

# Guided wave에 의한 Al-Brass 튜브 모드분석 Mode Analysis of Al-Brass Tube by Guided Wave

\*길두승<sup>1</sup>, 안연식<sup>1</sup>, 박상기<sup>1</sup>, 김용권<sup>2</sup>, 김학균<sup>2</sup>

\*D. S. Gil(kds6801@kepri.re.kr)<sup>1</sup>, Y. S. Ahn<sup>1</sup>, S. K. Park<sup>1</sup>, Y. K. Kim<sup>2</sup>, H. K. Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 전력연구원, <sup>2</sup> 서울산업대

Key words : Guided wave, Al -Brass tube, Mode analysis

## 1. 서 론

현재 적용되고 있는 초음파 비파괴탐상 기법들은 대부분 센서가 위치한 부분의 국부적인 탐상(point-by-point inspection)에 중점을 두고 있다. 그래서 광범위한 비파괴 탐상을 하기 위해서는 스캐너나 로봇을 이용하여 센서를 검사하고자 하는 부위로 이동시켜야만 한다. 그러나 유도초음파(Guided wave)를 이용한 비파괴탐상기법은 박판이나 관의 경우 센서가 위치한 곳에서부터 수 미터 혹은 수십 미터까지 검사하는 광범위탐상을 위해 사용되어질 수 있다.

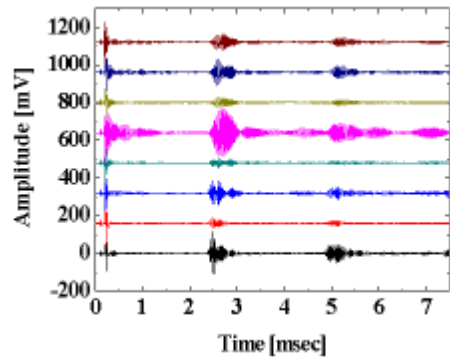
유도초음파기술은 기존의 국부적인 탐상법에 비교하여 정밀도는 떨어지는 것으로 알려져 있으나 광범위 비파괴탐상을 효율적으로 수행할 수 있다는 점에서 여러 분야에 적용될 수 있는데, 특히 가스배관, 열교환기세관, 그리고 박판으로 이루어진 여러 가지 구조물의 비파괴탐상에 유용하다. 또한 사고의 위험도가 높은 관 또는 박판임에도 불구하고 피복이나 지하매설 등으로 인해 피검체에 접근이 어려워 비파괴탐상 자체가 불가능한 경우와 국부적인 비파괴탐상이 가능한 경우에도 시간의 제약과 경비의 절감 때문에 보다 효과적인 검사방법이 요구되는 경우에 유도초음파 기술은 매우 유용하게 사용되어 질 수가 있다.

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 하면 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 모드선택이 이루어져야 하고, 선택된 모드를 효율적으로 발생시킬 수 있는 방법을 찾아야 한다. 그렇게 되면 선택되어 발생된 유도초음파모드의 전파경로에 있는 결함으로부터 반사된 신호를 분석함으로써 그 위치를 파악할 수 있게 되는데 탐상할 수 있는 결함의 크기와 종류 그리고 거리는 모드선택과정에서 고려된 모드의 전파특성과 결함에 대한 민감도에 의해 결정되어진다. 이와 같이 이론과 실험적인 방법이 주어져있음에도 불구하고 유도초음파의 적용에 어려움이 있는데 이는 주로 분산성이 있는 여러 개의 모드가 동시에 수신될 때 신호해석과 모드확인 어려움 때문에 기인된다.

