

# 배관에서의 비틀림과의 고차 모드 억제를 위한 위상 배열 자기변형 초음파 트랜스듀서 개발

## Development of the Phased Magnetostrictive Transducer Array for the Higher Torsional Mode Suppression in a Pipe

이주경† · 권영의\* · 김희웅\* · 김윤영\*

Joo Kyung Lee, Young Eui Kwon, Hoe Woong Kim and Yoon Young Kim

### 1. 서 론

비틀림파는 1차 모드의 비분산 특성으로 배관의 건전성 평가에 매우 유용한 유도초음파 모드이다<sup>(1)</sup>. 비틀림파의 1차 모드를 이용한 원거리 탐상 시, 가장 문제가 되는 것은 2차 모드의 발생이다. 즉, 해상도를 증가시키기 위해 주파수를 높이면, 1차 모드 뿐만 아니라 2차 모드가 함께 발생되어, 신호 분석 및 결함 탐지가 어려워진다. 원하는 모드만을 선택적으로 발생 및 측정하기 위하여 기존에 빗형(Comb) 트랜스듀서나 미앤더(Meander) 트랜스듀서가 이용되어 왔지만<sup>(1, 2)</sup>, 그 크기가 다소 줄어들었을 뿐, 여전히 다른 모드가 측정되는 단점이 있었다. 본 연구에서는 비틀림파의 1차 모드를 향상시키고 동시에 2차 모드를 효과적으로 억제할 수 있는 위상 배열 자기변형 트랜스듀서를 개발하였고, 실험을 통해 그 성능을 검증하였다.

### 2. 트랜스듀서 개발

#### 2.1 고차 모드 억제를 위한 트랜스듀서

비틀림파의 고차 모드를 억제하기 위한 위상 배열 자기변형 트랜스듀서의 구성이 Fig. 1에 나타나 있다. 개발된 트랜스듀서는 두 개의 미앤더 코일을 사용한 자기변형 트랜스듀서 배열과 시간 지연이 가능한 다채널 함수 발생기 및 파워 앰프로 구성되어 있다.

먼저, 목적 주파수(target frequency)에서의 1차

모드 비틀림파의 반 파장과 같은 선 간격의 미앤더 코일을 사용함으로써, 1차 모드를 선택적으로 향상시킨다. 앞서 언급한 것과 같이, 2차 모드가 크기는 줄어들었지만 여전히 측정되기 때문에, 각 트랜스듀서에서 발생하는 비틀림파의 시간과 위상을 조절하여 2차 모드를 억제시키고 동시에 1차 모드를 더욱 향상시킬 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 두 트랜스듀서의 가진 신호에 시간 지연을 주기 위해, 20 나노 초 단위의 시간 제어가 가능한 FPGA (Field Programmable Gate Array) 모듈로 다채널 함수 발생기를 구현하였다. 가진 주파수는 높은 해상도를 가지면서도 원거리 탐상이 가능하도록 200 kHz로 설정하였다. FPGA에서 시각  $t_1$ 과  $t_2$ 에 발생한 두 신호는 각각 파워 앰프를 거쳐 증폭되어 거리가  $d_r$ 만큼 떨어진 두 트랜스듀서에 전달된다. 2차 모드를 억제하려면, 1번 트랜스듀서에서 발생한 2차 모드의 신호 형상이 처음 발생 시와 동일한 형태로 2번 트랜스듀서에 도달하는 시점에, 2번 트랜스듀서에서 같은 신호를 반대 위상으로 발생시켜야 한다. 이 때의 시간 간격( $t_0$ )은 다음의 식으로 표현된다.

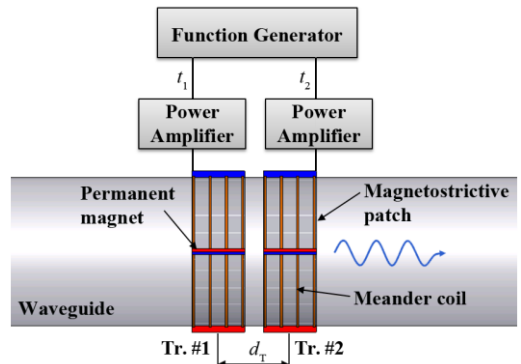
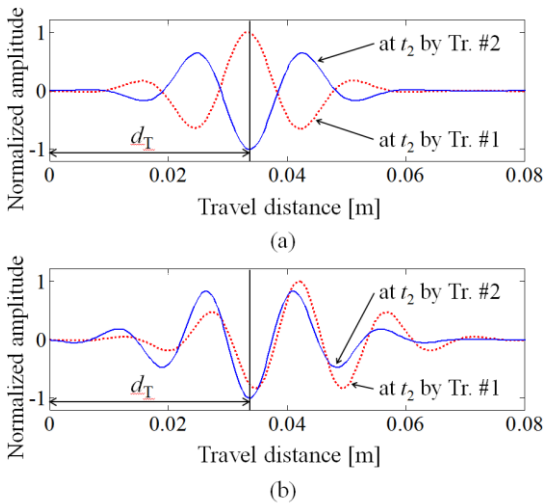


Fig. 1 Configuration of the developed transducer.

