

L-mode 를 이용한 열교환기 튜브 결함평가에 관한 연구

Research for Defect Evaluation of Heat Exchanger Tube using L-mode

*#길두송¹, 박상기¹, 안연식¹, 박익근¹, 김용권²

*# D. S. Gil(kds6801@kepri.re.kr)¹, S. K Park¹, Y. S. Ahn¹, Y. K. Park¹, Y. K. Kim²
¹전력연구원, ²서울산업대

Key words : Guided wave, tube inspection, L-Mode

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.

Applied Physics Division, Southwest Research Institute(미국)의 Hegeon Kwun[1, 2] 등은 내삽형 자외센서를 개발하였고, 자외센서에 의해 발생된 Torsional mode 를 이용하여 다양한 결함이 가공되어 있는 곡관부를 포함하는 튜브와 자성체와 비자성체 튜브에서의 개발된 센서의 성능을 실험적으로 검증하여 센서의 현장적용성에 대한 가능성을 보였다. 나고야공업대학의 Takahiro Hayashi[3~7] 등은 임의의 단면에 대한 수치해석법을 통하여 유도초음파의 모드를 분석하여 유도초음파 기법의 적용에 필수적인 분산전도를 얻어 실험적인 결과와 비교하여 그 성과를 보였으며, 구조물에서 전파하는 유도초음파를 가시화할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 또한 관심부위에서의 신호를 얻음으로써 유도초음파의 모드분석에 그 활용성이 기대되는 성과를 보였다. 그리고 일본의 중앙전력연구소(CRIPEI)와 Toshiba, Hitachi 사 등 민간 기업연구소를 중심으로 Guided wave 의 이론을 바탕으로 현장에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있으나 아직 선진국 수준에는 미치지 못하는 실정이다. 열교환기는 유체가 가지고 있는 열에너지를 전도, 대류 및 복사의 열전달 원리를 이용하여 다른 유체에 전달할 수 있도록 제작, 설치한 열교환 장치로서 두 유체의 운동방향에 따라 대향류와 병행류로 분류할 수 있으며, 주로 전도 및 대류의 열전달을 이용한 중요설비이므로 이를 최적의 상태로 유지 및 보존함으로써 발전설비의 안정적 운영에 기여할 필요가 있으며, 복수기 및 급수가열기와 같은 열교환기 튜브는 현재 와전류탐상시험(EddyCurrentTest)을 통하여 검사를 수행하고 있으나, 검사를 위한 준비작업에 많은 시간이 소요되며 검사 속도 또한 많은 물량을 소화하기에는 높지 않은 편이다.

따라서, 이를 보완하기 위하여 Guided wave 를 이용한 검사시스템을 구축함으로써 검사시간의 단축과 이를 통한 설비의 이용률 확대에 의한 안정적 운영에 기여하고 대상설비의 검사를 증대시킴으로서 설비의 고품질향상에 기여하고자 한다.

2. 시스템 구성

2.1 대비시험편 설계/제작

본 연구에서는 열교환기 Guided wave 적용기술 개발을 위해 다양한 기하학적 형상의 모의 시험편과 교정시험편을 설계하고 제작하였으며, 제작된 시험편은 G3 검사시스템을 이용한 유도초음파의 발생 및 수신 메카니즘과 이론적인 전파거동을 실험적으로 규명하는데 이용하고자 하였다.

열교환기 튜브에서의 유도초음파 전파거동을 실험적으로 해석하기 위해 Fig. 1 과 같은 모의 시험편을 설계 및

제작하였다. 제작된 시험편은 두께가 0.89mm 인 티타늄 튜브로 Pitting 결함과 유사한 Drill-hole 결함을 기계 가공하였으며, 결함의 직경은 $\phi 1 \sim 5$ mm 이다.

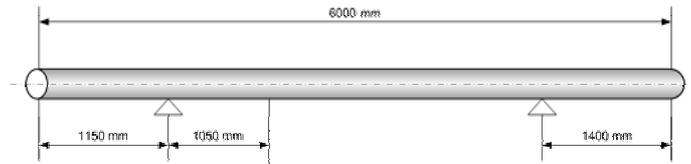


Fig. 1 Specimen of pit-like defect(Titanium)

2.2 Mock-up 시험편

열교환기 튜브에서의 유도초음파 전파거동을 실험적으로 해석하기 위해 Fig. 2 와 같은 Mock-up 시험편을 설계 및 제작하였다. 제작된 시험편은 과제협약 전력사의 발전소로 삼천포 화력과 평택 화력에서 사용되고 있는 실기부재와 사양이 동일한 열교환기 튜브를 사용하였다. 시험편의 재질은 티타늄과 Al-brass 이며, 외경은 25.4 mm, 19.05 mm, 15.88 mm 이다. 열교환기에 발생하는 다양한 결함 중 Pitting 결함과 크랙(crack)에 유사한 결함을 기계 가공하였다. Table 1 은 Mock-up 시험편의 사양을 나타낸다.



