

자기변형 패치 트랜스듀서를 이용한 램파 모드 선별의 수치적 및 실험적 연구

Numerical and experimental investigation on Lamb wave mode selection using a magnetostrictive patch transducer

이흥선†·이주승*·김윤영**

Heung Son Lee, Ju Seung Lee and Yoon Young Kim

1. 서론

유도 초음파(ultrasonic guided wave)는 원거리 전파가 가능하여, 넓은 영역을 가지거나, 접근이 어려운 구조물의 비파괴검사에 유용하게 적용되고 있다. 유도 초음파를 발생시키기 위한 방법으로는 압전현상, 전자기력, 자기변형현상 등이 주로 이용되는데, 이중 자기변형(magnetostriction)현상이란 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co)와 같은 강자성체(ferromagnetic) 물질이 자기장의 변화에 의해 기계적인 변형을 하거나, 역으로 기계적 변형에 의해 자기장의 변화를 발생시키는 현상이다. 이러한 자기변형현상을 이용한 트랜스듀서는 가격이 저렴하고, 간단한 구성으로 강한 유도 초음파의 발생이 가능하여 구조물의 비파괴검사에 활발히 이용되고 있다.⁽²⁾

평판 구조물의 비파괴검사를 위해 사용되는 유도 초음파로는 램(Lamb)파와 전단파가 있는데, 이들은 각각 다른 변위특성과, 분산특성을 가지고 있다. 특히 램파의 경우 대칭 모드(S mode)와 비대칭 모드(A mode)의 두 가지 성분을 가지고 있어, 효율적인 검사를 위해서는 상황에 알맞은 적절한 모드를 선별하는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 평판 구조물에서 발생하는 유도 초음파 중 램파의 모드 선별을 위한 자기변형 패치 트랜스듀서 모델을 제안하였고, 이를 수치적 해석과 실험을 통해 확인하였다.

2. 램파 모드 선별의 수치적 해석과 실험

2.1 자기변형 패치 트랜스듀서의 구성

Fig.1(a)는 제안된 자기변형 패치 트랜스듀서 모델 및 실험 구성을 나타내고 있다. 자기변형 패치 트랜스듀서는 비자성체에도 유도 초음파를 발생시킬 수

있는 장치로서, 정자기장을 발생하는 영구자석, 동자기장의 형성을 위한 솔레노이드 코일 그리고 비자성 도파체에 부착되어 자기변형 현상을 발생시키는 강자성체 패치로 구성되어 있다.

제안된 트랜스듀서는 영구자석의 배치 변경만으로 램파의 모드 선별이 가능하다. Fig.1(b)는 각각 A0(the zero-order A mode)모드와 S0(the zero-order S mode)모드를 선별하여 발생시키기 위한 영구자석의 배치를 나타내고 있다. 자기변형현상을 이용하여 램파를 발생시키기 위해 정자기장과 동자기장은 모두 길이 방향으로 정렬되어 있다. 하지만, 정자기장의 형성을 위한 영구자석이 두 패치 사이에 부착되어 있기 때문에 발생하는 유도 초음파는 정자기장의 방향과 동자기장의 방향이 동일한 경우와 정반대인 경우에 대하여 180 도의 위상 차이를 나타내게 된다. 이를 파장의 길이와 맞추어 보강 간섭이 일어나도록 하면 특정 모드를 선별하는 효과를 얻을 수 있다. 제안된 트랜스듀서에 의해 선별되어 발생된 특정 모드의 유도 초음파는 일정 거리를 두고 위치한 동일 구성의 수신 트랜스듀서에 의해 측정된다.

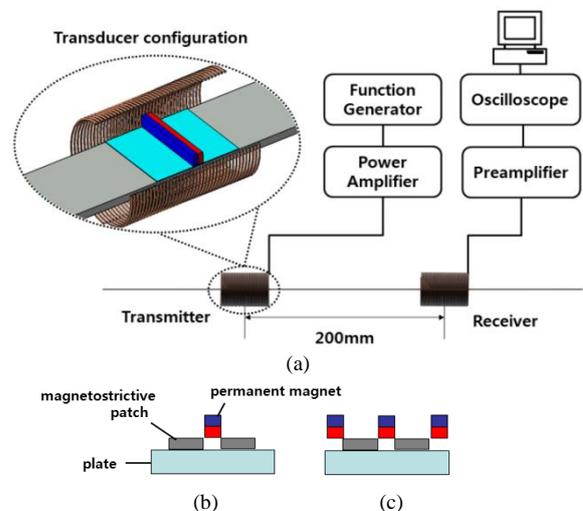


Fig. 1 (a) Setup for the guided wave experiment and transducer configuration (b) Magnetic circuit configuration for selecting S mode (c) Magnetic circuit configuration for selecting A mode

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

* 포스코
** 서울대학교 기계항공공학부
차세대 자동차 연구 센터

2.2 수치적 해석

제안된 트랜스듀서 모델의 수치적 해석을 위해 사용된 선형 압자 구성방정식(linear piezomagnetic constitutive equation)은 아래와 같다.⁽²⁾

$$\mathbf{S} = \mathbf{s}^H \mathbf{T} + \mathbf{d}_t \mathbf{H}$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{d} \mathbf{T} + \boldsymbol{\mu}^T \mathbf{H}$$

\mathbf{S} , \mathbf{T} , \mathbf{B} , \mathbf{H} , \mathbf{s} , \mathbf{d} , $\boldsymbol{\mu}$ 는 각각 변형, 응력, 자속 밀도, 자기장의 세기, 컴플라이언스(compliance), 동적 자기변형 계수, 투자율을 가지는 행렬을 나타낸다.

