

Guided wave 를 이용한 U-Type 급수가열기 적용을 위한 사전 연구

*길두송, 안연식, 박병철
전력연구원

The Basic Research for Guided Wave application of U-Type Feedwater Heater

*D. S. Gil, Y. S. Ahn, B. C. Park

Korea Electric Power Research Institute

Key words : U-Type feed water heater, Guided wave, Tube bundle

1. 서 론

급수가열기는 터빈의 추기스팀을 이용하여 급수를 가열하는 설비로서 발전소의 열효율을 향상시키는 것은 물론 급수와 보일러와의 온도차를 최소화하여 열충격을 흡수하는 중요한 설비이다. 보다 진보된 검사 효율을 위하여 유도 초음파(guided wave)를 원주방향으로 주사하여 검사하는 개념은 수년 동안 걸쳐서 진행되어 왔다[1-5].

기본적인 개념은 튜브 내면의 한 지점에서 초음파를 주사하면, 그 본성에 따라서 감쇄되기 전까지 수십미터를 튜브를 따라서 전파된다. 이들 범위 안에 있는 튜브 내에서의 결함은 되돌아오는 초음파 에너지에 비례하여 나타나게 되고 이것을 근거로 하여 해석을 하게 된다. 보다 널리 알려진 수직 초음파 또는 ECT(Eddy Current Test) 기술의 장점은 다음과 같다[6].

1. 동시에 장거리 배관을 검사함으로써 검사효율을 높이고 비용을 절감할 수 있다.
2. 튜브의 모든 단면적을 한번에 100% 검사할 수 있다.
3. 어떠한 복잡하고 가격이 비싼 삽입장치도 필요가 없으며, 그 결과로 검사하는 동안 탐촉자를 이동시킬 필요가 없다.
4. 튜브 내에서 발생하는 많은 결함에 대해 민감도가 뛰어나므로 검출 확률이 높다.

일반적으로 U-TUBE 타입이 주로 사용되며 현재는 Eddy Current Test(ECT) 방식을 이용하여 검사를 수행하고 있으나, 곡관부와 Baffle plate 와 같은 취약부에서의 검사에는 그 활용성에 한계를 가지고 있다. 이를 보완하기 위하여 외국에서는 유도 초음파를 이용한 열교환기 튜브의 비파괴 진단방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국내 에서도 이러한 세계적인 추세에 따른 연구가 수행되고 있으나, 현장적용을 위해서는 보다 많은 노력이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구를 통하여 유도 초음파를 이용한 국내외 연구 현황 및 이론적 배경과 현장적용 사례를 면밀히 검토후 이를 산업체 현장에 적용하기 위한 발판을 마련 하고자 한다.

2. 이론적 배경

균일한 등방의 선형탄성을 갖는 중공의 원통형 내에서는 종형 모드(또는 L(0, m)), 비틀림형 모드(또는 T(0, m)) 그리고 굽힘형 모드(또는 F(0, m))라고 불리우는 유도 초음파의 세가지 군(family)이 있다는 것은 잘 알려진 사실이다[7]. 각 군내에는 위상속도 V_{ph} 를 가지는 무한한 수의 개별적인 모드(mode)들이 있으며, 주어진 시간과 주파수를 곱한 fd 와 위상속도 간에는 아래와 같은 함축된 의미의 상태 방정식이 만들어진다[6].

$$\Omega_n(a, b, \lambda, \mu, fd, V_{ph}) = 0$$

Fig. 1 에서 보는 바와 같이 a 와 b 는 각각 튜브의 내부와 외부의 반경을 나타내고 λ 와 μ 는 Lamb 상수를 나타낸다. 지수 n 은 유도 초음파 모드에 의해서 발생된 장(field)이 각도 θ 에 따라 변하는 방식을 결정한다. 각 장의 구성요소들은 군모드 n 에 대해서 $\sin(n\theta)$ 또는 $\cos(n\theta)$ 에 따라 변화하는 것으로 간주될 수 있다.

종형 모드와 비틀림형 모드 또한 축방향 대칭 또는 n=0 인 모드로서 언급될 수 있다. 이들 모드에 대해서, n=0 이므로 이들 두가지 군들 중 어떤 모드에 의해서 발생된 각 장(변위, 응력 등)들은 좌표 축 θ 에 대해서 독립적이며, 굽힘형 또는 n=0 가 아닌 모드들은 좌표 축 θ 에 따라서 변화하는 장을 가지고 있다.

