계통과 마찬가지로 고온고압의 환경이므로 안전성 확보를 위한 계통배관의 건전성 유지는 필수 요건이다.

배관 감육 문제는 기간산업 플랜트의 고압관에서 제기되고 있다. 배관 감육이 지속되면 배관이 파열되는 중대 사고를 초래할 가능성이 높아진다. 이러한 감육현상은 곡관부에서 많이 발생하고 있으며, 이 곡관들에 대한 감육측정은 원전 안전과 직결된 중요 검사 중 하나로 볼 수 있다.

본 논문에서는 PEC를 이용하여 배관의 감육을 무선으로 측정하는 기술에 대하여 언급한다.

2. 펄스와전류를 이용한 배관 감육 측정 기술

원전계통에 사용되는 곡관의 경우 그 수가 매우 많고 감육측정을 위한 접근이 불가능한 경우가 존재하며, Over-haul 기간이 짧은 관계로 전수 검사를 수행하는 것이 불가능한 상황이다. 이러한 상황에서 현재는 곡관부에 대한 감육측정을 초음파검사 방법으로 수행하고 있으나 초음파 검사의 경우 배관 사용 연수 증가에 따른 내부 물성 변화로 인한 초음파 전파 속도 변질이 발생하여 사용 중 배관의 감육측정에 많은 오차를 보이고 있다.

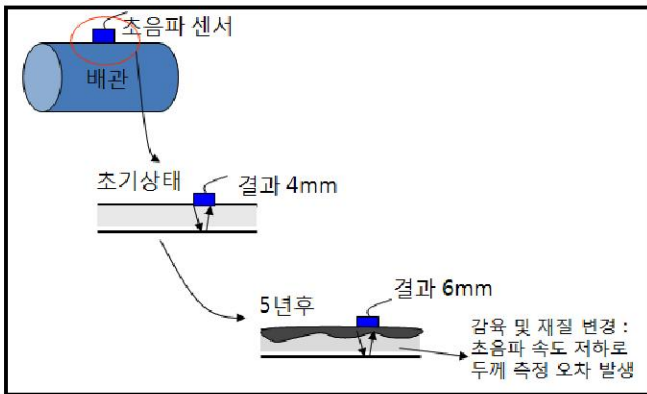


Fig. 1 Problem of UT based wall thinning defect

미국은 물론 일본(미하마발전소)과 한국(월성발전소)의 원자력발전소에서 배관 파단이라는 중대 사고가 발생한바 있다. 일본의 경우 원자력발전소 Over-haul 기간이 한국의 30 여일에

비해 2배가량 길다. 그럼에도 사고가 발생한 것은 배관 시스템이 매우 복잡하고 방대하여 제대로 진단을 하지 못했을 가능성이 높으며, 실제로 국내 원자력발전소의 경우에도 배관 시스템에 대한 전체적인 점검은 이루어지지 않고 있는 실정이다.



Fig. 2 Pipe crash in nuclear power plant

UT를 이용한 배관 감육 측정의 오류를 해결할 수 있는 방법으로 펄스와전류 기법을 사용할 수 있다. 펄스와전류 방법은 도체 내에 급속히 변하는 자기장(펄스)을 인가하여 도체 내에서 반응하는 와전류신호를 분석함으로써 두께, 전도율, 경도 등의 재질변화를 찾아내는 기법이다. 신호를 얻어내는 변수로서는 재질에 대한 변화 뿐 아니라 인가되는 전압과 전류, 그리고 이를 자기장으로 변환시켜주는 코일의 임피던스, 코일과 측정대상과의 거리 등이 있다. 이러한 여러 가지 변수들 중에서 측정대상의 두께에 대한 정보를 찾아내기 위하여, 나머지 변수들을 상수로 고정시키면 두께정보에 변화되는 신호를 얻을 수 있으며, 이를 분석하여 두께정보를 찾아낼 수 있다.

