

# 점탄성 음향자 결정 구조 내에서의 파동 감쇠 Wave attenuation in viscoelastic phononic crystal

오주환† · 김윤재\* · 김윤영\*\*

Joo Hwan Oh, Yoon Jae Kim and Yoon Young Kim

## 1. 서 론

최근 모체(matrix)에 주기적인 함유물(inclusion) 혹은 구멍(hole)이 배열된 음향자 결정구조(phononic crystal, PC)에 대한 관심이 증대되고 있다. 음향자 결정구조 내부를 통과하는 파동은 구조의 주기적인 특성으로 인하여 일반적인 물질에서와는 다른 파동 특이현상(meta phenomena of waves)을 보일 수 있음이 밝혀진 바 있다<sup>(1)</sup>. 이러한 특성을 응용하여 기존의 파동/진동 시스템보다 크게 향상된 성능을 보이는 다양한 음향자 결정구조 기반 시스템이 제안되고 있다.

음향자 결정구조를 응용한 연구 중, 점탄성 물질에 음향자 결정구조를 적용하여 점탄성 물질 내 파동 감쇠(wave attenuation)를 증가시키고자 하는 연구가 주목을 받고 있다<sup>(2)</sup>. 그러나 점탄성 물질에 기반하여 음향자 결정구조를 생성할 경우 파동 감쇠 효과가 증대됨은 연구된 바 있으나 어떠한 메커니즘으로 인하여 점탄성 물질에 음향자 결정구조가 적용되었을 때 파동 감쇠 효과가 증가하는가는 밝혀지지 않았다. 최근 본 연구단에서는 점탄성 물질 기반한 음향자 결정구조 내에서의 파동 시뮬레이션을 통해 파동 감쇠의 변화를 설명한 연구를 수행하였다<sup>(3)</sup>. 이 연구는 점탄성 물질 기반 음향자 결정구조에서의 파동 감쇠가 증가하는 이유를 명확히 밝혔으며 보다 더 개선된 파동 감쇠 효과를 보이는 점탄성 음향자 결정구조의 설계 방향을 제시해 준다는 데서 큰 의의가 있다.

본 발표에서는 최근에 본 연구단이 수행한, 점탄성 음향자 결정구조에서의 파동 감쇠 양상에 대해 알아보고자 한다.

## 2. 점탄성 음향자 결정구조에서의 파동 감쇠

### 2.1 단위 구조에 기반한 파동 감쇠 계산

점탄성 음향자 결정구조 내에서의 파동 감쇠 메커니즘을 알아보기 위하여 Fig. 1 에서와 같이 점탄성 고무에 주기적인 구멍이 뚫린 음향자 결정구조(Type 1)와 주기적인 텅스텐 함유물이 배열된 음향자 결정구조(Type 2) 두 종류의 점탄성 음향자 결정구조를 고려하였다. 여기서 Type 1 은 함유물이 모체보다 약한 물질일 경우, Type 2는 함유물이 모체보다 단단한 물질일 경우의 파동 감쇠 메커니즘을 알아보기 위해 고려되었다. 각각의 음향자 결정구조는 8 mm×8 mm의 정사각 격자로 이루어져 있으며, 구멍 혹은 함유물의 직경  $d$  를 2 mm 에서 7 mm 까지 1 mm 씩 변화시키며 파동 감쇠의 변화를 해석하였다. 결과적으로 점탄성 음향자 결정구조 내의 함유물의 물성치와 크기가 파동 감쇠에 미치는 영향을 연구하였다.

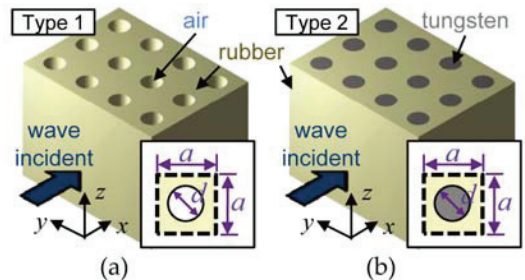


Fig. 1 Schematic illustration of the two viscoelastic PC's considered in this work. (a) PC with air inclusions, (b) PC with tungsten inclusions. Here, the periodicity is  $a = 8 \text{ mm}$ .

