

# 자기변형 트랜스듀서를 이용한 회전축에서의 비틀림파 발생 및 측정

## Generation and Measurement of Torsional Waves in a Rotating Shaft

### by a Magnetostrictive Transducer

박찬일† · 조승현\* · 한순우\*\* · 김윤영\*\*\*

Chan Il Park, Seung Hyun Cho, Soon Woo Han, and Yoon Young Kim

### 1. 서론

회전축의 결함 유무 판단은 매우 중요한 일이나 실제 운전 중인 경우 기존의 방식으로는 결함 검출이 용이하지 않다.<sup>(1,2)</sup> 하지만, 운전 중인 축의 결함 검출에 비접촉 초음파 탐상 방식을 적용하면 운전을 멈추지 않고서도 결함 검사를 수행할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 자기장과 기계적 변형 사이의 연성 효과인 자기변형 현상을 이용하여 회전축에서 비접촉으로 비틀림 초음파를 발생시키고 측정할 수 있는 트랜스듀서<sup>(3)</sup>를 살펴보고자 한다. 비틀림파는 분산 없이 전파되는 장점이 있기 때문에 결함 진단에 매우 유리한 파동모드이다. 본 연구팀이 개발한 트랜스듀서는 Kim 등<sup>(4)</sup>이 제안한 방식을 개선한 것으로, 회전 중인 축에서도 종파, 굽힘파 등의 다른 초음파 모드를 배제한 채 비틀림파만을 발생시킬 수 있으며 실측에서도 전파 가능한 큰 크기의 비틀림파를 효율적으로 발생시킬 수 있다는 장점이 있다.

### 2. 회전축에서의 비틀림파 발생 및 측정

#### 2.1 자기변형 패치 트랜스듀서

Kim 등<sup>(4)</sup>은 자기변형 패치를 비자성 배관의 원주 방향을 따라 일정 각도로 경사지게 부착한 후 솔레노이드를 이용하여 비틀림파를 발생시켰으며, 반대의 현상을 이용하여 배관에 전파된 비틀림파를 측정하였다.

본 연구팀이 개발한 트랜스듀서의 구조는 Fig. 1에 제시되어 있다. 자기변형 패치를 축 방향에 대해 경사지게 하되 그것을 다중 배열함으로써 비틀림파를

효과적으로 발생시키도록 하였다. 시편에 부착된 패치의 간격을  $d$ 로 한 후(Fig. 1 참조) 각각의 패치에 동일한 신호를 동시에 입력하면  $d$ 에 상응하는 파장  $\lambda$ 를 갖는 초음파를 효과적으로 발생시킬 수 있다.<sup>(5)</sup> 또한, 발생된 초음파의 파장  $\lambda$ 와 주파수  $f$ 는 식 (1)과 같은 관계가 있으므로 주파수를 적절하게 선택하면 원하는 초음파 모드만을 선택적으로 발생시킬 수 있다.

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (c : \text{torsional wave speed}) \quad (1)$$

이와 같이 개발된 트랜스듀서는 패치의 다중 배열을 통해 다른 모드를 배제한 채 비틀림파만을 선택적으로 발생시킬 수 있으며, 비틀림 강성이 큰 축에서도 비틀림파를 효율적으로 발생시킬 수 있다.

#### 2.2 실험장치 및 제안된 방식의 검증

개발된 트랜스듀서로 실험을 수행하기 위해 길이 1000 mm, 외경 15 mm의 강축에 다중 배열 패치를 부착하였다. 축의 양단을 레이디얼 볼 베어링으로 지지였으며, 이 축을 1800 rpm으로 정속 회전하는 전기 모터에 연결한 상태에서 실험을 수행하였다. 축의 중앙부에 경사 패치<sup>(6)</sup>를 22.5 mm의 등간격으로 3열 부착하였다. 그 다음 경사 패치가 배열되어 있는 곳에 솔레노이드를 설치하여 동자기장 및 정자기장을 가해주었다.

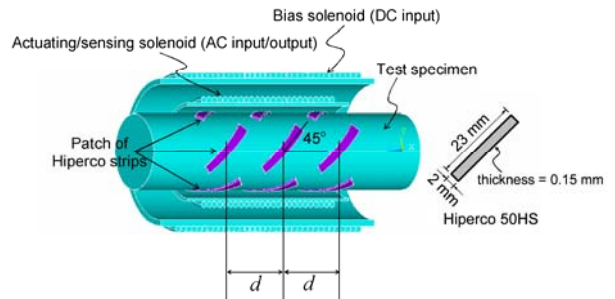


Fig. 1 Schematic diagram of the patch array for the developed method.

† 서울대학교 정밀기계설계공동연구소  
E-mail : 21cforce@idealab.snu.ac.kr  
Tel : (02) 880-7130, Fax : (02) 872-5431

\* 한국표준과학연구원 안전계측연구단

\*\* 한국철도기술연구원

\*\*\* 서울대학교 기계항공공학부

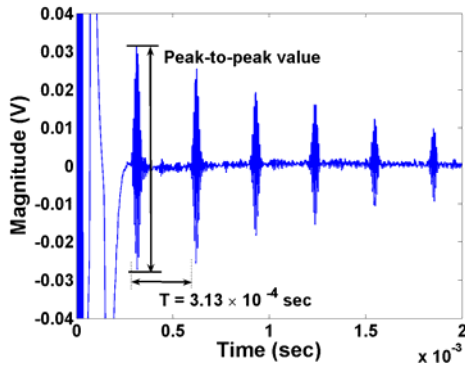


Fig. 2 Torsional waves measured by the suggested method in a rotating shaft.