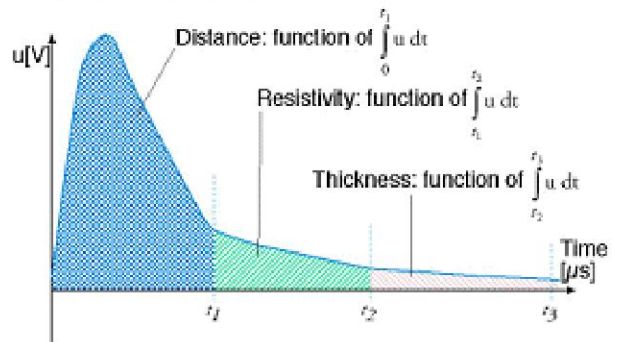


Fig. 3 Parameters of PEC

펄스와전류 기술을 이용하여 얻어지는 신호에 대한 해석 방법은 이 연구를 수행하는 연구기관마다 큰 차이를 보이고 있다. 기존의 해석 기법의 예로는 가장 흔한 예로서 펄스와전류 신호의 진폭을 분석하는 기법이 있고, 파형이 0 전압에 도달하는 시간을 측정하는 방법이 있으며, 관련분야에서 연구 활동이 활발한 RTD라는 외국 유명 회사의 경우에는 와전류의 변화가 안정되는 시간을 측정하는 기법을 활용하는 연구가 진행되어 왔었다. 이중 신호의 진폭을 분석하는 방법은 신호가 센서와 피측정체간 이격거리의 제곱에 반비례하는 특성을 이용하여 센서와 피측정체 사이의 거리를 찾아내기 위해 유익한 방법이고, 와전류가 지속되는 시간을 측정하는 방법에 의하여 측정된 시간 $\tau = \mu \sigma d^2$ 은 투자율과 전도율등의 도체(금속체)의 일반적인 물성을 측정하는 방법으로 활용된다.

본 논문에서 사용된 분석기법은 와전류파형의 형상분석기법으로서 2차원적 와전류 파형의 형상중 가장 두께변화에 따라 가장 급격히 변화하는 위치를 관찰하고 이를 신호 분석에 적용하

는 방법이다. 와전류신호의 펄스에 대한 응답은 근접한 도체의 두께에 따라 안정되는 시간이 길어지는 양상이 있는 것을 확인하였으며, 이는 RTD사의 발표 자료와도 일치한다. Absolute, Differential, Drive&Pickup 등 다양한 권선법으로 센서를 제작하고, 두께에 변화를 측정하기 위한 시편을 제작하여 시험 데이터 매트릭스를 완성하여 분석하여 1차적으로 두께에 가장 민감한 데이터를 얻을 수 있는 센서를 선별하고, 2차적으로 와전류 코일에 인가될 전압과 전류, 주기를 변경시키며 얻어진 데이터를 분석한 결과 그림 3의 펄스와전류 수집 과정과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 특히 t_{rise} 구간에서는 구간내의 적분값(면적)의 변화는 배관 두께 변화에 따라 가장 크게 변화되는 부분임을 확인하였다. 와전류 신호의 t_{rise} 구간 면적은 해당 구간 내에서 신호의 진폭에 비례하는 양상을 확인하였으며 본 논문에서는 구간 내 진폭 측정방법을 사용하여 배관의 두께를 측정하였다.

3. 배관 감육 무선 측정 실험

배관 감육 무선 측정을 위하여 본 연구에서는 인슐레이션된 배관 시험편을 제작하고 무선 PEC 검사 장비를 개발하였다. 이 장비는 PEC 센서, 펄서/리시버 그리고 무선 통신을 위한 시리얼 통신모듈로 구성되어 있다.

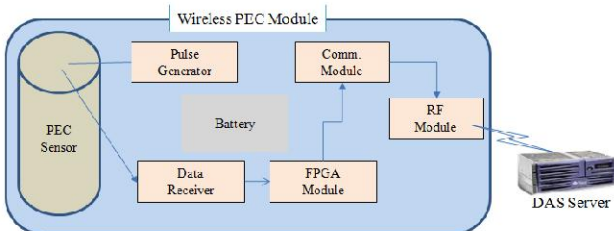


Fig. 4 Wireless PEC Module

배관 감육 측정 실험을 위하여 일반 탄소강 계열의 배관 내부를 1mm 단차로 가공한 시험편을 사용하였으며, 인슐레이션을 위하여 closed cell 보온재(두께 3Cm)를 이용하였다.