결함검출의 측면에서 볼 때, 원통형의 단면적이 각도에 따라 영향을 받지 않는 에너지 분포를 가지고 고주파의 음파를 내도록 하기 위해서는 각 장(field)들의 각도 변화를 제한하는 것이 보다 바람직하다.

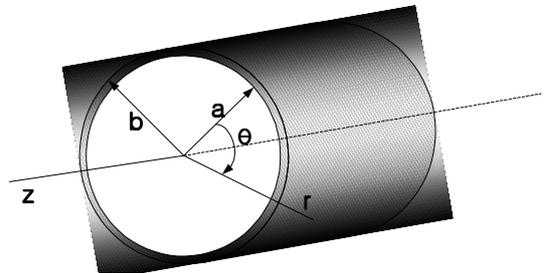


Fig. 1 Hollow cylinder with inner radius(a) and outer radius(b)

3. 유도 초음파 모드 식별

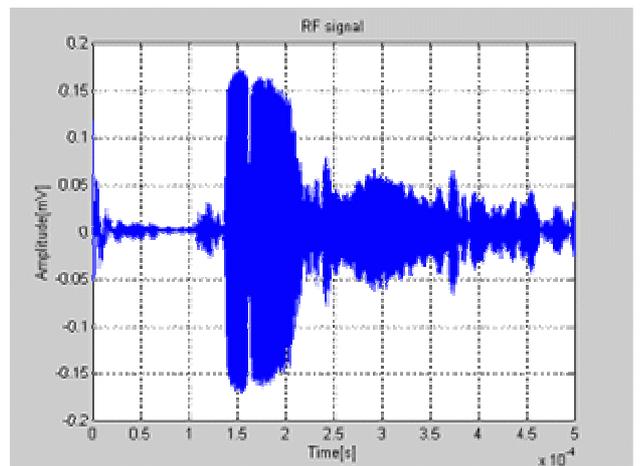


Fig. 2 RF signal waveform of stainless steel nine

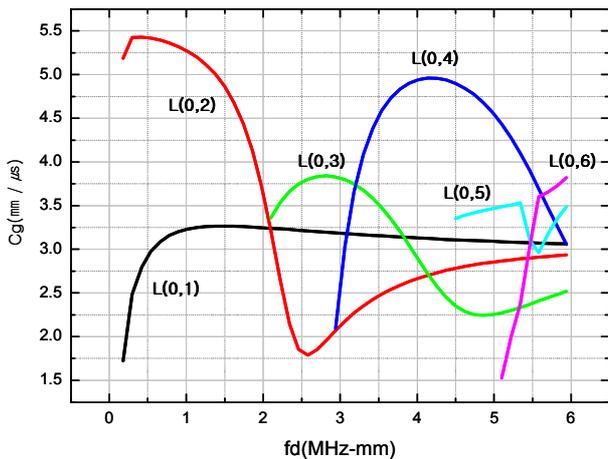


Fig. 3 Group velocity dispersion curve of stainless steel pipe

기존 유도 초음파의 모드 식별 방법으로 획득한 RF 신호 파형의 전파시간으로부터 군속도를 실험적으로 측정 하고 이론적으로 계산되어진 유도 초음파의 군속도 분산 곡선을 각 모드들의 군속도와 비교하여 모드를 식별하였다. Fig. 2 와 Fig. 3 은 RF 신호파형과 그에 해당하는 군속도 분산 곡선을 보여주고 있다.

