

# 원주방향 전단파의 멀티모드를 이용한 배관의 사각노치 결함의 정량화 Sizing of Axial Crack Using Multi Modes of Circumferential Shear Wave

김기연† · 권영의\* · 김윤영\*

Kiyeon Kim, Young Eui Kwon and Yoon Young Kim

## 1. 서 론

유도초음파는 비파괴검사 분야에서 큰 부분을 차지하고 있으며, 이를 이용하여 다양한 결함의 진단에 대한 많은 연구가 발표된 바 있다. 특히, 배관에서 사각 결함의 크기에 따른 램파 또는 비틀림파의 반사계수의 변화에 대한 해석적, 실험적 연구가 많이 보고된 바 있다<sup>(1)</sup>. 이러한 연구와 같이 축방향으로 전파되는 모드(램파, 비틀림파)를 이용하면 배관의 전 구간에서 빠르게 결함에 대한 정보를 알아내는 데 장점이 있는 반면에, 축방향 결함은 검출이 어려운 단점이 있다. 또한, 이러한 검사 기술로는 대구경의 배관에서 원주돌레 상의 결함 위치를 검출하기 어렵다.

축방향 결함에 대해 대구경의 배관에서 원주방향 전단파(Circumferential shear-horizontal wave)를 이용하여 결함을 진단한 연구가 보고된 바 있다<sup>(2)</sup>. 이러한 종류의 진단 기법은 축 방향으로의 검사 영역이 한정되어 있으나, 원주 돌레 상의 위치와 크기를 측정할 수 있는 장점을 가진다. 그러나 이러한 연구에서는 반사된 유도 초음파의 단일 모드만을 이용하기 때문에 한 번의 실험으로부터 얻을 수 있는 정보가 한정되어 있기 때문에, 다수의 실험 끝에 결함의 한두 가지 정보밖에 얻지 못하는 단점이 있다.

본 연구에서는 한 번의 실험에서 여러 가지 정보를 획득할 수 있도록 원주방향 전단파의 복수의 모드를 이용하였다. 원주방향 전단파의 1 차모드 입사에 대한 1 차모드와 2 차모드의 의 반사 계수를 측

정하였고, 결과적으로 각 모드들의 반사 계수가 결함의 깊이와 중심각과 관련이 있음을 확인하였다.

## 2. 유한요소 해석

### 2.1 유한요소 해석 모델

본 연구에서는 Fig. 1 (a)에 도시된 해석 모델에 대하여 유한 요소 해석 프로그램인 COMSOL Multiphysics를 이용하여 2차원 시간 과도 해석을 수행한다. 외경 1000mm, 두께 13t인 알루미늄 재질의 배관의 바깥 표면의 결함에 대해 중심주파수 200 kHz의 가보 펄스를 입사한다.

#### (1) 원주방향 전단파 1차모드 선별 가진

원주방향 전단파의 첫 번째 임계 주파수와 두 번째 임계 주파수 사이의 주파수로 가진하기 때문에, 1차모드와 2차모드가 함께 가진된다. 1차모드를 선별적으로 가진하고, 반대 방향으로의 파동의 전파를 억제하기 위하여 Fig. 1 (c)에 도시된 것과 같이 트랜스미터 4개의 위상배열을 이용한다. 두 번째 트랜스미터를 기준으로 특정 간격( $S_{T1}=3.96$  mm,  $S_{T2}=31.14$  mm,  $S_{T3}=35.1$  mm)과 특정 시간 지연( $t_{d1}=1.25$   $\mu$  s,  $t_{d2}=15.1$   $\mu$  s,  $t_{d3}=13.84$   $\mu$  s)을 두고 가진한다.

#### (2) 결함의 형상

Fig. 1(b)에 도시한 것과 같이 결함은 깊이와 중심각으로 나타낼 수 있는 사각 결함의 형상이다. 본 연구에서는 1개의 각도( $0.2^\circ$ )에서 12개의 깊이(1~12 mm, 1 mm 간격)인 경우와 1개의 깊이(4 mm)에서 11개의 중심각( $0.2^\circ \sim 2.2^\circ$ ,  $0.2^\circ$  간격)인 경우에 대하여 해석한다.