† 교신저자; 서울대학교 기계항공공학부  
E-mail : jklee@idealab.snu.ac.kr  
Tel : (02) 880-1689, Fax : (02) 872-5431  
\* 서울대학교 기계항공공학부



**Fig. 2** Simulated signals of (a) the 2<sup>nd</sup> torsional mode and (b) the 1<sup>st</sup> torsional mode at 200 kHz by the developed transducer.

$$t_0 = \frac{\lambda_2}{c_{p2} - c_{g2}} \quad (1)$$

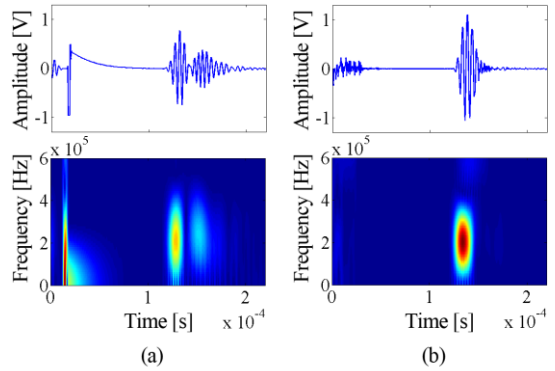
여기서  $\lambda$ 는 파장,  $c_p$ 는 위상속도,  $c_g$ 는 군속도를 나타내고, 하첨자 2는 비틀림파의 2차 모드를 나타낸다. 그리고 두 트랜스듀서 사이의 간격( $d_T$ )은 식 (1)로부터 다음과 같이 계산된다.

$$d_T = t_0 \times c_{g2} \quad (2)$$

시각  $t_1$ 에 발생되어 전파된 1차 모드와 2차 모드 및  $t_2$ 에 발생된 1차 모드와 2차 모드를 계산하여 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)를 보면, 시각  $t_1$ 에 1번 트랜스듀서에서 발생되어  $d_T$ 만큼 이동한 2차 모드와 시각  $t_2$ 에 2번 트랜스듀서에서 반대 위상으로 발생된 2차 모드가 정확히 상쇄됨을 볼 수 있다. 반면, Fig. 2(b)로부터 1차 모드는 거의 같은 위상으로 보강되는 것을 확인할 수 있다.

## 2.2 실험 및 결과

개발된 트랜스듀서의 성능을 검증하기 위해, 외경 70.3 mm, 두께 13.3 mm인 알루미늄 배관에서 비틀림파 측정 실험을 수행하였다. 먼저, 미앤더 코일만을 이용하여 주파수 200 kHz의 비틀림파를 발생시켜 400mm 떨어진 지점에서 측정하였고, 개발된 트랜스듀서를 이용하여 같은 실험을 반복하였다. 그



**Fig. 3** Measured signals and spectrograms by (a) the meander type magnetostrictive transducer and by (b) the developed transducer at 200 kHz in a test pipe.

결과를 Fig. 3에 나타내었다. 미앤더 코일만을 이용한 경우 2차 모드가 뚜렷하게 나타나지만, 개발된 트랜스듀서를 이용한 경우에는 2차 모드가 억제되어 거의 나타나지 않음을 확인할 수 있다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 비틀림파를 이용한 배관의 초음파 탐상 시에 1차 모드를 향상시키고 2차 모드는 억제하는 위상 배열 자기변형 트랜스듀서를 개발하였고, 실험을 통하여 그 성능을 검증하였다. 개발된 트랜스듀서를 이용하여, 고차 모드에 의해 검출이 어려웠던 작은 결함이나 인접한 결함들의 효율적인 검사가 가능할 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부 창의적 연구 진흥 사업 (과제번호: 2010-0019241)과 WCU (과제번호: R31-2009-000-10083-0)의 지원을 받은 것으로 이에 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Cho, S. H., Kim, H. W. and Kim, Y. Y., 2010, Megahertz-Range Guided Pure Torsional Wave Transduction and Experiments Using a Magnetostrictive Transducer, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, Vol. 57, No. 5, pp. 1225-1229.
- (2) Rose, J. L., Pelts, S. P. and Quarry, M. J., 1998, A Comb Transducer Model for Guided Wave NDE, Ultrasonics, Vol. 36, pp. 163-169.