

# 유도초음파 모드 시뮬레이션 소프트웨어를 이용한 티타늄튜브 신호평가 Signal Evaluation of Titanium Tube using Mode Simulation Software of Guided Wave

\*#길두승<sup>1</sup>, 안연식<sup>2</sup>, 박상기<sup>3</sup>, 김용권<sup>4</sup>, 박세준<sup>5</sup>

\*#D. S. Gil(kds6801@kepri.re.kr)<sup>1</sup>, Y. S. Ahn<sup>2</sup>, S. G. Park<sup>3</sup>, Y. K. Kim<sup>4</sup>, S. J. Park<sup>5</sup>  
1,2,3 한전 전력연구원, 4,5 서울산업대

Key words : Mode Simulation, Titanium Tube, Signal Evaluation

## 1. 서론

유도초음파는 구조물의 기하학적인 구조를 따라 길이방향으로 전파하는 파로서 종파와 횡파가 구조물의 벽면사이에서 수많이 반사되어 중첩됨으로 형성되어 진다. 이때 유도초음파는 일반적인 체적파와는 매우 다른 특성을 가지게 되는데, 그 대표적인 차이점으로 무한개의 유도초음파 모드가 넓은 진동수 영역에 걸쳐 존재한다는 점과 대부분의 모드는 진동수와 벽면의 두께에 따라 전파속도가 변화하는 특성 즉 분산특성을 갖는다는 것이다. 그래서 유도초음파를 이해하고 피검체에 적용하기 위해서는 각 모드의 분산특성을 찾는 것이 우선적으로 행하여져야 한다. 이때 주어진 진동수 영역 내에 존재하는 유도초음파 모드의 분산특성을 나타낸 곡선을 분산선도라고 하며, 이는 탄성과 이론에 대상구조물의 경계조건이 주어짐으로 구하여 진다. 그리고 실험적으로 유도초음파를 연구하기 위해서는 분산선도상에 있는 모드를 발생하기 위해 현재 많이 사용되는 방법은 초음파의 수직 및 사각입사법과 Comb transducer 법 그리고 자기변형(Magnetostriction)과 전자기초음파탐상(EMAT)법을 이용한 방법들이 있다. 그리고 유도 초음파를 비파괴탐상에 적용하기 위해서는 피검체의 특성과 결함의 종류와 크기 그리고 탐상범위 등을 고려하여 적절한 모드 선택이 이루어져야 하고, 선택된 모드를 효율적으로 발생시킬 수 있는 방법을 찾아야 한다.

신호파형에 대한 소프트웨어를 이용하여 파이프, 튜브와 같은 구조물의 유도초음파 전파를 수치적으로 계산하고 가시화 소프트웨어를 이용함으로써 튜브내의 유도초음파 전파 수치 계산 결과를 쉽게 가시화할 수 있고, 그 결과를 애니메이션을 통하여 쉽게 얻고자 하였다.

## 2. 유도초음파 전파거동 해석

무한한 배관에서 유도초음파가 전파한다고 가정하고, 경계면이 자유로운 경우 경계 조건을 식 (1)로 정의할 수 있으며, 본 실험에서 사용된 튜브에 대한 이론적인 분산선도를 식 (2)의 주파수 방정식으로부터 구할 수 있다.

$$\sigma_{rr} = \sigma_{rz} = \sigma_{r\theta} = 0 \quad (r=a, r=b) \quad (1)$$

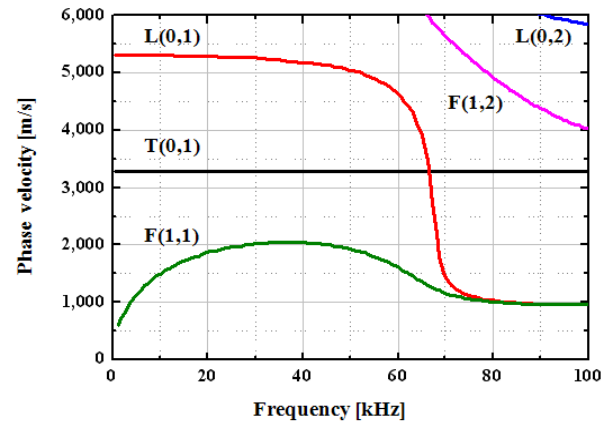
$$|C_{ij}| = 0 \quad (i, j=1, 2, \dots, 6) \quad (2)$$

이 행렬식은 주파수식이라고도 부르며 이 식이 해를 가지기 위해선 판별식이 0이 되어야 하며, 얻어진 해는 유도초음파의 위상속도 값을 가지게 된다. 주파수식으로 불리여지는 식(2)로부터 위상속도 분산선도를 구할 수 있다.

