

자기변형 트랜스듀서에 의한 고주파대역 비틀림 초음파 발생에서의 이슈

Issues in High-Frequency Torsional Wave Generation by a Magnetostrictive Patch Transducer

김희웅† · 조승현* · 김윤영**

Hoe Woong Kim, Seung Hyun Cho and Yoon Young Kim

1. 서론

자기변형 패치 트랜스듀서를 이용한 유도초음파 기술은 간단한 구성으로 크기가 큰 비틀림 유도초음파를 발생시킬 수 있어 파이프와 같은 원통형 구조물의 비파괴 검사에 효과적이다^(1~3).

기존의 비틀림 유도초음파를 발생시키기 위한 자기변형 패치 트랜스듀서는 자기변형 패치, 정자기장의 형성을 위한 영구 자석, 동자기장의 형성을 위한 솔레노이드 코일로 구성되어 있었다. 때로는 영구자석에 의한 정자기장 형성 대신 패치를 예자화하기도 한다. 그러나 솔레노이드 코일의 저주파 필터 특성과, 제작 및 파워 전달효율의 한계로 인하여 대략 500 kHz 이하의 주파수 대역에서만 적용이 가능하였다. 하지만, 검출능 향상을 위한 짧은 파장의 사용이나 모드 전환에 의한 결함 탐상을 하기 위해서는 MHz 대역까지의 비틀림 유도초음파를 발생시킬 필요가 있다.

이러한 배경 아래 미앤더 코일(meander coil)을 이용하는 자기변형 패치 트랜스듀서가 최근 제안된 바 있는데 실제로 이 트랜스듀서로 MHz 대역까지의 비틀림파의 발신과 수신이 가능하게 되었다⁽⁴⁾. 하지만 주파수가 높아질수록 그에 따라 발생하는 파의 파장이 짧아져, 결국 MHz 대역에서는 그 파장이 사용되는 자기변형 패치 너비보다 작게 된다. 또한 미앤더 코일을 사용하기 때문에 솔레노이드 코일로 구성되어 있을 때와는 다른 방식의 발생 및 측정 메커니즘을 가지게 되어 저주파에서는 무시될 수 있었던 패치에 의한 반사라는 문제점이 발생하였다.

본 연구에서는 이러한 고주파대역 비틀림 유도초음파 발생에서 나타나는 패치에 의한 유도초음파의

반사 현상 발생 메커니즘을 설명하고 또 그것을 최소화하기 위한 방법을 제안하였다.

2. 자기변형 패치 내에서의 비틀림 유도초음파

2.1 비틀림 유도초음파의 반사

고주파대역을 다룰 때는 사용되는 자기변형 패치의 두께가 파이프의 두께보다 매우 얇더라도 패치의 존재 자체가 파의 전파에 영향을 주게 된다. 또한 패치의 부착을 위해 사용되는 에폭시도 파의 전파특성에 영향을 끼칠 수 있다. 결국 이러한 에폭시/패치의 복합 층은 비틀림 유도초음파의 전파특성에 영향을 미치고, 파이프에서의 파의 전파특성을 변화시킨다. 즉, 패치 접착부위에서는 비틀림 유도초음파의 속도가 파이프만으로 이루어진 부분에서의 속도와 다르며⁽⁵⁾, 패치에 의한 단면적 변화로 인하여 파이프만 있는 부분과의 임피던스 차이가 발생하게 된다. 비록 패치의 두께가 파이프의 두께보다 매우 얇더라도 임피던스의 차이에 의해 패치의 양 끝 단에서 유도초음파의 반사가 일어나게 되지만, 지금까지 이러한 현상에 대하여 연구된 바는 없다.

Fig. 1(a, b)는 각각 100 kHz 와 1 MHz 의 가진 주파수에서 측정된 비틀림 유도초음파의 신호이다. 외경 25 mm, 두께 2 mm, 길이 1500 mm 인 알루미늄 파이프가 도파관으로 사용되었고, 자기변형 패치로 너비 19 mm, 두께 0.15 mm 인 Hiperco⁽⁶⁾가 사용되었다. 100 kHz 의 가진 주파수에서는 원신호만 측정된 반면 1 MHz 의 경우에는 원신호 뒤에 100 kHz 에서는 나타나지 않았던 반사파가 나타났다. 비틀림 유도초음파의 패치 끝 단에서의 반사는 솔레노이드 코일을 사용한 저주파의 경우에서도 발생하지만, 패치의 너비에 비하여 발생된 파의 파장이 상대적으로 넓어 원신호가 다 측정되기 이전에 반사파가 측정되고, 크기가 작은 반사파는 원신호에 중첩되어 마치 반사파가 없는 것처럼 나타난다. 하지만 500 kHz 이상의 고주파대역에서는 솔레노이드 코일 대

† 교신저자; 서울대학교 기계항공공학부 대학원
E-mail : smaky4u@idealab.snu.ac.kr
Tel : (02) 880-1688, Fax : (02) 872-5431

* 한국표준과학연구원

** 서울대학교 기계항공공학부

신 미앤더 코일을 사용하게 되고, 발생하는 파의 파장 역시 패치의 너비에 비하여 상대적으로 좁아져 반사파의 영향이 측정되는 신호에 나타나게 된다.