### 2.2 결함의 형상에 따른 반사 계수

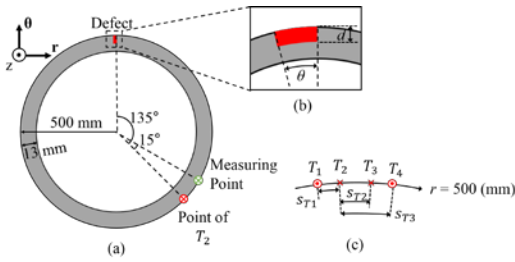
결함의 형상마다 반사된 신호로부터 분산보상기법<sup>(3)</sup>을 이용하여 입사파에 대비한 진폭의 크기로 각

† 교신저자; 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : nolga990@snu.ac.kr

Tel : (02)880-1689, Fax : (02)872-5431

\* 서울대학교 기계항공공학부



**Fig. 1 Schematics of (a) analyzed model, (b) rectangular defect and (c) transmitter settings for 1st mode excitation.**

모드의 반사 계수를 측정하였다.

결함의 깊이에 따른 반사계수를 Fig. 2 (a)에 도시하였다. 결함의 깊이가 깊어짐에 따라 1차모드의 반사계수는 단조증가하고, 2차모드의 반사계수는 증가하다가 감소하는 경향을 보임을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 결함의 깊이가 작을 때는 깊이가 커질수록 각 모드의 반사 계수는 증가하지만, 결함이 안쪽 면을 향하여 계속 깊어지면 자유단 반사와 같은 현상에 접근하므로 입사파인 1차모드 이외의 파의 반사가 적어짐으로 해석될 수 있다.

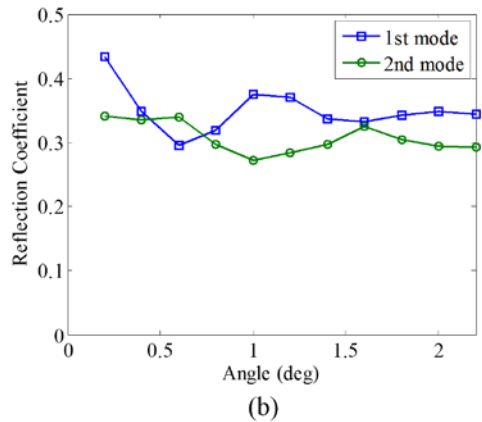
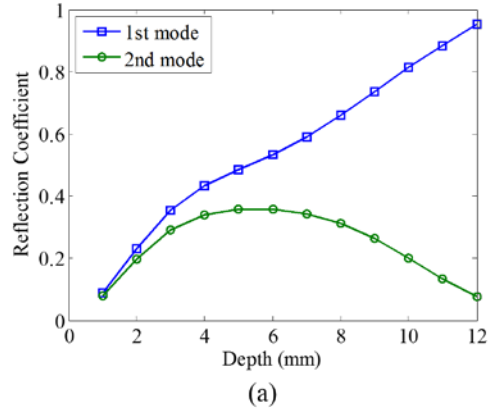
결함의 중심각에 따른 반사계수를 Fig. 2 (b)에 도시하였다. 결함의 중심각이 커짐에 따라 각 모드들의 반사계수는 진동을 반복함을 확인할 수 있다. 결함의 첫 번째 면에서 반사된 파동은 결함 내부에서 여러 번 반사를 거듭한 파동과 간섭이 된다. 따라서 결함 내부에서의 파동의 이동거리, 즉 중심각에 따라 보강간섭과 상쇄간섭을 반복하기 때문에 이러한 경향이 나타난다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 배관의 축방향 사각 결함을 진단하기 위하여 원주방향 전단파의 1차모드를 선별적으로 가진하고 결함으로부터 반사되는 원주방향 전단파의 1, 2차 모드의 크기를 측정하여 결함의 깊이와 중심각에 따른 반사계수의 변화를 확인하였다.

### 후 기

본 연구는 한국연구재단의 중점연구지원사업(과제번호: 2013-055323)과 미래창조과학부 첨단 비파괴 검사기술 사업(과제번호: 2013-043465)의 지원을 받은 것으로 이에 감사드립니다.



**Fig. 2 Reflection coefficients of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> mode with (a) fixed defect angle (0.2°) and varying depth, (b) varying angle and fixed depth (4mm).**

### 참 고 문 헌

- (1) A. Demma, P. Cawley, and M. Lowe, 2003, The reflection of the fundamental torsional mode from cracks and notches in pipes, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 114, No. 2, pp. 611–625.
- (2) W. Luo, J. L. Rose, and H. Kwun, 2004, Circumferential Shear Horizontal Wave Axial-Crack Sizing in Pipes, Research in Nondestructive Evaluation, Vol. 15, pp.149–171.
- (3) P. D. Wilcox, 2003, A Rapid Signal Processing Technique To Remove the Effect of Dispersion from Guided Wave Signals, IEEE TUFFC, Vol. 50, No. 4, pp. 419–426