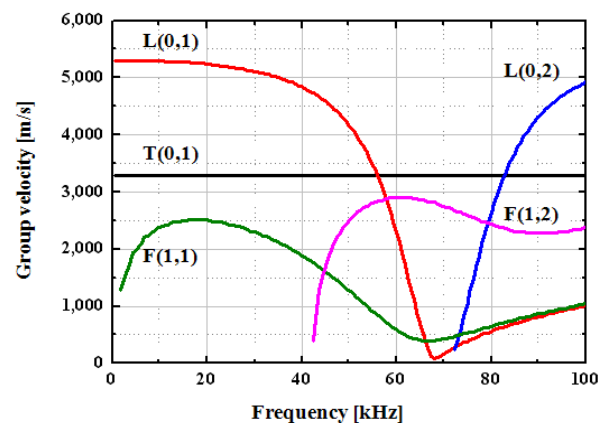
Fig.1은 본 실험에서 사용된 티타늄튜브에 대한 이론적인 분산선도를 나타낸 것이며, 식 (2)의 주파수 방정식으로부터 구할 수 있다. 이를 위해 사용된 튜브 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1 Material properties of the tubes

Materials	Longitudinal velocity (m/s)	Shear velocity (m/s)	Density (kg/m <sup>3</sup> )
Super stain-less steel	5,816	3,027	8,100
Titanium	6,228	3,287	4,500



(a) Phase velocity



(b) Group velocity

Fig. 1 Dispersion curves of guided waves for a titanium tube

## 3. 시뮬레이션 실험

시뮬레이션 소프트웨어는 파이프와 튜브와 같은 구조물의 유도초음파 전파를 수치적으로 계산하고 가시화한 데이터를 출력하는 소프트웨어이며, 이를 통해 유도초음파 전파 수치 계산 결과를 쉽게 가시화할 수 있고, 그 애니메이션을 쉽게 얻을 수 있다. 입사 부하점의 원주 방향 범위와 입사 방향, 가시화 영역에 대해서는 윈도우 아래쪽의 확인 화면에서 확인할

수 있으며, 응력 부하 영역은 적색, 부하 방향은 화살표, 분할 개수는 단면도내의 흑선, 가시화 영역은 청색으로 표시된다. Fig. 2는 티타늄튜브에 대하여 선택된 파라미터를 보여주는 그림이다.

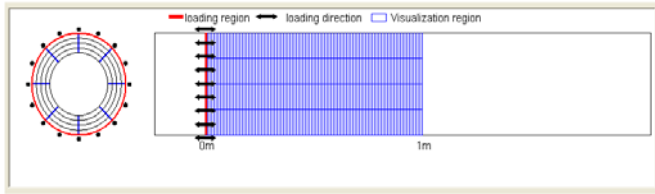


Fig. 2 Confirmation screen showing selected parameters

#### 4. 시뮬레이션 결과

본 연구에 사용된 주 복수기 튜브 시험편에서 유도초음파 전파를 시뮬레이션하기 위해 필요한 pipe 파라미터는 티타늄튜브로 외경은 25.4 mm, 두께는 0.71 mm, 종파속도는 6,170 m/s, 횡파속도는 3,300m/s 이다. 내삽형 프로브는 튜브 안쪽으로 삽입되고 내면에 밀착되어 튜브의 진행방향으로 탐촉자가 가진되어 유도초음파를 발생시킨다. 또한 유도초음파 검사시스템에서 결함평가에 적용되는 유도초음파의 주파수 범위는 25~45kHz 이고 본 실험에서 사용된 유도초음파의 주파수는 33kHz이므로 Fig. 3과 같이 중심 주파수를 설정하였다.