† 교신저자; 서울대학교 기계항공공학부 대학원

E-mail : ojh86@snu.ac.kr

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

\* 국방과학연구소 제 7 기술연구본부 2 부

\*\* 서울대학교 기계항공공학부, WCU, 교수

음향자 결정구조 내 파동 감쇠를 계산하기 위하여 단위 구조에 기반한 이론적 해석을 수행하였다. 먼저 단위 구조에 대해 확장 평면파 전개 기법 (extended plane-wave expansion method)<sup>(4)</sup>을 적용하여 해당 음향자 결정구조의 파동 분산특성 (wave dispersion characteristic)을 계산한다. 계산된 분산 특성으로부터 특정 주파수에 대해 복소 파동벡터(complex wavevector)  $k$  를 얻어낸 후 아래와 같이 파동 감쇠 수치를 얻어낸다.

$$\text{Attenuation} = \text{imag}(k) \quad (1)$$

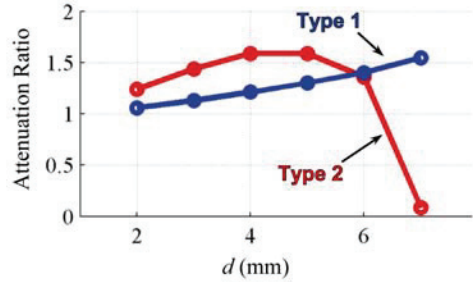
## 2.2 파동 감쇠 계산 결과 및 분석

음향자 결정구조 내 함유물의 종류와 크기에 따른 파동 감쇠 값은 Fig. 2 와 같다. 함유물이 모체보다 약한 물질인 경우 파동 감쇠는 함유물의 크기가 커질수록 점차 증가함을 확인할 수 있다. 반면 함유물이 모체보다 단단한 물질일 경우 파동 감쇠는 함유물의 크기가 커짐에 따라 점차 증가하다 함유물의 크기가 특정 값에 다다른 이후로는 급격히 감소함을 확인할 수 있다.

이와 같이 점탄성 음향자 결정 구조 내의 파동 감쇠 현상은 함유물의 물성치와 그 크기에 따라 다른 양상을 보이며 변화함을 확인할 수 있었다. 함유물의 물성치에 따라 그 양상이 달라지는 이유를 설명하기 위해 추가적인 연구가 수행되었으며, 점탄성 음향자 결정구조 내의 에너지 전파 특성과 파동 전파 속도의 변화로 인해 이와 같은 현상이 발생함을 확인하였다

## 3. 결 론

본 연구에서는 점탄성 음향자 결정구조에서 함유물의 물성치와 크기에 따라 파동 감쇠의 변화 양상을 연구하고, 파동 감쇠의 원리를 파악하였다. 본 연구의 결과는 향후 매우 높은 파동 감쇠를 갖는 점탄성 음향자 결정구조를 개발하는 등 진동/소음 저감 분야에 효과적으로 응용될 수 있을 것으로 기대한다.



**Fig. 2 Ratio of the attenuations for various inclusion sizes of the PC's with respect to the  $d = 0$  mm .**

## 후 기

본 연구는 한국 연구재단의 중견 연구자 지원사업 (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) Zhao, H., Liu, Y., Wen, J., Yu, D. and Wen, X., 2007, Dynamics and sound attenuation in viscoelastic polymer containing hollow glass microspheres, Journal of Applied Physics, Vol. 101, 123518.
- (3) Oh, J. H., Kim, Y. J. and Kim, Y. Y., 2013, Wave attenuation and dissipation mechanisms in viscoelastic phononic crystals, Journal of Applied Physics, accepted.
- (4) Laude, V., Achaoui, Y., Benchabane, S. and Khelif, A., 2009, Evanescent Bloch waves and the complex band structure of phononic crystals, Physical Review B, Vol. 80, 092301.