

자기변형 패치 트랜스듀서의 설계와 이를 이용한 구조 결함 진단

Design of Shear Horizontal wave Magnetostrictive patch transducer and structural health monitoring

이민경† · 이주승* · 김윤영**

Min Kyung Lee, Ju Seung Lee and Yoon Young Kim

1. 서론

유도초음파는 극한 환경에서도 뛰어난 접근성으로 인해 비파괴검사에 널리 이용된다. 유도초음파를 발생시키는 방법으로는 압전 트랜스듀서, 자기변형 트랜스듀서, 전자기유향 트랜스듀서 등이 주로 사용되고 있는데, 이 중 자기변형 트랜스듀서는 비분산 특성의 전단파를 효과적으로 발생시킬 수 있어 많은 관심을 받고 있다.⁽¹⁾

본 연구에서는 비분산 전단파를 넓은 범위에 걸쳐 발생시켜 평면구조물의 검사 영역을 빠르게 탐상하는 자기변형 트랜스듀서를 제안하였고, 실험과 해석을 통해 제안된 트랜스듀서의 방사패턴을 확인하였다. 또한 실제 평판 위에서 결함진단을 수행함으로써 그 효용성을 입증하였다. 마지막으로 트랜스듀서의 취약점을 보완하기 위한 응용 예를 보이고 그 타당성을 확인하였다.

2. 전단파 자기변형 트랜스듀서의 개발

2.1 전단파 자기변형 트랜스듀서

(1) 트랜스듀서의 구성

제안된 트랜스듀서는 Fig. 1(a)와 같이 자기장에 의한 변형을 구조물 표면에 전달시킬 부채꼴형 니켈 패치, 패치에 원주 방향으로 정자기장을 형성시키는 2 개의 영구자석, 패치에 반경 방향으로 동자기장을 인가하는 동심의 부채꼴형 PSA(planar solenoid array) 코일, 그리고 코일을 감기 위한 하우징(housing)으로 구성되어 있다. 니켈 패치에 형성된 정자기장과 동자기장이 서로 직교하기 때문에 전단파가 발생되어 동자기장의 방향인 반경 방향으로 전

파된다.

(2) 트랜스듀서의 방사패턴

제안된 트랜스듀서의 방사패턴을 구하기 위해 트랜스듀서로부터 동일 거리(200 mm)에 있는 가상의 원 위에서 15° 간격으로 트랜스듀서로부터 발생된 SH0 파를 측정하였다. 측정된 신호의 크기(V_{p-p})로부터 방사패턴을 구하였고, 이론적인 검증을 위해 트랜스듀서의 전단파 발생 지점을 4 개의 곡선형 분포 라인소스 모델(distributed line source model)로 가정하였다.⁽²⁾ 따라서 임의의 지점에서 측정되는 전단파의 크기는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$R = \sum_1^4 \int_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{4}} A_m \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi kr}} \cdot \exp\left[j\left(kr - \omega t + \frac{\pi}{4}\right)\right] \cdot r_n d\theta$$

Fig. 1(b)는 실험 및 해석을 통해 얻어진 제안된 트랜스듀서의 방사패턴을 나타낸다. 실험 값과 해석 값이 잘 일치함을 확인할 수 있고, ±15° 방향에서 가장 큰 에너지의 SH0 파가 전파되며, 각도가 커질수록 SH0 파의 에너지가 작아지는 것을 확인할 수 있다.

2.2 제안된 트랜스듀서를 이용한 SHM

제안된 트랜스듀서 4 개를 Fig. 2(a)와 같이 2 mm 두께의 알루미늄 평판 위, 탐상 영역(200mm x 200mm)의 네 귀퉁이에 설치하고 피치-캐치(pitch-

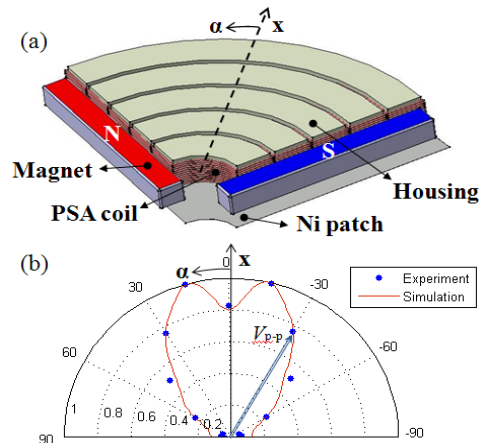


Fig. 1(a) Configuration of the proposed transducer (b) Radiation pattern of the transducer at 300 kHz

