

# 주사형 OPMT 개발을 위한 자왜형 초음파 변환기 설계 및 제작 Design and Fabrication of Magnetostrictive Transducers for Scanning OPMT Development

이호철† · 김형윤\* · 김윤영\*\*

Hocheol Lee, Hyengyoon Kim and Y. Y. Kim

**Key Words :** Magnetostrictive Patch, Ultrasonic Transducer, OPMT, Guided Wave, Scanning Device

### ABSTRACT

The OPMT(Orientation-adjustable Patch-type Magnetostrictive Transducer) was proposed as a tool for generating and measuring the ultrasonic Lamb wave in plate type structures. This sensor has a lot of new features compared to the traditional piezo-type ultrasonic transducers. As an example, it does not need any kind of wiring for lanching or measuring ultrasonic waves. But it has also definite limitation for practical usage as a nondestructive testing tool in that it cannot help rotating the direction of ultrasonic wave manually. The idea for 'scanning OPMT' is proposed in this respect. Two kinds of basic ideas for rotating the wave direction not manually but electrically are proposed. The fabrication of the transducer and the testing for identifying the primary characteristics are done for one of the proposed transducers. The results says that there are the possibilities as a new tool for NDE in that the proposed transducer follows well the characteristics of the traditional OPMT. But there are also the limitations to overcome.

## 1. 서론

유도초음파(guided wave)를 이용해서 구조물의 상태를 비파괴적인(nondestructive) 방법으로 평가하는 기술은 최근 구조물의 안정성 진단에 대한 높은 사회적 요구로 인해서 많은 관심을 받고 있는 기술이다. 구조물 혹은 구조물을 구성하는 부재에 유도초음파를 발생하는 방법은 여러 가지 방법이 있으나 가장 대표적인 방법으로 압전현상을 이용하는 방법을 꼽을 수 있다. 압전현상을 이용하는 초음파 진단기술은 여러 가지 이유로 많은 분야에서 채택되고 있으나 (1)회전체와 같이 진단 대상물이 운동하는 경우와 (2)탐상의 범위가 넓어서 초음파 변환기를 계속적으로 이동해야 하는 경우에는 배선의 어려움이라는 치명적인 단점을 드러내게 된다.

압전현상의 이러한 단점을 극복하기 위해서 많은 시도가 이루어졌으나 그 중 가장 돋보이는 것은 압전현상을 자왜현상으로 대체한 초음파 변환

기의 개발이다.<sup>(1)-(7)</sup> 자왜현상이란 압전현상에서 전기장의 역할을 자기장의 역할이 대신하는 것으로 자기장 속에 놓인 물질이 변형을 일으키는 현상 혹은 그 역현상을 말한다. 자왜현상을 이용해서 초음파를 발생하는 기술은 자기장을 이용하기 때문에 본질적으로 접촉을 필요로 하지 않다는 이유로 압전현상이 적용되기 힘든 분야에서 매우 독보적인 응용분야를 확보할 수 있다는 장점을 가진다. 이러한 장점을 충분히 살린 최근의 대표적인 연구로는 Kwun<sup>(1)-(3)</sup>과 Lee<sup>(5)</sup>와 Kim<sup>(6)-(7)</sup> 등이 수행한 축 및 배관 등에서의 유도초음파의 발생 및 측정에 대한 연구를 꼽을 수 있다. 이에 못지않게 자왜현상의 장점을 잘 활용한 연구로 Kim<sup>(8)-(10)</sup> 등에 의한 연구가 있는데 이들은 판재에 패치(patch) 형태의 자왜물질을 부착하여 비접촉 방식으로 유도초음파를 발생 및 측정하는 방법을 제안하였다.

