

사중극자 초음파 공진기에서의 상흔모드 관측

Observation of scar modes in a ultrasonic quadrupole cavity

곽호정[†], 신영훈[†], 이상범, 양주희, 문송기, 이수영, 김상욱*, 이재형, 안경원
 서울대학교 물리천문학부, *부산대학교 물리교육학과
 kwan@phya.snu.ac.kr

혼돈 현상을 보이는 미소광공진기는 그 응용 가능성으로 인하여 많은 관심을 받아왔으며 아울러 양자 혼돈 현상을 연구하기 위한 도구로써 널리 이용되어왔다⁽¹⁻²⁾. 일반적으로 공진기 내부의 모드들의 특성은 방출되는 빛의 방향성 혹은 그 스펙트럼을 통하여 연구되어 왔다⁽³⁻⁴⁾. 한편, 공진기 내부 모드들의 공간적인 분포 또한 흥미로운 특성들을 많이 보이니⁽⁵⁻⁷⁾ 이를 실험적으로 측정하기란 매우 어려운 일이다. 따라서 그동안 공진기 내부 모드 분포에 관한 연구는 주로 이론적으로만 행해져 왔지만 이러한 실험적 난점은 초음파를 이용한 실험을 통하여 보완할 수 있다. 초음파의 압력장은 빛과 마찬가지로 헬름홀츠 방정식을 만족시키며, 공진기 경계에서 유사한 경계 조건을 만족시킨다. 따라서 음파에 의한 공진기 안의 모드들은 광공진기의 모드들과 비슷한 성질을 보일 뿐만 아니라, 압력장은 광학적인 방법에 의하여 시각화될 수 있다는 장점이 있다. 이러한 점에서 음파 공진기는 광 공진기의 연구를 훌륭하게 보완하는 도구가 될 수 있다.

본 연구에서는 전자기파와 초음파의 유사성에 착안하여 사중극자 모양의 공진기 내부에 존재하는 모드 형태를 측정하는 실험을 수행하였다. 이를 위해 투명 매질 내에 존재하는 초음파를 시각화하는데 흔히 쓰이는 솔리렌(schlieren) 방법을 도입하였다. 평행광이 2차원적인 굴절률 분포를 갖는 투명 매질을 통과할 때는 굴절률에 비례하는 위상차가 발생하는데, 솔리렌 방법을 이용하면 그 분포에 대응하는 광학적 상을 얻을 수 있다. 이러한 방법으로 극좌표상에서 $r=15.41(1+0.12\cos 2\phi)$ (mm)로 표현되는 사중극자 공진기 내부에 형성된 다양한 공진 모드 형태를 관측할 수 있었다.

아래의 솔리렌 방법을 통해 얻은 영상들은 사중극자 공진기에서 나타나는 일부 공진 모드들을 보여주며 가운데의 PSOS(Poincare Surface of Section)는 연구에 사용된 공진기에 대응하는 빛살의 궤적을 나타낸다. 그런데 PSOS서 볼 수 있듯 이 공진기에는 빛살 모형의 관점에서 볼 때 몇 가지 양상의 안정된 궤도가 존재한다. 마름모 형태의 모드는 그 중 하나이며 PSOS상에 '섬'으로 나타나는 고전적으로 안정된 주기 궤도이다. 반면 직사각형 모드는 고전적으로 안정된 궤도가 없음에도 그러한 형태로 국소화된 상흔(scar)모드이다. PSOS의 붉은 점들이 이에 해당하며 이로부터 직사각형 모드가 고전적으로 불안정하다는 사실을 명확하게 알 수 있다. 한편 PSOS에는 나타나 있지 않지만 마름모 모드 아래에 있는 모드 역시 공진기의 장축상에 국소화된 상흔모드를 보여주고 있고 이에 대응하는 고전적인 빛살 궤적이 불안정하다는 것은 기하광학에서도 잘 알려져 있다. 이처럼 상흔모드가 전자기파뿐만이 아닌 초음파 공진기에서도 관찰된다는 사실로부터 이러한 현상이 파동의 특성에 의한 일반적인 것임을 알 수 있다.

