

음향자 결정구조 내에서의 탄성과 이중굴절 현상 Bi-refraction phenomena of elastic waves in a phononic crystal

이혁† · 오주환* · 김윤영**
Hyuk Lee, Joo Hwan Oh and Yoon Young Kim

1. 서 론

음향자 결정구조(phononic crystal structure)는 탄성 물질들의 주기적 배열로 이루어진 구조로, 자연계에 존재하지 않는 파동 현상을 구현할 수 있는 대표적인 메타 물질(metamaterial)로 주목 받고 있다. 음향자 결정구조에서 구현되는 대표적인 파동 특이현상(meta phenomena of waves)으로는 특정 주파수 대역에서 파동이 일반적인 매질의 경계에서와는 반대 방향으로 굴절하는 음의 굴절 현상이 있다⁽¹⁾. 이러한 음의 굴절 현상을 응용하면 현재까지 존재하지 않던 파동 시스템을 구현하는 것도 가능해지기에 다양한 연구가 수행되고 있다.

최근 음향자 결정구조에서는 음의 굴절뿐만 아니라 이중굴절 현상(bi-refraction phenomena) 역시 구현된다는 연구 결과가 나온 바 있다⁽²⁾. 이는 입사된 탄성파가 그 모드(mode)를 유지한 채 두 방향으로 갈라져 굴절되어 나가는 현상으로, 일반적인 물질에서는 관측이 불가능한 현상이다. 음향자 결정구조에서의 복굴절 현상은 구조 내에서의 파동 특이현상 매커니즘을 보다 자세히 설명해 준다는 점에서 큰 의미가 있으나, 탄성파에서의 이중굴절 현상을 연구하고 이를 실험적으로 보인 연구는 전무하다.

본 연구에서는 음향자 결정구조로 이루어진 프리즘 형태의 시스템에서 탄성 파동의 이중굴절 현상을 실험적으로 보이고 이를 이론적/해석적으로 분석하고자 한다.

2. 음향자 결정구조 기반 프리즘에서의 탄성과 이중굴절 현상

2.1 이중굴절 현상 실험 세팅

탄성파의 이중굴절 현상을 실험하기 위해 Fig. 1 과 같이 음향자 결정구조 기반의 프리즘 구조를 제작하여 유도초음파 실험을 수행하였다. 본 연구에서 고려한 음향자 결정구조의 단위 구조(unit cell)는 Fig. 1 과 같으며, 두께 2mm의 알루미늄 판에 주기적인 구멍을 뚫어 두 번이 25 개의 배열로 이루어진 직각삼각형 모양의 프리즘 구조를 제작하였다. 유도초음파 실험에 사용된 초음파 가진기와 측정기로는 본 연구단에서 자체 개발한 PSA-OPMT⁽³⁾을 사용하였으며, 중심 주파수 220 kHz의 가보 신호(Gabor Pulse)로 최저차 전단파(lowest-order shear-horizontal wave, SH0)를 가진 하였다. 실험은 Fig. 1 에서처럼 프리즘 구조에서 4 cm 떨어진 지점에서 초음파를 가진, 프리즘 구조 반대편에서 9 cm 떨어진 지점에서 10° 간격으로 초음파를 측정하여 투과된 초음파의 굴절 양상을 알아보았다.

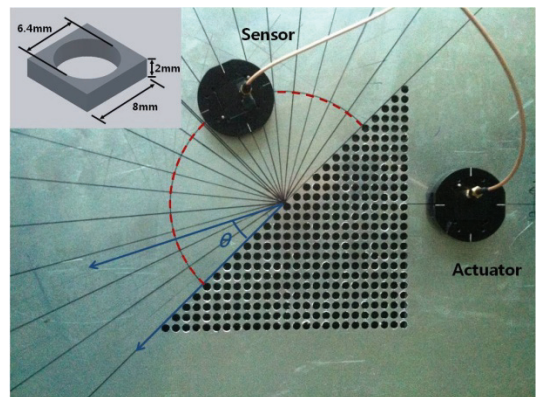


Fig. 1 Experimental setting of aluminum plate with PSA-OPMTs that generate and receive guided SH0 waves.

† 교신저자; 서울대학교 기계항공공학부 대학원
E-mail : jackwon2@snu.ac.kr
Tel : (02) 880-1689, Fax : (02) 872-5431
* 서울대학교 기계항공공학부 대학원
** 서울대학교 기계항공공학부, WCU, 교수

후 기

본 연구는 한국 연구재단의 중견 연구자 지원 사업 (과제번호: 20120005693)과 WCU (과제번호: R31-2008-000-10083-0)의 지원을 받은 것으로 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

(1) Lee, M. K., Ma, P. S., Lee, I. K., Kim, H. W. and Kim, Y. Y., 2011, Negative refraction experiments with guided shear-horizontal waves in thin phononic crystal plates, *Applied Physics Letters*, Vol. 98, 011901.

(2) Lu, M. H., Zhang, C., Feng, L., Zhao J., Chen, Y. F., Mao, Y. W., Zi, J., Zhu, Y. Y. and Ming, N. B., 2007, Negative birefracton of acoustic waves in a sonic crystal, *Nature Materials*, Vol. 6, pp. 744-748.

(3) Lee, J. S., Kim, Y. Y. and Cho, S. H., 2009, Beam-focused shear-horizontal wave generation in a plate by a circular magnetostrictive patch transducer employing a planar solenoid array, *Smart Materials and Structures*, Vol. 18, 015009.

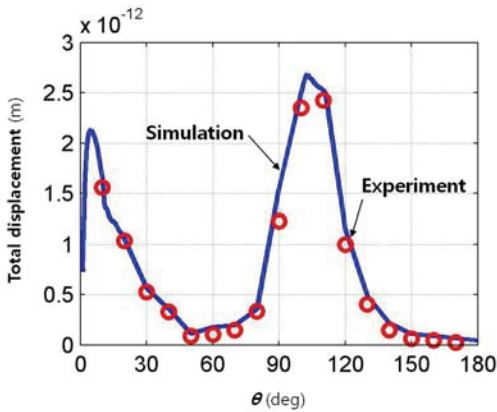


Fig. 2 Experimental and simulation results

2.2 실험 결과

본 연구에서 수행한 실험 결과는 Fig. 2 와 같다. 실험 결과로부터 프리즘 구조를 통과한 유도초음파가 각각 $\theta=10^\circ$ 와 110° 의 두 방향으로 갈라져 굴절되어 나감을 확인할 수 있었다. 이는 음향자 결정 구조 기반의 프리즘에서 양의 굴절과 음의 굴절이 동시에 발생하는, 이중 굴절 현상이 실험적으로 보여짐을 의미한다. 보다 자세한 파동 거동을 알아보기 위하여 상용 유한요소 해석 프로그램인 COMSOL 을 통한 파동 시뮬레이션이 수행되었으며, 실험과 매우 잘 맞는 결과를 얻을 수 있었다. 이로부터 실험 결과를 검증할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 음의 굴절뿐만이 아닌 양의 굴절을 동시에 갖는 알루미늄 음향자 결정구조에서의 이중 굴절 현상을 실험적으로 보였으며 시뮬레이션과의 비교를 통해 그 결과가 합당함을 검증하였다. 본 연구를 통해 음향자 결정구조 내에서 발생하는 파동 현상을 보다 더 자세히 알아낼 수 있으며 향후 다양한 관련 분야에 기반 연구로 응용될 수 있을 것으로 기대한다.