

밴드갭 현상과 임피던스 매칭 현상을 이용한 새로운 기계적 필터 설계 방법 제안

Design method of the mechanical filter using both band gap and impedance matching phenomena

이일규† · 김윤재* · 오주환** · 김윤영***

Lee Il Kyu, Kim Yoon Jae, Oh Joo Hwan and Kim Yoon Young

1. 서 론

주기적인 구조물에서 탄성파가 전달될 때 특정 주파수 대역에 대해 에너지가 전달되지 않는 밴드갭 현상이 있다. 주기적인 구조물의 단위 구조의 재료적인 특성뿐만 아니라 형상, 주기에 의해 밴드갭이 나타나는 주파수 대역이 결정된다. 이와 같은 밴드갭 현상을 발생시키는 연구는 최근에 활발하게 이뤄지고 있다. 이와 함께 에너지 전달이 효율적으로 이뤄질 수 있는 방법을 함께 고려하는 시도도 있었다. 대표적인 방법으로 공진을 이용하는 방법이다. 주기적인 구조물 사이에 단일 구조를 삽입하여, 공진이 발생해 특정 주파수에서 에너지가 잘 전달되도록 한다.

하지만 본 연구에서는 공진 현상이 아닌 임피던스 매칭 현상을 이용하여 에너지를 효율적으로 전달한다. 주기적인 구조물에서 임피던스 매칭을 이용한 경우, 전체 주기적인 구조물이 매칭을 이루는 것이다. 이 경우에는 특정 조건, 주기적인 구조물에 연결되는 도파관의 특성에 따라 밴드갭이 나타나거나 임피던스 매칭이 이뤄지기도 한다. 즉, 단순히 주기적인 구조물을 구성한 경우에는 두 현상을 동시에 발생시키는 것은 불가능하다. 이를 위해, 본 연구에서는 임피던스 매칭 요소를 단위 구조 안에 포함시키는 주기적 구조물을 제안한다. 이 단위 구조를 반복시켜 주기적 구조물을 구성하면 밴드갭 현

상이 특정 주파수 대역에서 나타나고, 매칭 요소에 의해 매칭시킨 주파수에서 임피던스 매칭 현상이 나타난다. 단위 구조의 형상과 길이에 따라 각각 매칭시키는 주파수와 밴드갭이 발생하는 주파수가 바뀌게 된다. 이를 조절하면 특정 주파수 대역에서는 에너지 전달이 잘 이뤄지는 반면에 특정 주파수 대역에서는 에너지가 감소하도록 설계할 수 있으며, 이를 이용하면 매우 효율적인 탄성파의 기계적 필터를 설계할 수 있다.

2. 임피던스 매칭 요소를 포함한 주기적 구조물

임피던스 매칭 현상과 밴드갭 현상을 동시에 발생시키기 위해서 fig. 1에 있는 단위 구조를 제안한다. 단위 구조는 두 개의 매칭 요소와 하나의 중간 요소(interfacing element)로 이뤄진다. 좌측 매칭 요소는 최적화를 이용하여 원하는 주파수에 매칭이 이뤄지도록 설계한다. 우측 매칭 요소는 매칭 주파수가 유지되도록 좌측 요소를 반전시켜 구성한다. 중간 요소의 경우, 매칭 요소를 설계 시 고려했던 임피던스를 갖고 있어야 한다. 그러면 중간 요소의 길이에 상관 없이 매칭 주파수에서는 모든 에너지가 전달된다. 이와 같은 단위 구조가 반복되더라도 매칭시킨 주파수에서는 에너지가 효율적으로 전달된다. 즉, 매칭 요소만 고려함으로써 높은 효율로 통과하는 주파수 대역을 갖는 주기적 구조물을 설계할 수 있다.

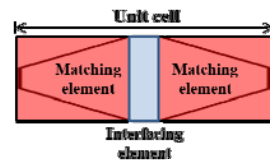


Figure 1 The schematic diagram of the proposed unit cell.