Fig. 2 Mock-up Specimens

재질	외경 (mm)	두께 (mm)	길이 (m)	결함 (mm)	비고
Titanium	15.88	1.2	10	Φ5,Φ8	Pin-hole
				20	Notch
Al-brass	19.05	0.899	10	Φ5,Φ8	Pin-hole
				20	Notch
Al-brass	25.4	1.24	4	Φ5,Φ8	Pin-hole
				20	Notch
Al-brass	19.05	0.899	4	Φ5,Φ8	Pin-hole
				20	Notch

Table 1 Dimension of Mock-up specimens

3. 튜브탐상 실험결과

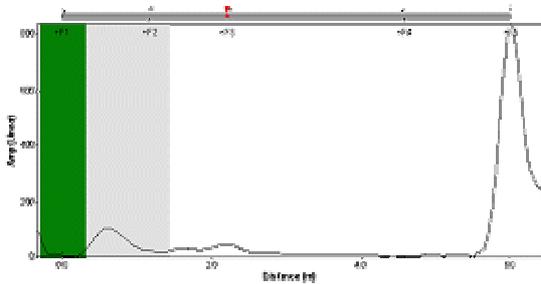


Fig. 3 Experimental result of titanium tube

본 실험에서 티타늄 튜브에 대한 유도초음파 탐상은 배열형 프로브를 적용하였으며, Fig. 3 과 같이 시스템에 구성된 컴퓨터로 튜브의 탐상결과를 확인할 수 있다. 이 결과로부터 튜브의 끝단 신호만 명확하게 검출이 가능하였으며, 실제 결함위치에 해당하는 위치에서 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.

열교환기 튜브에서 결함이 집중적으로 발생하는 영역은 잔류응력과 유체이동이 집중되는 환관부에서 주로 발생되고 있다고 알려져 있다. 또한 튜브 지지대와 곡관부에서도 결함이 발생되는데 이 부위는 기존의 검사방법인 와전류 탐상시험과 IRIS(Internal Rotating Inspect System) 검사를 적용하여 튜브를 평가하기에는 어려움이 있었다. 와전류 탐상시험의 경우, 와전류 신호는 와전류 센서로부터 획득되는 임피던스 변화를 이용하여 결함을 검출하는데 결함신호 뿐만 아니라 재질과 형상에도 민감하게 변화한다. 따라서 튜브 지지대 부위는 튜브와 재질이 다른 부위로 임피던스의 변화가 발생하여 결함신호를 분리하여 검출하는데 많은 어려움이 있었다. 그리고 IRIS 검사법은 상대적으로 정밀한 튜브평가가 가능하다는 장점을 가지고 있지만, 튜브 검사시 튜브 내에 초음파 전달을 위한 작동유체가 필요하며 검사 속도가 매우 느려서 열교환기 튜브를 전수검사 하는데 어려움이 있으며, 이와 같은 이유로 유도초음파의 튜브 지지대에 대한 영향과 지지대 부위에 발생하는 결함의 검출능을 확인할 필요성이 있다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 L-mode 를 이용한 열교환기 튜브의 결함평가에 관한 연구결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 유도초음파 검사시스템에서 발생하는 모드는 시간-주파수 해석법을 적용하여 수치해석결과와 비교 분석한 결과 L(0,1) 모드임이 확인되었다. 유도초음파의 반사 신호에 대한 위치정보는 적용된 주파수에 따라 달라짐을 확인하였다. 이는 L(0,1) 모드는 25~47 kHz 주파수 대역에서 군속도가 변화하는 성질을 가지고 있기 때문이다.
2. Pitting 과 유사한 Drill-hole 결함에 대한 유도초음파 검사시스템의 최적 주파수는 40 kHz 보다 작고 상대적으로 높은 주파수 대역일수록 결함신호를 식별하는데 좋은 S/N 를 가짐을 확인하였다.
3. 최적 주파수대역에 해당하는 39 kHz 로 획득된 신호를 분석한 결과, Pitting 과 유사한 Drill-hole 결함 직경이 3 mm 이상이면 결함신호를 식별할 수 있었다.

참고문헌

- [1] H. G. Kwun, S. Y. Kim and G. M. Light, "Long-Range Guided Wave Inspection of Structures Using the Magnetostrictive Sensor", Journal of the Korean Society for Non-Destructive testing, Vol. 21, No. 4, pp. 383-390, (2001)
- [2] H. Kwun, S. Y. Kim and M. S. Choi, "Reflection of the Fundamental Torsional Wave from a Stepwise Thickness Change in a pipe", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 46, No. 6, pp. 1352-1357, (2005)
- [3] T. Hayashi, " Study on ultrasonic propagation in thin plates and its applications to the non-destructive evaluation", PhD Thesis, Nagoya univ., (2001)
- [4] T. Hayashi and K. Kawashima, K. Suzuki, K. Arai, S. Endoh, " Noncontact Testing for Plastic Plates using Air-coupled Ultrasonic Sensors", J. JSNDI, Vol. 50, No. 2, pp. 108-113, (2001)
- [5] T. Hayashi, K. Kawashima, "Mode Extraction from Multi-modes of Lamb Waves", Review of Progress in Quantitative NDE, Vol. 21, pp. 219-224, (2002)
- [6] T. Hayashi, W. J. Song and J. L. Rose, "Guided wave dispersion curves for a bar with an arbitrary cross-section, a rod and rail example", Ultrasonics, Vol. 41, pp. 175-183, (2003)
- [7] T. Hayashi, C. Tamayama and M. Murase, "Wave structure analysis of guided waves in a bar with an arbitrary cross-section", Ultrasonics, Vol. 44, pp. 17-24, (2006)