

평판 상의 결함진단을 위한 신개념 자기변형 트랜스듀서의 개발

Development of a new concept magnetostrictive transducer for damage detection of plate structures

이현수† · 이호철* · 이주승** · 김윤영***

Hyunsu Lee, Ho Cheol Lee, Ju Seung Lee, and Yoon Young Kim

Key Words : Magnetostrictive transducer(자기변형 트랜스듀서), OPMT(조향 자기변형 트랜스듀서), Guided wave(유도 초음파), Electronically-controllable(전기적 조절가능),

ABSTRACT

An E-OPMT(Electronically-controllable OPMT) was developed as an alternative of OPMT which could adjust the direction of the generated guided waves in a plate manually. The key idea of controlling the wave direction electronically is based on a few sets of axisymmetric figure-of-eight coils and the magnet which is located for making static omni-directionally biasing magnetic field over the patch. However, in order to explain wave phenomenon generated by this transducer, a new approach is required because there are various combinations between static biasing magnetic field and dynamic actuating magnetic field on the patch, not similar to OPMT. In this paper, the experiments were performed to understand characteristics of E-OPMT and the new theoretical analysis was set up for explaining the result.

1. 서 론

Fig. 1 (a)는 자기변형현상(magnetostriction)⁽¹⁾을 이용하여 판재에서 유도초음파(guided wave)를 발생 및 측정할 수 있는 OPMT(Orientation-adjustable Patch-type Magnetostrictive Transducer), 즉 조향 자기변형 트랜스듀서이다.^(2,3) 이 트랜스듀서는 임의의 방향으로 유도초음파를 보낼 수 있다는 장점이 있지만, 사람의 손과 같은 기계적인 조작에 의해서만 방향전환이 가능하여 빠른 방향전환이 불가능하다는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 Fig. 1 (b)에 보인 것과 같은 E-OPMT(Electronically-controllable OPMT)를 개발하였다. Fig. 1 (a), (b)에서 알 수 있듯이 기존의 OPMT와는 달리 정자기장(static magnetic

field)을 원형 패치에 축대칭(axisymmetric)으로 걸어 주고, 전기적인 스위칭 기능을 이용하여 원하는 방향의 코일을 선택할 수 있게 함으로써 전기적으로 방향 조절이 가능하도록 하였다.⁽⁴⁾

E-OPMT는 코일과 자석에 의해 유도되는 정자기장과 동자기장(dynamic magnetic field)의 패턴이 기존에 사용하던 OPMT와는 달라서 OPMT에서 사용했던 이론식⁽⁵⁾을 직접 적용해서는 현상을 제대로 설명할 수 없다. Fig. 1의 FEM 자기장 해석 결과를 보면 OPMT의 경

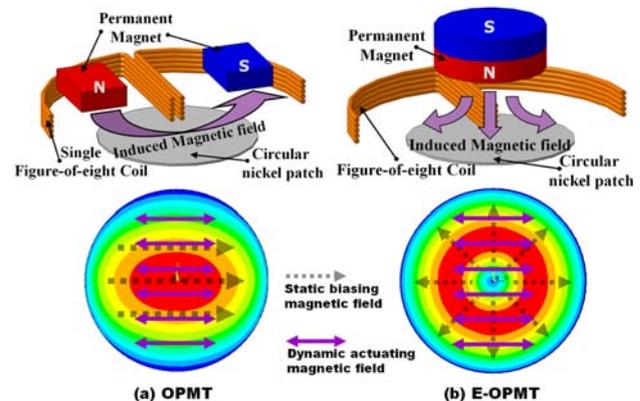


Fig. 1 (a) Magnetic analysis for OPMT (b) Magnetic analysis for E-OPMT

† 서울대학교 기계항공공학부 대학원
E-mail : muzikholi@idealab.snu.ac.kr
Tel : (02) 880-7130, Fax : (02) 872-5431