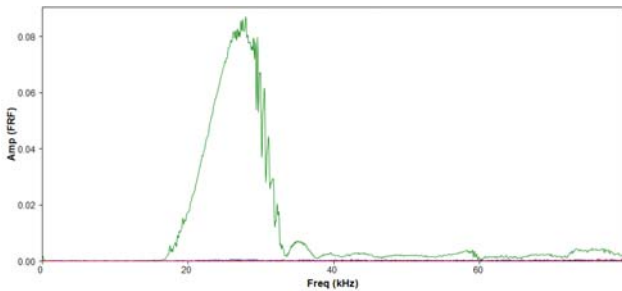


Fig. 3 Frequency spectrum of calibration date using system

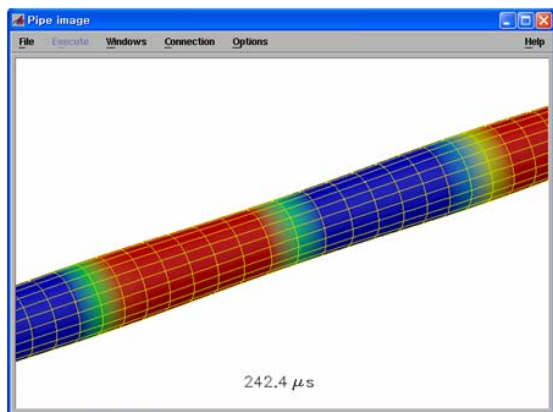


Fig. 4 Simulation result of a titanium tube

Fig. 4는 티타늄 튜브의 Pipe 이미지를 나타내고 있으며, 티타늄 튜브에서 전파되고 있는 유도초음파를 시뮬레이션을 통하여 나타낸 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 튜브 표면의 색상으로부터 적색과 청색은 표면에서의 변위 방향에 대한 변위의 크기를 표현하고 있으며 적색은 크고 청색은 그 크기가 작음을 나타낸다.

#### 5. 결론

본 논문은 유도초음파를 이용하여 티타늄튜브 재질의 열교환기를 검사하는데 있어서 시뮬레이션 소프트웨어를 활용하여 튜브의 내,외면에서 각각 전파의 거동들이 어떻게 변하는지를 알아보기 위한 연구를 수행한 것이며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 티타늄 튜브에서 전파되고 있는 유도초음파를 시뮬레이션한 결과 튜브 표면의 색상에 있어 적색과 청색은 표면에서의 변위 방향에 대한 변위의 크기로서 나타내었으며, 적색은 크고 청색은 그 크기가 작음을 나타내었고 수직결함에서 결함의 깊이가 깊을수록 신호의 크기가 커짐을 확인할 수 있었다.
- 2) 임의의 위치에서 유도초음파의 시뮬레이션 과정을 통해 확인한 결과 튜브면의 어느 한 점에서 확인하고자 하는 위치를 선택함으로써 과정의 확인이 가능함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 김영환, 송성진, 박준수, 김재희, 엄홍섭, “배열 탐촉자를 사용한 유도초음파의 모드선정 기법”, 비파괴검사학회지, Vol. 25, No.1, pp. 20-26, 2005.
2. 김영환, 송성진, 박준수, 전진홍, 김재희, 엄홍섭, “배열 탐촉자를 사용한 유도초음파의 모드선정”, 한국비파괴검사학회 추계학술 대회, pp. 59-65, 2004.
3. 엄홍섭, 김재희, 송성진, 김영환, “원전 기기 건전성의 온라인 검사를 위한 유도초음파의 실험적 연구”, 비파괴검사학회지, Vol. 24, No. 4, pp. 331-340, 2004.
4. 박익근, 김용권, 조윤호, 안연식, 조용상, “Comb Transducer를 이용한 파이프 내 유도초음파 모드의 거동에 관한 연구”, 비파괴검사학회지, 제 24권, 제 2호, pp. 142-150, 2004.
5. 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.
6. S. Pelts, J. L. Rose and Y. Cho, "A Comb Transducer for Guided Wave Mode Control", Review of Progress in Quantitative NDE, Vol. 18, pp. 1029-1036, 1998.
7. S. P. Pelts, D. Jiao, and J. L. Rose, "A Comb Transducer for Guided Wave Generation and Mode Selection", IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 857-860, 1996.
8. J. L. Rose and D. Jiao, "Ultrasonic Guided wave NDE for Piping", Materials Evaluation, Vol. 51, No. 5, pp. 1310-1313, 1996.
9. J. L. Rose and K. M. Rajana and F. T. Carr, "Ultrasonic Guided Wave Inspection Concept for Steam Generator Tubing", Materials Evaluation, Vol. 49, pp. 307-311, 1994.
10. 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.