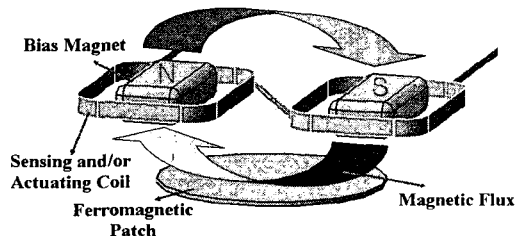


Fig. 1 Schematic diagram of an OPMT

† 이호철; 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

\* 서울대학교 기계항공공학부 대학원

\*\* 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : [yvkim@snu.ac.kr](mailto:yvkim@snu.ac.kr)

Tel : (02)880-7130, Fax : (02)872-5431

일명 OPMT (Orientation-adjustable Patch-type Magnetostrictive Transducer)라고 부르는 이 새로운 형태의 초음파 변환기의 원리는 Fig.1로 설명할 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 원형의 자성체 패치(Ferromagnetic patch)가 구조물에 부착되고 외부에서 자석(Bias magnet)에 의한 정적 자기장과 8 자형 코일에 의해서 실제 초음파의 생성을 담당하는 교번자기장이 가해진다. 이러한 형태의 구조는 변형이 발생하는 부분(patch)과 변형을 유도하는 부분(자기회로)이 전기적으로 연결되어 있지 않다는 큰 장점을 가지게 된다.

OPMT 는 판재에서 유도초음파를 매우 경제적인 방식으로 발생 및 계측할 수 있는 획기적인 기술이었지만 실제 상황에 적용하기 위해서는 극복해야 할 문제가 몇 가지 남아있었다. 가장 대표적인 문제는 OPMT 에서 초음파의 방향을 바꾸는 방식이 수동(Manual) 방식에 의존한다는 것이다. 즉, 8 자형 교번자기장 생성용 코일의 방향으로 초음파의 주성분이 발생되기 때문에 발생하는 초음파의 방향을 변화시키기 위해서는 바이어스용 자석과 8 자형 코일을 어떤 식으로든 원하는 방향으로 회전을 시킬 수 있어야 하는 것이다. 이는 탐상을 위한 패치의 개수가 적은 경우라면 문제가 되지 않지만 패치의 개수가 많은 경우에는 사용자가 많은 시간과 노력을 감수해야만 한다.

이에 본 연구에서는 OPMT 의 변형된 형태로 주사형(Scanning) OPMT 를 구현하기 위한 기본적인 아이디어를 제안하고 제안된 아이디어 중 한 가지에 대해서 초음파 발생과 관련된 기본적인 특성을 알아보기 위한 일련의 실험을 수행하여 주사형 OPMT 로서의 가능성을 확인하고자 한다.

## 2. 주사형 OPMT 의 구현

### 2.1 Scanning OPMT 의 코일 형상

OPMT 의 원리를 그대로 채용하면서 발생하는 초음파의 방향을 바꿀 수 있는 주사형 OPMT 의 기본적인 형태를 Fig.2 에 보였다.

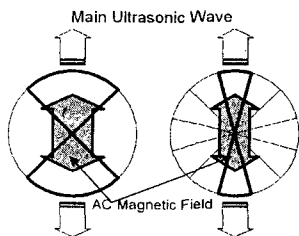


Fig. 2 Basic ideas for embodying the scanning property into the OPMT

Fig.2 의 오른쪽은 OPMT 의 기본적인 형태를 그대로 활용하되 8 자형 코일의 크기를 줄여서 여러 개의 8 자형 코일을 원주상에 배치하는 방식이다. 그림에서 굵은 선으로 표시된 변형된 8 자형 코일에 교번전류가 가해지면 화살표방향으로 Lamb 파가 발생하게 된다. 이 방식을 사용하는 경우 초음파의 발생 메커니즘이 OPMT 의 그것과 완전히 같기 때문에 OPMT 에서 이루어진 연구결과를 그대로 채용이 가능하다는 장점이 있는 반면에 실제 하드웨어의 구현측면에서 보면 초음파 변환기의 배선이 각도 정밀도(resolution)에 비례하여 증가한다는 단점이 있다. 즉, 보다 정밀하게 각도를 조절해서 초음파를 발생하고자 할수록 배선이 복잡해진다는 것을 의미한다. 교번자기장의 발생을 위해서 이 코일 형상을 채택하는 경우 주사(Scanning)를 위한 전력회로는 주로 스위칭(Switching)회로로 구성된다.