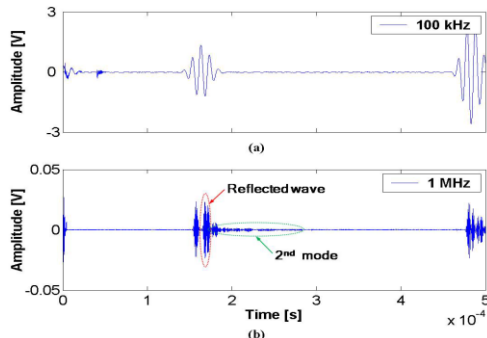


FIG. 1. The measured signals of the torsional wave at (a) 100 kHz and (b) 1MHz.

2.2 임피던스 정합

자기변형 패치에 의해 발생하는 반사는 신호의 왜곡을 일으킬 뿐 아니라 파워 전달효율도 감소시키기 때문에 반드시 극복해야 할 문제다. 이 문제점을 해결하기 위해서는 결국 패치가 있는 파이프 부위와 없는 파이프 부위 사이의 임피던스의 차이를 최소화 또는 그 변화율을 최소화하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 패치의 양 끝 단에서 각각 2 mm 되는 지점까지 패치의 두께가 0 에서부터 점진적으로 증가되도록 하였다. 즉 급격한 두께의 불연속에 의한 임피던스 부정합을 피하기 위해서 패치가 점진적인 임피던스의 변화를 갖도록 하였다. 즉 일종의 임피던스 정합(matching)을 구현한 것이다.

Fig. 2 는 위와 같이 점진적 두께 변화로 임피던스를 정합시킨 패치를 사용하여 측정된 비틀림 유도초음파의 신호를 보여준다. Fig.1(b)의 정합 이전 결과와 비교할 때 반사파가 확연히 줄어들었다. Fig. 3 은 500 kHz 가진 주파수에서 임피던스 정합 전후의 비틀림 유도초음파를 측정한 신호이다. 임피던스 정합 후의 신호가 더 큰 파워를 갖는 것도 매우 고무적인 현상이다.

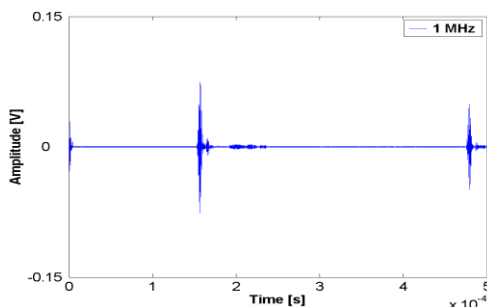


FIG. 2. The measured signal of the torsional wave at 1 MHz after the proposed impedance matching

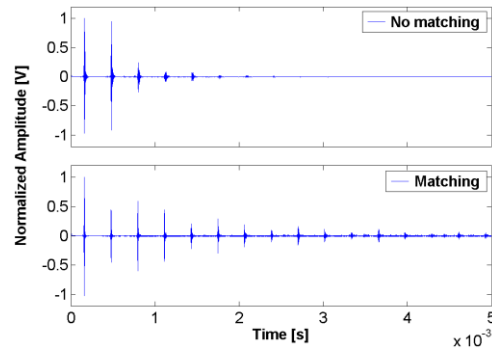


FIG. 3. Normalized measured signals of the torsional wave at 500 kHz after and before the proposed impedance matching

3. 결론

본 연구에서는 자기변형 패치 트랜스듀서로 MHz 고주파대역의 비틀림 유도초음파 발생 시 나타나는 문제점으로 패치 부착에 의한 파동 반사현상을 규명하였다. 바람직하지 않은 반사파를 줄이고 또 파워 전달효율을 높일 수 있는 방안으로 패치의 두께를 점진적으로 증가시키는 일종의 임피던스 정합 방안을 제시하였으며 그 유용성을 실험으로 검증하였다.

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) H. Kwun, 2002, "Method and apparatus generating and detecting torsional wave Inspection of pipes or tubes," United States Patent, Patent No: US 6429650 B1
- (2) Y.Y. Kim, C.I. Park, S.H. Cho and S.W. Han, 2005, "Torsional wave experiments with a new magnetostrictive transducer configuration," J. Acoust. Soc. Am. Vol. 117, 3459~3468
- (3) I.K. Kim and Y.Y. Kim, 2005, "Wireless frequency-tuned generation and measurement of torsional waves using magnetostrictive nickel gratings in cylinders," Sensors and Actuators A, 126, 73~77
- (4) S.H. Cho, H.W. Kim and Y.Y. Kim, 2008, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr., to be submitted
- (5) J.L. Lai, E.H. Dowell and T.R. Tauchert, 1971, "Propagation of Harmonic Waves in a Composite Elastic Cylinder," J. Acoust. Soc. Am. 49, No. 1, 220~228
- (6) <http://www.carttech.com>