앞으로는 좀 더 다양한 모양의 공진기들에서 그 모드 분포를 측정할 예정이다. 이러한 것들은 이론적으로 많이 연구되었기 때문에 실험 결과를 이론과 비교해볼 수 있으며 또한 스펙트럼의 교차 회피 점

근처에서의 모드 분포의 변화를 살펴볼 수도 있을 것이다.

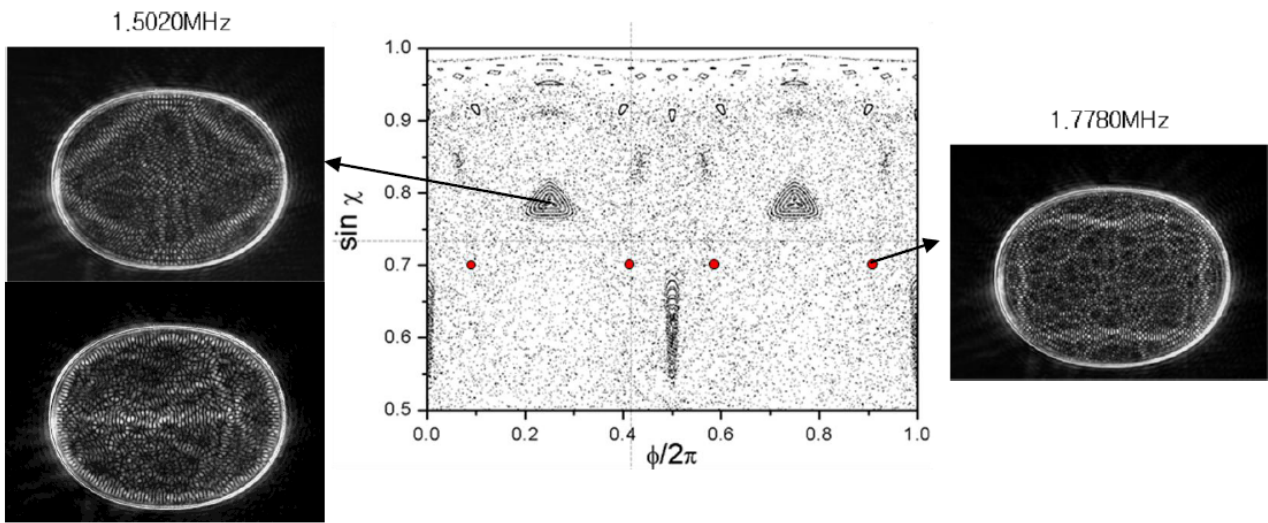


그림 1 PSOS 및 그에 대응하는 일부 모드들의 영상

† 공동 1저자

참고문헌

1. J. U. Noeckel and A.D. Stone, *Nature* **385**, 385 (1997).
2. C. Gmachl, F. Cappasso, E.E. Narimanov, J.U. Noeckel, A.D. Stone, G.J. Faist, D.L. Sivco, and A.Y. Cho, *Science* **280**, 1556 (1998).
3. S.-B. Lee, J.-H. Lee, J.-S. Chang, H.-J. Moon, S.-W. Kim, and K. An, *Phys. Rev. Lett.* **88**, 033903 (2002).
4. S. Lacey, H. Wang, D. H. Foster and J. U. Noeckel, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 033902 (2007).
5. S. Y. Lee, S. Rim, J. W. Ryu, T. Y. Kwon, M. Choi and C. M. Kim, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 164102 (2004).
6. N. B. Rex, H. E. Tureci, H. G. L. Schwefel, R. K. Chang and A. D. Stone, *Phys. Rev. Lett.* **88**, 094102 (2002).
7. T. Takami, *Phys. Rev. Lett.* **68**, 3371 (1992).