축에서 발생되고 측정된 신호는 Fig. 2 와 같다. 슬레노이드가 축의 중간에 위치하므로 초음파가 한번 측정되고 다음 측정될 때까지는 총 1 m를 진행한다. 실제 측정된 피크 간의 시간 간격(Fig. 2 의  $T$ )은  $3.13 \times 10^{-4}$  (sec)로 이론치인  $3.18 \times 10^{-4}$  (sec)과 거의 동일하고 각 피크마다의 시간 간격이 일정하므로 Fig. 2 에 나타낸 초음파 신호는 비틀림파임을 확인할 수 있다.

### 3. 비틀림파를 이용한 회전축의 결함 검출

개발된 트랜스듀서의 유용성을 검증하기 위해 회전 중인 축에서 결함 검출을 시도하였다. Fig. 3 은 원주 방향으로의 인공 결함이 있는 축을 보여주고 있으며, 이 결함은 회전축의 끝 단으로부터 250 mm 떨어진 곳에 위치하였다.

회전축에 설치된 트랜스듀서로부터 측정된 신호는 Fig. 4 와 같다. Fig. 4 를 보면 끝 단에서 반사되어 돌아온 신호들 사이에 작은 신호들이 나타난다. 이것이 바로 결함에 의해 반사된 신호이다. 이 신호와 끝 단에서 반사되어 돌아온 신호 사이의 시간( $T_c$ )과 비틀림파의 속도( $c$ )를 이용하면 결함과 축의 끝 단까지의 거리를 추정할 수 있다.

추정된 결함까지의 거리는 255 mm 로 실제 결함까지의 거리인 250 mm 에 비해 오차가 약 2% 정도이다. 이 실험을 통해 개발된 자기변형 패치 배열 트랜스듀서로 회전 중인 축에서 결함을 성공적으로 검출할 수 있음을 확인할 수 있었다.

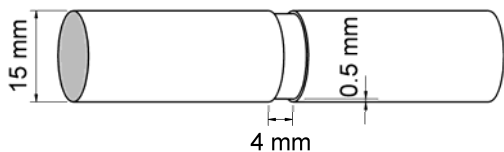


Fig. 3 Circumferential crack in a rotating shaft.

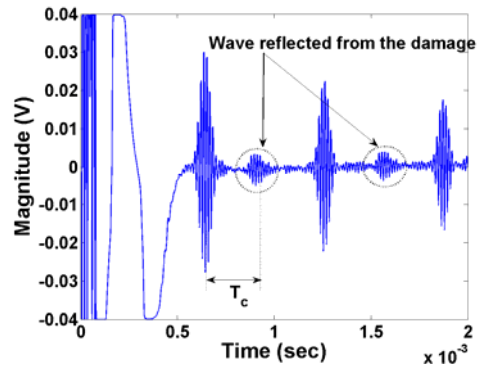


Fig. 4 Torsional waves measured by the suggested method in a damaged rotating shaft.

## 4. 결론

본 논문에서는 회전 중인 축에서 비틀림파를 발생시키고 측정할 수 있는 비접촉식 자기변형 트랜스듀서를 소개하였다. 개발된 트랜스듀서는 다중 배열 패치를 사용했기 때문에 실측과 같이 비틀림 강성이 높은 부재에서도 비틀림파를 효율적으로 발생시킬 수 있었으며, 특정 중심 주파수를 갖는 비틀림파를 발생시킴으로써 다른 초음파 모드도 효과적으로 배제할 수 있었다. 본 연구팀의 트랜스듀서를 강성이 큰 실측에 적용하여 비틀림파를 발생시키고 측정할 수 있었으며, 회전 중인 축에 대한 결함을 성공적으로 추정할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부 창의적 연구 진흥 사업 (과제번호: 0420-2008-0011)의 지원을 받은 것으로 이에 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Areny, R. P. and Webster, J. G., 2001, *Sensors and Signal Conditioning*, Wiley-Inter Science, New York.
- (2) Goodwin, M. J., 1989, *Dynamics of Rotor-bearing Systems*, Unwin Hyman Ltd., London.
- (3) Cho, S. H., Han, S. W., Park, C. I. and Kim, Y. Y., 2006, "Noncontact Torsional Wave Transduction in a Rotating Shaft using Oblique Magnetostrictive Strips", *J. Appl. Phys.*, Vol. 100, p. 104903.
- (4) Kim, Y. Y., Park, C. I., Cho, S. H. and Han, S. W., 2005, "Torsional Wave Experiments with a New Magnetostrictive Transducer Configuration", *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 117, No. 6, pp. 3459~3468.
- (5) 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.
- (6) [www.carttech.com](http://www.carttech.com)