* 대구카톨릭대학교 기계자동차공학부 교수

** 서울대학교 기계항공공학부 대학원

*** 서울대학교 기계항공공학부 교수

우는 정자기장과 동자기장이 동일한 방향으로 작용하는 데에 비해 E-OPMT는 원주 방향으로 정자기장이 뺀어나가는 모양을 하고 있으며, 정자기장과 동자기장의 방향이 위치별로 서로 다른 각도를 갖고 있어 발생하는 초음파의 방사패턴이 완전히 달라진다. 결국 기존의 모델로는 E-OPMT의 방사패턴을 설명할 수 없게 된다. 새로 개발된 E-OPMT의 방사패턴의 해석을 위하여 본 연구에서는 정자기장과 동자기장이 임의의 각도에 따른 방사패턴에 관한 해석을 기본 요소로⁽⁶⁾ 하고 이들의 미소합을 적분하는 새로운 모델을 제시하였다. 또한 새롭게 제안된 모델의 유효성을 검증하기 위하여 E-OPMT의 원형(prototype)을 제작하고 이를 대상으로 한 실험을 수행하였다. 실험결과는 본 연구에서 제안된 모델이 유효함을 보여주었다.

2. E-OPMT의 제안

2.1 E-OPMT의 개념

새롭게 제안된 E-OPMT는 Fig. 2와 같이 기존에 제작된 OPMT와 달리 자기장의 방향을 니켈패치에 대해 수평방향이 아니라 수직방향으로 자기장을 걸어주어 니켈패치 위에서는 원주방향으로 정자기장이 형성되도록 하였다. Fig. 2에서 예시되어 있는 것처럼 동자기장은 중심각이 작은 여러 개의 코일에 의해 인가된다. 여러 개의 코일 중에서 선택하면 해당 코일에 상응하는 방향으로 초음파가 방사될 수 있다.

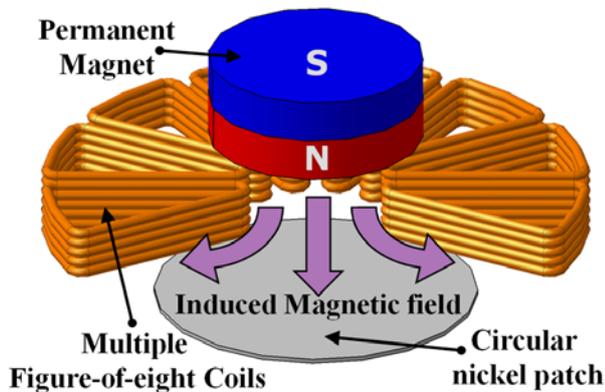


Fig. 2 Schematic diagram of an E-OPMT

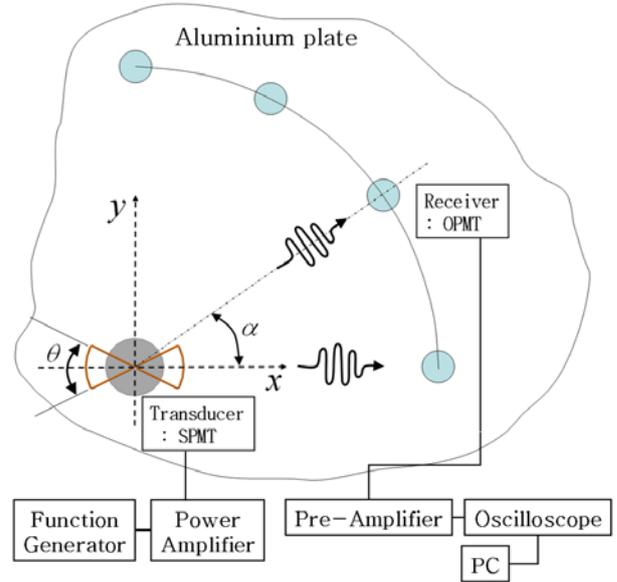


Fig. 3 Experimental Setup for the investigation of the radiation pattern of an E-OPMT

2.2 실험 셋팅

Fig. 3는 본 실험의 개략적인 모식도이다. 비자성체인 알루미늄 평판위에 원형의 니켈 패치를 부착하고 그 위에 제작된 E-OPMT를 초음파 송신기로 사용한다. 초음파 송신기로부터 0.2m 떨어진 위치에 또 다른 원형 니켈패치를 부착하여 이전에 제작된 OPMT를 초음파 수신기로 사용하여 측정된 신호를 오실로스코프와 컴퓨터를 통해 확인·분석한다. 실험에 사용된 신호는 가보(Gabor)형태의 펄스이고, 사용 주파수는 200kHz이다.