4. 현장 적용 사례

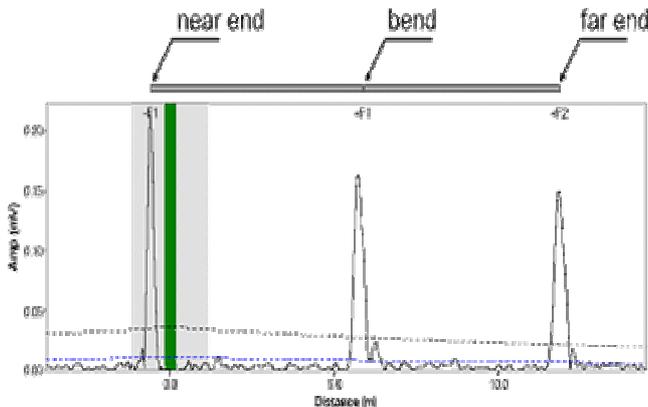


Fig. 4 Feed water heater signal of U-bend

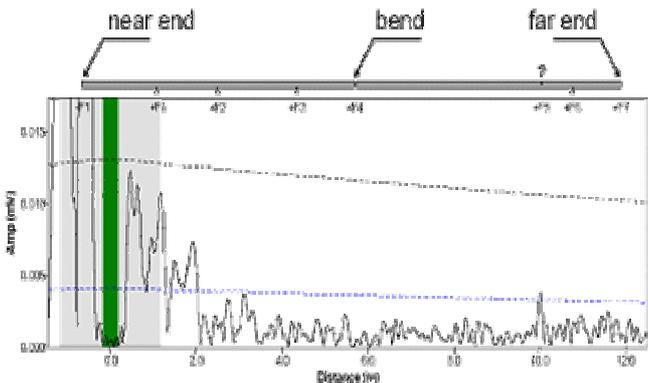


Fig. 5 Defective feed water heater signal of U-bend

Fig. 4 와 Fig. 5 는 U-bend type 의 급수가열기에 대한 이론적 배경을 바탕으로 하여 건전부와 결함이 있는 부위에 대하여 각각 시험한 결과 파형을 나타내고 있으며[8], 그림에서 보는 바와 같이 건전한 튜브에서는 bend 부에서의 파형을 명확히 구분할 수 있으나, 결함이 있는 튜브에서는 스케일이나 부식 등 기타의 요인으로 인하여 유도 초음파가 심한 감쇄현상을 일으켜 건전한 파형을 얻을 수 없음을 보여주고 있다.

5. 결론

본 연구를 통하여 유도 초음파를 이용한 U-bend type 의 열교환기 튜브와 여러 종류의 튜브검사에 대한 다양한 현장 적용사례를 접할 수 있었으며, 이를 통하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 건전부와 10%이하의 결함을 가진 급수가열기에 대한 신호파형 분석결과 미소결함에 대한 검출 능력을 확인하였다.
2. 작은 곡률반경을 가진 U-bend type 의 급수가열기에 대한 검사결과 건전부에서는 곡관부의 파형이 명확하게 구분이 되었으나, 결함을 가진 부분에서는 감쇄 등 기타 다른 요인으로 인하여 건전한 파형을 얻을 수 없었다.
3. U-bend 를 가진 급수가열기에 결함이 발생하였을 경우, 단단하게 고정된 baffle plate 부분의 신호 파형과 결함 형태가 유사하여 이들 신호를 명백하게 구분할 수 있는 해결방안이 요구되었다.

참고문헌

1. Mohr, W. and Holler, P. "IEEE Trans", SU-23 5, pp 369-374, 1976
2. Silk, M. G. and Bainton, K. F. "Ultrasonics", pp 11-19, 1979
3. Morimoto, K., Arioka, N., Fukui, S. and Watanabe, Y. "Nondestructive Test F(Jpn) 2 2, pp 89-95, 1984
4. Brook, M., Ngoc, T. D. K. and Edgr, J. "Review of Progress in Quantitative", NDE, Vo. 9, Eds D. O. Thompson and D. E. Chimenti, Plenum, NY, pp 243-249, 1990
5. Rose, J. L., Ditri, J. J., Carr, F. T. and McNight, W. J. "ASM 11th Int Conf on NDE in the Nuclear and Pressure Vessel Industries", Albuquerque, NM, 1992
6. J. L. Rose, J. J. Ditri, A. Pilarski, K. Rajana and F. Carr, "A guided wave inspection technique for nuclear steam generator tubing", NDT & E International, Vol 27, pp 307-330, 1994
7. Gazis, D. C., "J Acoust Soc Am", pp 568-573, 1959
8. T. Vogt, D. Alleyne and B. Pavlakovic, "Application of Guided Waves to Tube Inspection", Guided Ultrasonics Ltd., ASNT 2005 Columbus, Ohio, pp21-22, 2005