

철도구조물의 진동에너지 전달특성에 대한 이해

Vibration Transmission Characteristics of Mechanical and Building Structures in Railway

김정태*· 김태민

Jeung Tae Kim* Taemin Kim

Abstract: This paper has been reviewed transmission characteristics of mechanical and building structures in railway. Depending on the assumption of a beam or a plate, eigenvalues of corresponding structures reveal specific behavior of its physical properties. We will explain some theory of beams and plates at the beginning. Comparison of its physical meaning with experimental data will be followed. Although a mechanical or a building system is constructed with various elements of structures, an individual element has its own dynamic behaviors to be observed by the fundamental physics of the vibration energy transmission.

Keywords: Statistical Energy Analysis, Eigenvalues, Mechanical Vibration, Building Vibration

초 록: 철도분야에 등장하는 구조물은 철재로 구성된 레일이나 교량, 차량 등이 있고, 콘크리트의 재료로 구성되어 있는 침목, 교량, 역사 등의 건축물이 있다. 진동측면, 특히 에너지전달에 지대한 영향을 미치는 굽힘파의 측면에서 보면, 재질의 차이는 재료가 가지고 있는 고유값의 차이에 불과하며 이론적으로는 동일한 물리적 현상이 적용된다.

본 논문에서는 철도분야에 등장하는 다양한 재질로 이루어진 구조물의 진동전달특성을 설명한다. 철도분야에 등장하는 다양하고 복잡한 구조물도 해당구조물을 요소로 분리하면 1차원 보(또는 빔)와 2차원 평판으로 나뉘어 진다. 따라서, 본문에서는 1차원 및 2차원 구조물 요소별로 굽힘파의 전달시 나타나는 진동특성에 대해 이론적인 접근방법을 설명한다. 이와 함께, 해당 요소별로 실험데이터를 활용하여 이론에서 보여주고자 하는 물리적 현상을 기술하면서 설명하고자 한다.

주요어: 통계적 에너지해석, 철도구조물, 1차원 보, 2차원 평판, 고유진동특성, 소음진동

1. 서론

차량구조물, 또는 건축구조물의 요소는 1차원 보(또는 빔)와 2차원 평판으로 이루어져 있다. 구조를 이루고 있는 재료 물성치는 진동에너지의 전파속도를 결정한다. 한편, 전달되는 진동에너지의 공진 등과 연관되는 고유진동 특성은 해당요소가 가지고 있는 단면, 또는 길이 등 물리적 크기에 의해 결정된다

† 교신저자: 홍익대학교 기계시스템디자인공학과 대학원

* 홍익대학교 공과대학 기계시스템디자인공학과(jeungk11@naver.com)

2. 본 론

2.1 굽힘에너지의 전달현상

진동에너지는 주로 굽힘파(bending wave)에 의해 전달되며, 굽힘파가 구조물을 통해 전달되는 속도(phase velocity)는 다음과 같다.

$$C_b = \sqrt{\omega \cdot k \cdot C_l} \quad (1)$$

여기서, C_l 은 평판에서의 종파(longitudinal wave)의 속도로서 $(E/\rho(1-\nu^2))^{1/2}$ 의 값을 가지며, k 는 구조물의 강성과 관련된 값이다. 일정한 두께 h 의 평판에서는 $h/\sqrt{12}$ 의 값을 갖는다.

위 식에서 보는 바와 같이 굽힘파의 속도는 주파수의 함수로서 주파수에 따라 변하는 분산(dispersion)특성을 가지고 있다. 이 특징은 진동에너지를 저장하는데 필요한 구조물의 모드개수와 공진주파수에 큰 영향을 미치게 되며, 이와 관련된 진동전달특성으로는 모드밀도(modal density)와 속도비(mobility)가 있다

2.2 보와 평판의 물리적 특성

평판의 경우 주파수의 변화에 따른 모드개수의 변화는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$n(f) = \frac{dN}{df} = \frac{A}{2 \cdot k \cdot C_l} \quad (2)$$

위에 보여져 있는 식은 2차원 평판구조의 모드밀도를 나타내며 그 역수는 모드간 평균주파수 간격이 된다.

$$\overline{\delta f} = \frac{1}{n(f)} = \frac{t \cdot C_l}{\sqrt{3} \cdot A} \quad (3)$$

따라서, 모드밀도는 일정한 주파수 간격을 두고 나타난다.

한편, 봉이나 빔(beam)과 같은 1차원 구조의 경우, 모드밀도는 다음과 같다.

$$n(f) = \frac{L}{C_b} = \frac{L}{\sqrt{2\pi} \cdot k \cdot C_l} \quad (4)$$

여기서, L 은 구조물의 길이를 나타낸다. 즉 굽힘파(bending wave)의 경우, 1차원 구조물에서의 모드밀도는 주파수에 따라 변하며 모드간 평균 주파수 간격도 일정한 2차원 평판구조와는 달리 \sqrt{f} 비례함을 알 수 있다.

본 발표에서는 기계구조 또는 건축구조의 물리적 특징을 기술하면서 각각의 구조별로 등장하는 고유진동수 패턴을 기술하고자 한다. 이와 함께, 저자가 측정한 바 있는 전달함수 데이터를 가지고 고유진동수가 나타나는 현상을 보여주고자 한다. 관련된 문헌에 보여져 있는 전달함수 자료를 가지고 설명하고자 한다.

3. 결 론

본 자료에서는 철도분야에서 활용되고 있는 차량, 건축물 구조의 진동전달특성을 설명하였다. 차량구조물, 또는 건축구조물의 요소는 1 차원 보(또는 빔)와 2 차원 평판으로 이루어져 있다. 구조를 이루고 있는 재료 물성치는 진동에너지의 전파속도를 결정한다. 전달되는 진동에너지의 공진 등과 연관되는 고유진동 특성은 해당요소가 가지고 있는 단면, 또는 길이 등 물리적 크기에 의해 결정된다. 기계나 건축물 구조에서 보면, 1 차원 봉이나 빔의 경우, 고유진동수가 등장하는 빈도는 \sqrt{f} 에 의해 결정된다. 한편 2 차원 구조인 평판 등과 같은 구조물인 경우, 고유진동수의 등장 빈도수는 재료의 형상에 의해 결정되는 상수값을 보이게 된다.