Fig.2 왼쪽은 2 개의 8 자형 코일을 채택한 형태다. 그림에 보인 2 개의 8 자형 코일에서 발생하는 서로 수직인 방향의 두 개의 교번자기장의 적절한 조합을 통해서 원하는 방향의 자기장을 생성하고 이를 통해서 발생하는 초음파의 방향을 조절하는 아이디어를 보여주고 있다. 이 코일 형상의 경우 하드웨어를 구현할 때 배선이 간단하다는 장점이 있는 반면에 원하는 방향의 자기장을 생성할 수 있는 자기회로의 구성이 어렵다는 단점이 있다. 이 코일 형상을 선택하는 경우 주사를 위한 전력회로는 파워 연산 증폭기로 구성이 된다.

본 연구는 왼쪽 형태의 코일 구성을 채택한 주사형 OPMT 의 초음파 변환기로서의 기본적인 특성을 고찰하는 것으로 한다.

### 2.2 OPMT 의 바이어스 자기장 생성

OPMT 는 항상 8 자형 코일과 같은 방향으로 바이어스 자기장을 걸어 주어야 하는데 이는 바이어스 자기장을 생성하는 영구자석을 8 자 코일과 함께 회전시켜줌으로써 구현이 가능하다. 하지만 주사형 OPMT 의 경우 매우 빠른 속도로 교번자기장의 방향이 바뀌기 때문에 영구자석을 실제로 회전시킨다는 것은 거의 불가능하다. 하나의 방법은 교번자기장을 생성하는 8 자형 코일과 똑 같은 형태의 코일을 한 짝씩 추가로 사용하여 바이어스 자기장을 생성하는 것이 있으나 이는 앞서 언급한 바와 같이 배선의 문제라는 현실적인 장벽이 존재한다. 이에 본 연구에서는 영구자석을 사용하지 모든 방향에 대해서 항상 같은 바이어스 자기장을 걸어 줄 수 있는 자기회로를 채택하였고 Fig.3 에 그 구조를 보였다.

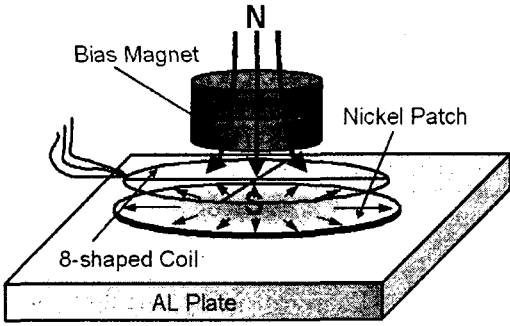


Fig. 3 Schematic figure of one of the proposed scanning OPMTs

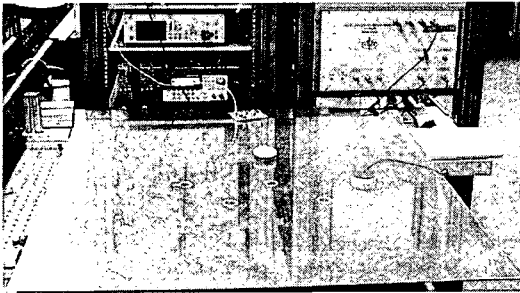


Fig. 4 Experimental setup used to be test the performance of the proposed scanning OPMT

Fig.3 에서 알 수 있듯이 축 방향으로 자화된 패치보다 크기가 충분히 작은 영구자석을 자성체 패치의 상단에 위치시키면 패치에는 반경방향으로 향하는 균일한 자기장이 형성되게 되어 2.1 절에서 설명한 두 가지 방법 중 어느 것을 사용하여도 항상 반경방향으로 일정한 바이어스 자기장을 걸어줄 수 있게 된다.