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

* POSCO

** 서울대학교 기계항공공학부
차세대 자동차 연구 센터

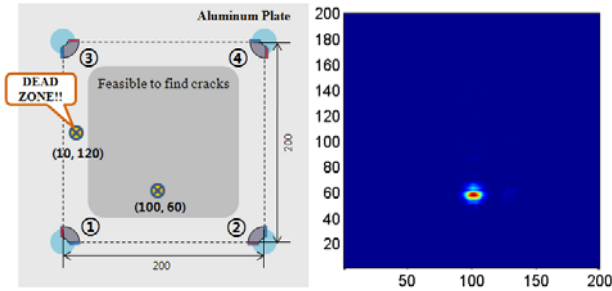


Fig. 2(a) Experimental setup for two hole crack detection on a plate (b) Imaging result of the detection experiment

catch) 방법을 이용하여 총 8 개의 데이터를 측정하였다. 측정된 데이터를 이용하여 얻어진 영상화 결과가 Fig. 2(b)에 나타나 있다. 탐상 영역의 중심부에 가깝게 위치한 결함의 경우 잘 측정이 되는 반면, 가장자리에 위치한 경우는 측정이 되지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 트랜스듀서의 방사패턴에 기인한 것으로, 탐상 영역의 가장자리인 $\pm 45^\circ$ 부근으로 전파되는 에너지가 상대적으로 작기 때문이다. 따라서 탐상 영역 전 범위에 에너지 밀도가 동일한 SHO 파를 발생시킬 수 있는 트랜스듀서의 설계가 요구된다.

3. 전단파 자기변형 트랜스듀서의 응용

3.1 균일한 방사패턴을 갖는 트랜스듀서

(1) 다양한 중심각의 방사패턴의 선형조합
 $-45^\circ \sim +45^\circ$ 구간에서 균일한 방사패턴을 갖도록 하기 위하여 여러 각도의 PSA 코일에서 발생하는 방사패턴을 선형 조합하는 방식을 택하였다. 60° , 90° , 120° , 150° 코일/패치에 의한 방사패턴에 각각 a_1 , a_2 , a_3 , a_4 의 가중치를 주어 더할 때 $-45^\circ \sim +45^\circ$ 구간에서 방사패턴이 균일해지도록 하는 a 값들을 구하였다.

(2) 트랜스듀서의 방사패턴

60° , 90° , 120° , 150° 간격으로 나누어져 각 각도마다 독립적으로 코일의 감은 수를 조절할 수 있는

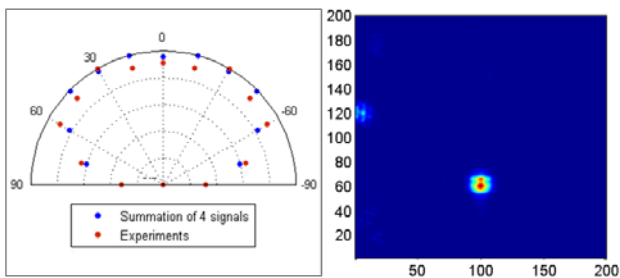


Fig. 3 (a) Reconstruction of uniform radiation pattern within -45° to 45° . Coil turns correspond to 0/0/1/1 (b) Improved image of 2 hole-crack using a set of 150° transducers

하우징을 제작하였다. 이 하우징에 앞서 구한 a 값들을 각 각도에 대한 코일의 감은 수로 이용하여 얻어진 방사패턴의 결과는 Fig. 3(a)과 같다. 각 각도들을 조합하여 얻은 해석 및 실험 결과 모두 목표 범위 내에서 균일한 값을 가짐을 볼 수 있다.

3.2 응용 트랜스듀서를 이용한 SHM

이와 같이 균일한 방사패턴을 갖도록 설계된 트랜스듀서를 이용하여 평판 위에서 결함 탐상을 한 결과 Fig. 3(b)와 같이 중앙에 있는 결함은 물론 가장자리에 위치한 결함도 90° 도 패치와 코일을 이용할 때보다 명확히 검출할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 효율적인 구조진단을 위하여 SHO 파를 발생시키는 사분원형 자기변형 트랜스듀서를 제안하였다. 그리고 이 장치의 취약점을 보완하기 위한 응용예를 제시하여 목표 범위 내에서 균일한 방사패턴을 갖도록 트랜스듀서의 성능을 향상시켰다. 더불어 실제 결함 탐상 실험에 적용함으로써 그 타당성을 입증하였다.

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 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 이주승, 전병철, 조승현, 김윤영, 2009, “빔-집중 전단파 패치형 자기변형 트랜스듀서를 이용한 초음파 방사 패턴 실험과 해석,” 대한기계학회 CAE 및 응용역학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 102~103.
- (2) Lee, J. S., Cho, S. H., and Kim, Y. Y., 2009 “Beam-focused shear-horizontal wave generation in a plate by a circular magnetostrictive patch transducer employing a planar solenoid array,” Smart Mater. Struct., vol. 18, No. 1, 015009.