

# Guided Wave 를 이용한 U-Type 급수가열기 적용 연구 Application Research of U-Type Feedwater Heater using Guided Wave

박상기<sup>1</sup>, \*#길두송<sup>1</sup>, 안연식<sup>1</sup>, 김용권<sup>2</sup>, 박세준<sup>2</sup>  
S. K Park<sup>1</sup>, \*#D. S. Gil(kds6801@kepri.re.kr)<sup>1</sup>, Y. S. Ahn<sup>1</sup>, Y. K. Kim<sup>2</sup>, S. J. Park<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>전력연구원, <sup>2</sup>서울산업대

Key words : U-Type feed water heater, Guided wave, Inspection, Support Plate

## 1. 서 론

Guided wave 에 대한 기본 원리는 오래 전부터 개발되어 있었으나 실제로 적용하기 위한 연구는 1990 년도부터 본격적으로 시작되었으며, 영국과 미국, 독일 등 선진국에서는 관련 이론을 토대로 산업설비에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

현재 이 분야의 연구는 영국, 미국을 중심으로 일본, 중국 등에서 연구가 진행되고 있다. Department of Mechanical Engineering, Imperial college(영국)의 P. Cawley[1~7] 등은 유도초음파의 여러 모드를 이용한 실험적 검증과 수치적인 해석을 통하여 각 모드의 특성을 분석한 성과를 보였다. Guided Ultrasonics Lintied(영국)의 D. Alleyne[8]등은 튜브 검사를 위한 유도초음파 검사시스템을 개발하여 다양한 튜브의 적용하였고 시스템의 유용성에 대한 성과를 보였다. UT Lab, Penn. State Univ.(미국)의 Joseph L. Rose 등은 유도초음파 기법을 선도하고 있는 기관으로 90 년대 이후로 상당히 많은 분야에 걸쳐서 유도초음파의 가능성에 대한 실험적 검증을 통한 성과를 보였다. 또한 내삽형인 bore probe 를 개발하고 튜브 검사에 대한 미국 내 특허를 보유하고 있다. 일반적으로 열교환기에서 튜브의 손상이 많이 발생하는 위치는 튜브와 튜브시트(tube sheet) 사이의 틈새, 튜브와 지지판(support) 사이의 틈, 그리고 확관부 영역으로 알려져 있다. 튜브와 튜브시트 사이의 틈새와 튜브와 지지판 사이의 틈에 부식이 발생하면 튜브의 직경을 감속시켜 균열발생의 원인이 될 수 있다. 또한 튜브시트와 튜브를 압착시켜 고착력과 기밀도를 주는 확관부가 규정치 이상으로 확관 될 경우 균열이 발생하거나 튜브시트의 구멍에 변형 또는 탄성치를 넘는 소성변형으로 최적의 고착력과 기밀도를 얻지 못하며, 과도한 확관에 의해 잔류 응력이 남아 부식 환경과 결합하여 응력부식균열 발생의 원인이 된다. 이러한 열교환기 내부에 발생하는 결함들로 인하여 사용 중인 열교환기의 건전성과 신뢰성에 영향을 미치게 되므로 이들의 변화를 모니터링하고 열교환기 튜브 내에 발생할 수 있는 결함에 대한 정량적인 평가가 요구된다.

급수가열기는 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, 국내에서도 이러한 세계적인 추세에 따른 연구가 수행되고 있으나, 현장적용을 위해서는 보다 많은 노력이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구를 통하여 국내 발전소 현장에서 주로 많이 사용되는 급수가열기에 대한 현황 및 사례를 면밀히 검토 후 이를 산업체 현장에 적용하기 위한 발판을 마련 하고자 한다.

## 2. 유도초음파의 전파특성 해석

중형 모드는 원주방향 차수가 n=0 일 때 발생하게 되며, 주파수 방정식에 의해서 중형 모드와 비틀림 모드의 해인 위상속도에 대한 분산 곡선을 아래와 같이 얻을 수 있다.

$$D = D_1 \cdot D_2 = 0$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{14} & C_{15} \\ C_{31} & C_{32} & C_{34} & C_{35} \\ C_{41} & C_{42} & C_{44} & C_{45} \\ C_{61} & C_{62} & C_{64} & C_{65} \end{vmatrix}$$

$$\text{and } D_2 = \begin{vmatrix} C_{23} & C_{26} \\ C_{53} & C_{56} \end{vmatrix}$$

여기서,  $D_1 = 0, D_2 = 0$ 는 중형과 비틀림형 모드의 해이다.