### 3. 주사형 OPMT 의 제작 및 실험

#### 3.1 주사형 OPMT 의 제작 및 실험

제안된 두 가지 형태의 주사형 OPMT 중에서 2 개의 8 자형 코일 짝으로 구성되는 초음파 변환기의 특성을 알아보기 위하여 해당 주사형 OPMT 를 제작한 뒤 실험을 수행하였다. 실험은 두께 3mm 의 알루미늄 판재에 대하여 기존의 OPMT 와 똑 같은 방식으로 수행하였고<sup>(8)-(10)</sup> 사용된 측정 시스템의 외관을 Fig.4 에 보였다.

#### 3.2 주사형 OPMT 의 특성 - 시간영역 특성

Fig. 5 는 Fig.3 의 주사형 OPMT 를 이용해서가진 을 하고 기존의 OPMT 를 이용하여 Fig.4 의 실험환경하에서 측정한 시간영역에서의 신호를 보여주고

있다. 얇은 평판에서 전파되는 유도초음파 이론을 이용한 계산을 통해서 처음 도착하는 파동이 예상대로 Lamb 파의 첫 번째 대칭모드인 것을 확인할 수 있었다.

#### 3.3 주사형 OPMT 의 특성 - 방향 특성

제안된 주사형 OPMT 가 방향을 바뀌가면서 초음파를 발생할 수 있는지를 알아보기 위해서 2 개의 8 자형 코일 중에서 하나의 코일만을 가진하여 방향에 따른 측정신호의 진폭을 살펴보았다. Fig.6 에서와 같이 주사형 OPMT 의 한 쪽 코일만을 가진하고 기존의 OPMT 의 위치를 변경시켜가면서 측정을 시도하였으며 Fig.7 에 해당 결과를 보였다.

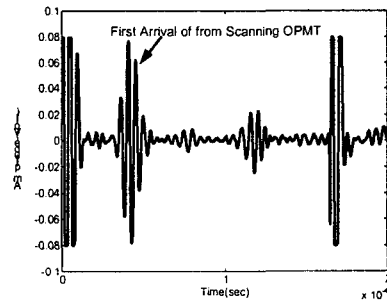


Fig. 5 The time-domain signal measured by the traditional OPMT and generated by the proposed scanning OPMT

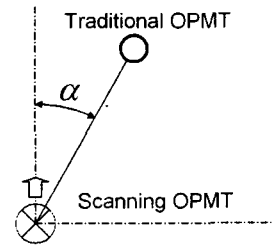


Fig. 6 Measurement Configuration for measuring the angular characteristics of the scanning OPMT

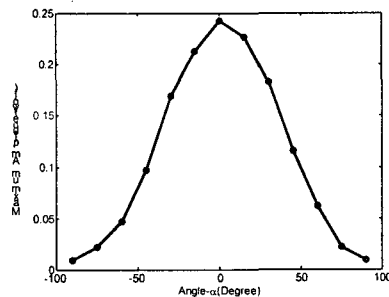


Fig. 7 Amplitude variation according to the scanning angle

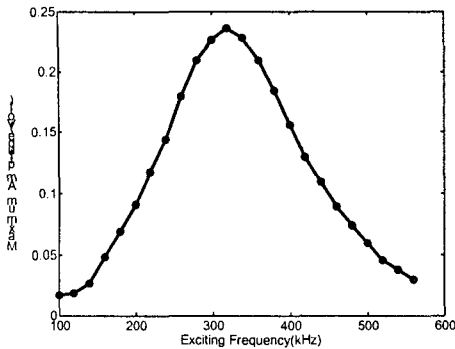


Fig. 8 Amplitude variation according to the exciting frequency

Fig.7 에서 알 수 있듯이 가진된 코일 방향으로 주된 파동이 발생함을 알 수 있다. 하지만 이러한 형태의 각도특성을 보이게 되면 2 개의 8 자형 코일 로 임의의 방향으로 초음파를 생성해내는 것은 불가능하게 된다. 자기회로의 근본적인 변형을 통해서 방향에 따라서 변화하는 특성곡선의 모양자체를 변경하거나 2.1 절에서 제시한 다수개의 8 자형 코일을 사용하는 방법을 모색할 필요가 있음을 보여 주고 있다.