자기변형현상은 자기장과 기계적 변형이 연성되어 동시에 발생하기 때문에 이 현상이 나타나는 모든 영역에서는 각 유한요소에 위의 구성방정식이 동시에 적용된다.⁽³⁾ 이를 상용 유한요소 해석 프로그램인 COMSOL⁽⁴⁾을 이용하여 2차원 평면 변형 조건 하에서 해석을 수행하였다.

2.3 실험 및 고찰

Fig.2는 A0 모드와 S0 모드의 발생을 위한 각 트랜스듀서의 구성 하에서 가진 트랜스듀서에 입력되는 신호의 중심 주파수를 변화시켜가면서 주파수 스위프(frequency sweep)을 수행한 결과이다. 두 경우 모두 목표 주파수 대역 부근에서 선별된 모드에 비하여 선별되지 않은 모드는 거의 검출되지 않음을 확인할 수 있었다.

S0 모드만을 선별하여 발생한 경우의 결과를 보면 실험 값은 180 kHz 부근에서 최대치를 나타내고, 해석 값 역시 비슷한 200 kHz 부근에서 최대치를 나타내는 것을 볼 수 있다. 이는 두 패치에서 주된 변형이 발생하는 구간사이의 거리가 180 kHz의 S0 모드의 반 파장과 일치하여 보강간섭이 일어나기 때문이다. A0 모드의 경우 역시 S0 모드와 비슷한 170 kHz 부근에서 실험 값과 해석 값이 모두 최대치를 나타내는 것을 볼 수 있다.

일반적으로 동일 주파수에서 A0 모드는 S0 모드보다 짧은 파장을 가지는데⁽⁵⁾, 제안된 트랜스듀서를 사용하면, Fig.2의 결과와 같이 A0 모드가 S0 모드와 비슷한 주파수 대역에서 최대치를 나타내는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 두 개의 영구자석이 두 패치의 다른 끝단에 각각 추가됨으로써 하나의 패치에 위상이 다른 정자기장이 형성되고, 이로 인해 패치에서 주된 변형이 발생하는 구간사이의 거리가 줄어들기 때문이다. 따라서 파장이 짧은 A0 모드에 대해서도 보강간섭이 발생하게 된다.

3. 결 론

본 연구에서는 영구자석의 배치 변경만으로 간단히 램파의 모드 선별이 가능한 자기변형 패치 트랜스듀서를 제안하였다. 그리고 이를 수치적 해석 및

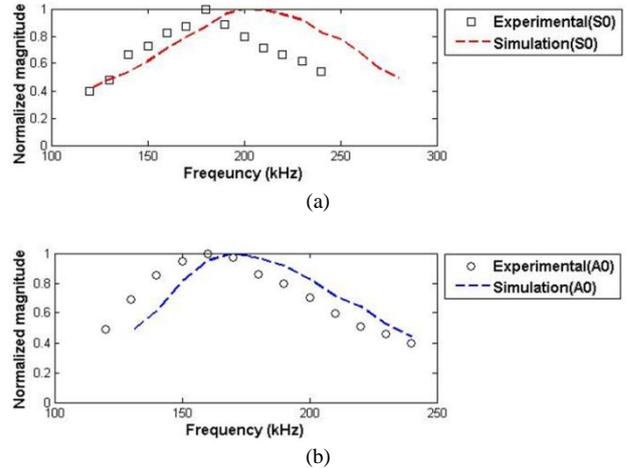


Fig. 2 Frequency characteristics of the magnetostrictive transducer (a) Result with the configuration in Fig.1(b) for the S mode (b) Result with the configuration in Fig.1(c) for the A mode

실험을 통해 살펴봄으로써, 제안된 트랜스듀서가 유도 초음파의 모드를 효율적으로 선별하여 발생시킬 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부 창의적 연구 진흥 사업 (과제번호: 2009-0083279)과 WCU(과제번호: R31-2009-000-10083-0)의 지원을 받은 것으로 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Cho, S. H., Lee, J. S., and Kim, Y. Y., 2006 "Guided Wave Transduction Experiment Using a Circular Magnetostrictive Patch and a Figure-of-eight Coil in Nonferromagnetic Plates," Appl. Phys. Lett, 88, 224101.
- (2) M, Hirao, and H, Ogi., 2003, EMATs for science and industry, Kluwer Academic Publishers.
- (3) Oh, J. H. Sun, K. H., and Kim, Y. Y., 2009, "Quasi-static finite element analysis of a guided-wave system using patch-type magnetostrictive transducer" Proceedings of the KSME 2009 Annual Fall Meeting, pp.534~536
- (4) COMSOL Multiphysics 3.5a, COMSOLAB,
- (5) Joseph L. Rose, 1999, Ultrasonic Waves in Solid Media, Cambridge University Press.