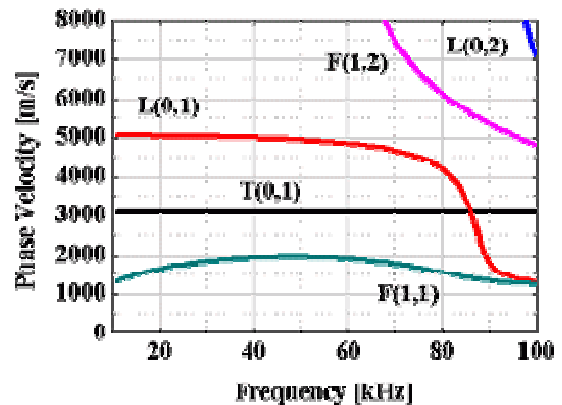


Fig. 1 Dispersion curves of Guided waves in a Titanium tube(outer dia.: 19.05mm, thickness : 0.9mm)

Fig. 1 은 주파수 방정식에 의해서 계산된 티타늄튜브의 이론적인 분산곡선을 나타낸다.

## 3. 현장 적용 시험



Fig. 2 Field test for U-Type feedwater heater

Fig. 2 는 U-Type 의 저압 급수가열기에 대한 현장적용을 위한 사전시험의 모습을 나타낸 것이며, 튜브쪽의 허용압력과 온도는 각각 30kg/Cm<sup>2</sup>, 113℃ 이며, Shell 쪽의 허용압력과 온도는 각각 1.1kg/Cm<sup>2</sup> & VAC, 122℃를 나타내고 있으며, Fig. 3 은 그 결과파형을 나타낸 그림이다.

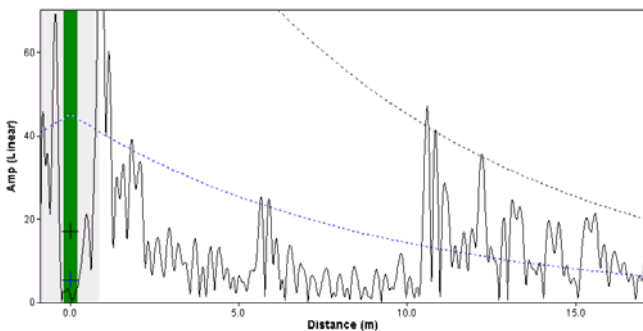


Fig. 3 Feed water heater signal of U-bend

Fig. 3 은 U-bend type 의 저압 급수가열기에 대한 현장적용 신호결과 파형을 나타내고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 튜브 내에서의 스케일이나 부식 등으로 인하여 지지판(support plate)의 신호가 명확하게 구분이 어려움에 알 수가 있으며, 유도 초음파가 심한 감쇄현상을 일으켜 건전한 파형을 얻을 수 없음을 보여주고 있다.

### 5. 결 론

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. 티타늄 튜브에 대한 유도초음파 탐상은 배열형 프로브를 적용하여 탐촉자로부터 획득된 신호를 통하여 탐상결과를 얻을 수 있었으며, 이 결과로부터 튜브의 끝단 신호만 명확하게 검출이 가능함을 알 수 있었다.
2. 실제 결함위치에 해당하는 부분에서 확인된 직경이 5 mm 인 drill hole 결함의 신호는 S/N(signal to noise)가 낮았을 뿐만 아니라 회색부분인 근거리

음장에서 왼쪽 끝단의 반사(mirroring) 신호가 나타나 정확한 신호분석에 어려움이 있었다.

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] D. Alleyne and P. Cawley, "A two-dimensional Fourier Transform method for the measurement of propagating multimode signals, Journal of the Acoustical society of America, 89(3), pp. 1159-1168, (1991)
- [2] D. N. alleyne and P. Cawley, " Optimization of Lamb wave inspection Techniques", NDT & E International, Vol. 25, pp. 11-22, (1992)
- [3] D. N. alleyne and P. Cawley, " Long Range Propagation of Lamb Waves in Chemical Plant Pipework", Materials Evaluation, Vol. 52, No. 7, pp. 504-508, (1997)
- [4] P. Wilcox, M. Lowe and P. Cawley, " An EMAT Array for The Rapid Inspection of Large Structures Using Guided Waves", Review of QNDE, Vol. 22, pp. 814-821, (1997)
- [5] M. J. S. Lowe, D. N. Alleyne, P. Cawley, "Defect detection in pipes using guided waves", Ultrasonics 36, pp. 147-154, (1998)
- [6] P. Walcox, M. Lowe, P. Cawley, "The effect of dispersion on long-range inspection using ultrasonic guided waves", NDT&E International 34, pp. 1-9, (2001)
- [7] A. Demma, P. Cawley, M. Lowe, A.G. Roosenbrand, B. Pavlakovic, "The reflection of guided waves from notches in pipes", NDT&E International 37, pp. 167-180, (2004)
- [8] T. Vogt, D. Alleyne, B. Pavlakovic, Guided Ultrasonics Limited, Nottingham, United Kingdom, "Application of Guided Wave Technology to Tube Inspection", ECNDT, (2006)