### 3.4 주사형 OPMT 의 특성 - 주파수 특성

기존의 OPMT 와 마찬가지로 가진신호로는 시간 및 주파수영역에서 집중도가 높은 가보 펄스(Gabor pulse)를 사용하였다. OPMT 와 마찬가지로 정해진 패치크기에 대해서 최대의 출력을 얻을 수 있는 가진 주파수가 있음을 실험적으로 확인하였다. Fig.8 은 가진용 가보 펄스의 주파수를 바꿔가면서 측정 신호의 최대진폭을 측정한 결과를 보여주고 있는데 주파수를 바꿔가면서 측정한 결과 정해진 패치크기에 상응하는 최적의 주파수가 있음을 확인할 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 비자성체의 판재에 자성체 패치를 부착하여 탄성파를 임의의 방향으로 발생시키는 OPMT 에 주사(scanning)기능을 추가하기 위하여 변

형된 OPMT 를 제안하였다. 제안된 주사형 OPMT 의 가능성을 확인하기 위하여 제안된 아이디어 중 하나에 종류에 대하여 제작 및 실험을 수행하였으며 실험결과들은 기존의 OPMT 와 비슷한 특성들을 나타내주어 주사형 OPMT 로서의 가능성을 확인시켜주었다. 하지만 실제 주사기능을 구현하기 위해서는 자기회로의 수정을 통해서 각도 특성을 개선해야 한다는 한계점도 발견되었으며 이를 극복할 수 있는 방안에 대해서는 현재 연구가 진행 중에 있다.

## 참고문헌

- (1) Kwun, H. and Teller, C. M., 1994, "Magnetostrictive generation and detection of longitudinal, torsional, and flexural waves in a rod," J. Acoust. Soc. Am., 96, pp.1202-1204,
- (2) Kwun, H. and Bartels, K. A. 1995, "Experimental observation of wave dispersion in cylindrical shells via time-frequency analysis," J. Acoust. Soc. Am., 97(6), pp.3905-3907.
- (3) Kwun, H. and Bartels, K. A. 1998, "Magnetostrictive sensor technology and its application," Ultrasonics, 36, pp. 171-178.
- (4) Ohzeki, H., Mashine, A., Aoyama, H. and Inasaki, I., 1999, "Development of a magnetostrictive torque sensor for milling process monitoring," Journal of Manufacturing Science and Engineering, 121, pp.615-622.
- (5) Lee, H. C. and Kim, Y. Y., 2002, "Wave selection using a magnetomechanical sensor in a solid cylinder," J. Acoust. Soc. Am., 112(3), pp.953-960.
- (6) Kim, Y. Y., Cho, S. H. and Lee, H. C., 2003, "Application of magnetomechanical sensors for modal testing," Journal of Sound and Vibration, 268(4), 799-808.
- (7) Kim, Y. Y., Cho, S. H. and Lee, H. C., 2003, "Application of magnetomechanical sensors for modal testing," Journal of Sound and Vibration, 268(4), 799-808.
- (8) 이주승, 조승현, 신경호, 김윤영, 2004, "자기변형 트랜스듀서를 이용한 평판구조물의 특정방향 가진 및 측정," 춘계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 153-158.
- (9) Cho, S. H., Sun, K. H., Lee, J. S., and Kim, Y. Y. 2004 "Orientation-adjustable patch-type magnetostrictive ultrasonic transducer for non-ferromagnetic plates," Proceedings of EMSA 2004, pp. T-O 6.
- (10) 김윤영, 조승현, 이주승, 신경호, 2004, "OPMT 초음파 트랜스듀서를 이용한 평판구조 이상진단," 추계학술대회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 423-427.