† 교신저자; 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : lik219@snu.ac.kr

Tel : (02)880-1689, Fax : (02)872-5431

* 서울대학교 기계항공공학부 정밀기계설계공동연구소

** 서울대학교 기계항공공학부

*** 서울대학교 기계항공공학부, WCU, 교수

단일 주파수를 매칭시키는 매칭 요소를 포함하고 있는 단위 구조의 경우, 해당 주파수 근처의 차단되는 주파수 대역의 폭이 좁아진다. 또한 이 단위 구조를 반복적으로 연결하더라도 매칭시킨 주파수에서는 모든 에너지가 전달되는 것을 fig.2(b)에서 보여준다. 또한 주기적인 구조물이기 때문에 차단 주파수 대역이 반복적으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 하지만 단순히 매칭만 고려해서 설계할 경우, 차단 주파수 대역이 매칭 주파수 옆에 나타나지 않는다. 또한 단위 요소의 개수를 증가시키더라도 기계적 필터로 사용하기에 충분하게 차단하지 못한다. 이를 위해서 전체 단위 구조의 길이를 원하는 주파수 대역 근처에서 차단 주파수 대역이 생기도록 설정한다. 최적화를 통해서 매칭 요소를 설계할 때, 차단 주파수 대역도 같이 고려한다. 마지막으로 중간 요소의 길이를 조절하여, 차단 주파수 대역의 위치를 결정한다.

이와 같은 방법으로 기계적 필터를 설계할 수 있다. Figure 3에서 500 Hz의 통과 주파수 대역을 갖는 설계된 기계적 필터를 볼 수 있다. 매칭 요소를 설계할 때, 통과 주파수 대역과 차단 주파수 대역을 동시에 고려하여 설계한다. 중간 요소의 길이를 변경시킬 경우, 단위 구조의 길이가 길어져서 차단 주파수 대역의 위치가 조금씩 낮아진다. 이를 이용하

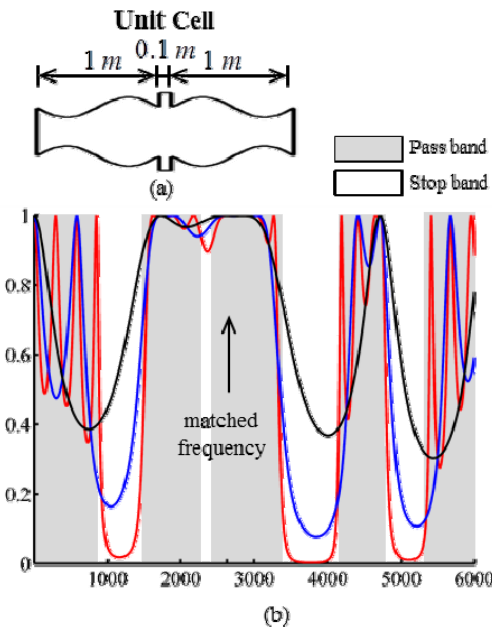


Figure 2 (a) The layout, (b) transmittance of the unit cell with matching element for single frequency

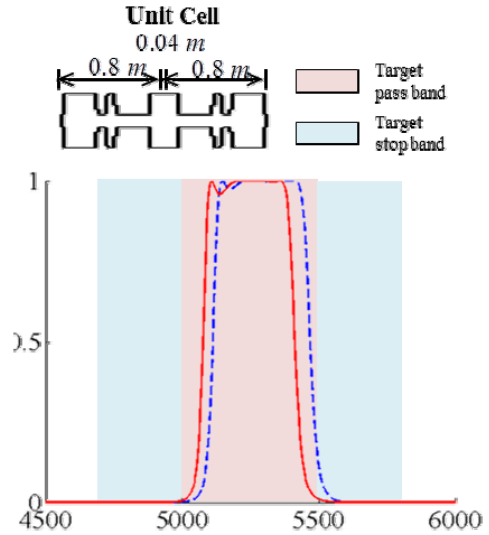


Figure 3 The influence of the length of the interfacing element in two kinds of different mechanical filters (red line for optimal length of interfacing element). (a) The layout, (b) transmittance of designed mechanical filter

면, 차단 주파수 대역을 원하는 주파수에 정확하게 위치시킬 수 있다. 이 기계적 필터의 경우, 중간 요소가 0.04 m일 때 정확한 성능을 보여준다. 이 방법을 이용할 경우, 설계된 기계적 필터와 같이 통과 시키기를 원하는 주파수 대역에서는 거의 모든 에너지를 통과시킬 수 있으며, 반대로 차단시키고자 하는 주파수 대역에서는 1% 미만의 에너지만 통과시킨다. 즉, 매우 해상도가 높은 기계적 필터를 설계할 수 있다.

3. 결 론

임피던스 매칭 현상과 밴드갭 현상을 동시에 이용해서 높은 해상도의 기계적 필터를 설계했다. 공진 현상을 이용하는 방법에 비해 넓은 통과 주파수 대역을 갖고 있다. 또한 최적화를 이용하여 설계를 하기 때문에 다양한 통과 주파수 대역을 갖는 기계적 필터를 설계할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국 연구재단의 중견 연구자 지원 사업(과제번호: 2011-0017445)과 WCU(과제번호: R31-2010-000-10083-0)의 지원을 받은 것으로 이에 감사 드립니다.