3. 실험 결과

3.1 이론식의 수립

앞서 말한바 대로 E-OPMT는 OPMT의 기본 개념으로부터 출발하였으나 자석위치와 코일형상의 다름으로 인해 그 실험 결과가 서로 상이 하다. 서론에서 보인 Fig. 1의 FEM 자기장 해석 결과는 이러한 차이점을 잘 보여주고 있다.

OPMT의 경우에는 패치에 한쪽 방향으로 편재된 자기장이 흐르므로 패치 전체를 하나의 점 가진원으로 가정을 하여 이론식을 세웠다. 하지만 E-OPMT는 반지름 방향으로 정자기장이 형성되

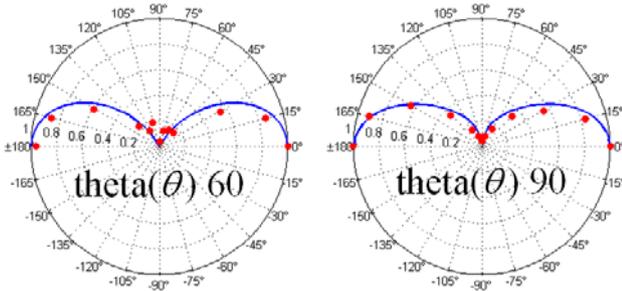


Fig. 4 Radiation pattern of the S0 Lamb wave mode for various values of θ (dots: experimental results, solid lines: theoretical results)

므로 패치위의 미소 면적들이 각각 OPMT와 같은 하나의 점 가진원이라고 가정을 할 수 있다. 이러한 미소 면적들이 발생 시키는 초음파들을 적분의 형태로 합산하는 새로운 이론식이 제안되었다.⁽⁷⁾

3.2 이론식과 실험결과와의 비교

Fig. 4의 실험 결과는 하나의 E-OPMT가 발행 시킨 초음파 방사패턴을 OPMT에서 받은 신호를 극좌표계로 표현한 것이다. 점으로 표현된 것이 실험결과이고 실선으로 표현된 것이 이론식 결과이다. 작은 그림들의 소제목 $\theta(\theta)$ “숫자” 에서 숫자는 Fig. 3에 표시된 E-OPMT내부에 있는 동 자기장을 발생하는 코일의 중심 각도를 의미한다. Ref. 7에 설명된 이론적인 해석을 바탕으로 실험 결과와 비교하면 Fig. 4에서와 같이 실험과 이론이 잘 일치함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 OPMT의 대안으로 전기적으로 방향 조절이 가능한 E-OPMT라는 새로운 평판 결합 진단용 트랜스듀서를 개발하였다. 또한 이를 검증하기 위한 새로운 해석 모델을 제안하였으며 실험을 통해 제안된 모델이 잘 맞음을 검증하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부 창의적 연구 진흥 사업(과제번호: 2007-019)의 지원을 받은 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) David Jiles, 1995, Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, Chapman & Hall, London.
- (2) 이주승, 조승현, 신경호, 김윤영, 2004, "자기변형 트랜스듀서를 이용한 평판구조물의 특정방향 가진 및 측정," 춘계학술 발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 153-158.
- (3) 조승현, 이주승, 신경호, 김윤영, 2005, "조향 자기변형 트랜스듀서를 이용한 평판 결합진단" 한국소음진동공학회논문집, 제 15권 제 1호, pp. 81-86.
- (4) 이호철, 김형운, 김윤영, 2005, "주사형 OPMT 개발을 위한 자왜형 초음파 변환기 설계 및 제작"추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 856-859.
- (5) 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.
- (6) Lee, J. S., Cho, S. H., and Kim, Y. Y. 2007 "Radiation pattern of Lamb waves generated by a circular magnetostrictive patch transducer," Appl. Phys. Lett., 90, 054102.
- (7) Lee, H. C., Lee, H. S., Lee, J. S. and Kim, Y. Y. 2008 "Radiation pattern of Lamb waves generated by an Electronically-controllable Orientation-adjustable Patch-type Magnetostrictive Transducer," to be submitted.