Fig. 5 Mock-up and lagging materials

펄스와전류 방법의 경우 피검체에 대한 캘리브레이션을 통해서 모재의 특성을 파악해야 하는데 인슐레이션이 있는 경우에도 똑같은 환경에서 캘리브레이션 데이터를 수집해야 한다. 이 데이터를 이용하여 검사하는 배관들의 펄스와전류 신호를 비교분석함으로써 배관 감육을 측정해낼 수 있다.

그림 6은 펄스와전류 신호 수집과 수집 신호를 그래픽으로 표현해 줄 수 있는 DAS 인터페이스 화면이고, 그림 7은 그림 5의 인슐레이션된 시험편을 검사한 동영상의 스틸 컷이다.

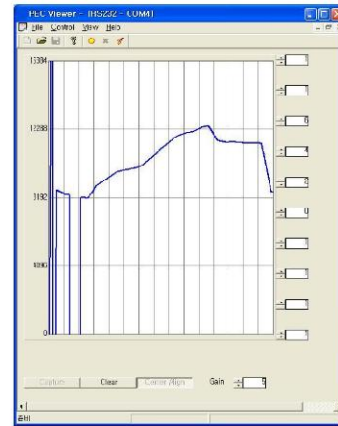


Fig. 6 DAS interface

그림 7의 화면을 보면 5개의 계단 형태로 그래프가 표현됨을 알 수 있는데, 이는 시험편 내부가 6-2mm까지 1mm 단차로 가공되어있기 때문이다. 인슐레이션의 재질과 두께에 따라서 계단형 그래프의 단차가 변화하며, 이 변화는 전압으로 표시되어 나타난다. 그러므로 동일한 환경의 모재에 대한 캘리브레이션 데이터가 반드시 필요하다.

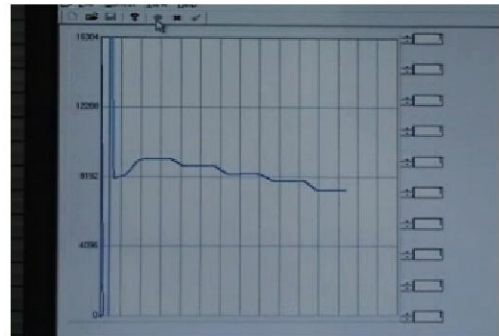


Fig. 7 Pipe wall thinning inspection

4. 결론

현재까지 NDT를 무선으로 수행하는 기술은 상용화된 바 없으나, 배관 감육 측정의 경우 장시간의 주기마다 한 번씩 검사를 수행하면 되므로 상용화가 가능하다. 이는 펄스 와전류 센서와 펄서/리시버의 일체화·소형화·무선화를 통한 무선센서네트워크 기반의 배관 감육 측정 환경으로 구현될 수 있다.

본 논문에서 제안하는 배관 감육 무선 측정 장비에 산업용 배터리를 이용할 경우 1주일에 한 번씩(펄싱 5회) 감육 검사를 수행한다고 가정할 때 약 12년간 배터리의 교체 없이 검사를 수행 할 수 있는 것으로 계산되었다.

초음파 기술 분야에서는 다중 초음파 기법이 본격적으로 사용되기 시작하였으므로, 특정 구간에 대한 초음파 검사의 경우에도 본 논문에서 제안하는 기술을 직접 응용할 수 있다.

후기

본 연구는 지식경제부에서 지원하는 원자력기술개발사업 중 원전기술혁신 과제를 통해 수행된 것으로 연구를 진행할 수 있게 도와주신 관계자 분들께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. Li, Y., Tian, G.Y., Simm, A. Fast analytical modelling for pulsed eddy current evaluation, NDT and E International, Volume 41, Issue 6, September 2008.
2. 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.