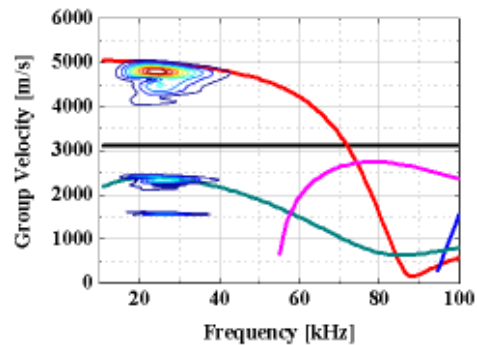
## 2. 웨이블릿 변환에 의한 신호분석

웨이브릿 이론은 다양한 신호처리 응용분야에서 독자적으로 개발되어온 많은 신호처리 기법을 통합하여 하나의 작업공간을 제공하는 강력한 이론이다. 영상인식분야의 다해상도 신호처리, 음성과 영상신호 압축에 이용되는 서브밴드 코딩, 그리고 응용수학에서 이용되는 웨이블릿 이론의 한 분야로 볼 수 있다. 웨이블릿 변환은 주어진 시간함수를 실수의 2차 평면  $L^2(R)$  공간에서 직교기저함수(orthogonal basis function)들의 집합을 형성하고 있는 웨이블릿 평면으로 투사하여 서로 다른 분해능을 갖고 해석할 수 있는 변환이다. 웨이블릿 변환은 비정적신호의 분석에 유리하며 STFT의 대응으로 이용된다. 기존의 STFT는 하나의 분석 윈도우를 이용하지만 웨이블릿 변환은 고주파 신호에는 짧은 윈도우, 저주파 신호에는 긴 윈도우를 이용하므로 융통성 있게 신호를 분석할 수 있다. 웨이블릿 이론의 이러한 특성을 줌인/아웃(zoom-in/out) 특성이라 하고 불연속 신호의 분석에 유리하다.

Fig. 1은 웨이블릿 변환에 의한 유도초음파 검사시스템에서 얻어진 신호를 분석한 결과를 나타낸다.



(a) RF-signal of guided wave



(b) Wavelet transform

Fig. 1 The example of time-frequency map by Wavelet transform

### 3. 모드분석 실험



(a) Test of guided wave



(b) Artificial crack

Fig. 2 Mode analysis of Al-Brass tube using Guided wave

Fig. 2의 (a)는 Al-Brass 튜브의 모드분석 실험을 위하여 탐촉자를 설치한 모습을 나타낸 그림이며, (b)는 파형변화에 대한 추이를 알아보기 위하여 튜브의 중간에 인공결함을 삽입한 것으로서 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3(a)와 (b)는 각각 인공결함을 삽입 전,후의 시험결과이다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 인공결함 삽입 전,후에 있어서 파형상의 다른점을 발견할 수 있으며, 이는 튜브의 중간마다 일정한 간격을 두고 설치된 지지대(support plate)의 영향과 인공결함 신호와의 복합적인 작용에 기인한 것으로 볼 수가 있다.

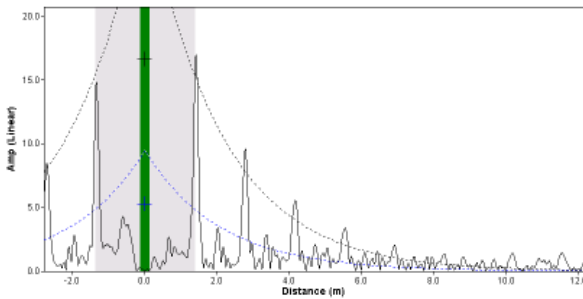
### 4. 결 론

Guided wave에 의한 Al-Brass 튜브의 모드분석을 위한 실험 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

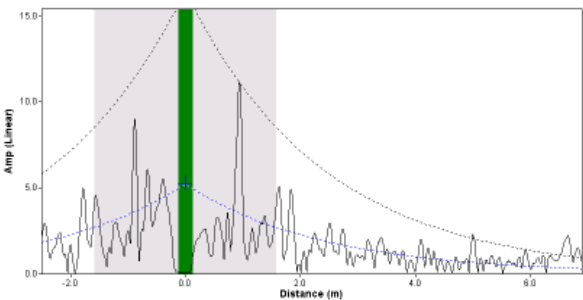
1. 유도초음파 검사시스템에서 발생되는 모드는 시간주파수 해석법을 적용하여 수치해석결과와 비교 분석한 결과 L(0,1) 모드임이 확인되었다.
2. 유도초음파의 반사신호에 대한 위치정보는 적용된 주파수에 따라 달라짐을 확인하였다. 이는 L(0,1) 모드는 25 kHz ~ 47 kHz 주파수 대역에서 군속도가 변화하는 성질을 가지고 있기 때문이다. 따라서, 위치정보에 대한 오차가 적은 주파수 대역을 선정할 필요가 있으며 실험적으로 검증한 결과 주파수 대역이 40 kHz 이상에서 위치정보의 오차가 증대되었다.
3. Pitting과 유사한 drill hole 결함에 대한 유도초음파 검사시스템의 최적 주파수는 40 kHz 보다 작고 상대적으로 높은 주파수 대역일수록 결함신호를 식별하는데 좋은 S/N를 가짐을 확인하였다.

### 참고문헌

1. 안연식, 박상기,길두승,박익근,김용권,“발전설비 유도초음파 비파괴 진단기술 개발(최종보고서)”, 37-41, 2006.
2. 길두승,안연식,박상기,박익근,김용권,“열교환기튜브 Guided wave 적용기술 개발(중간보고서)”, 39-60, 2008.



(a) Test result before artificial crack



(b) Test result after artificial crack

Fig. 3 Test result of Al-Brass tube using Guided wave