LAB 12. Impact Hammer Test

**날짜**

2020. 12. 20

**학번/이름**

21600676 조근용

21500461 이건호

21600053 김도연

**1. 실험목표**

서로 다른 네가지 금속재료 외팔보에 대해 임팩트 해머 실험을 수행하여 재료에 따른 고유진동수의 차이를 비교한다. 이때, 질량을 무시할 만큼 작은 가속도센서를 고유진동수 노드와 겹치지 않는 조건에서 부착하여 진동 신호를 측정할 수 있다. 또한, 강철재료에 대해 양단지지 조건에서 임팩트 해머 실험을 수행하여 지지조건에 따른 고유진동수의 차이를 비교, 논의한다.

**2. 실험방법 및 절차**

**2.1. 실험장비**

**<표 1. 실험장비 목록표>**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Specification** | **Company** | **Price** |
| **Frame, Cantilever beam** | STR-1 프레인, 빔 길이 약 625mm(강철, 황동, 알루미늄) | 영일시스템 |  |
| **Accelerometer, Signal conditioner, Impact hammer Set** | 353B15 | PCB Piezotronics | 고가 |
| **Spectrum analyzer** | CF-7200 | Ono Sokki | 고가 |

**2.2. 실험방법 및 유의사항**

**2.2.1. 실험방법**

(1) 외팔보의 적정지점에 1축 가속도계를 부착하고 센서 케이블을 FFT Analyzer에 연결한다.

(2) 임팩트 해머로 짧은 시간 충격을 가해 진동을 발생시키고 신호를 FFT Analyzer로 분석한다.

(3) FFT Analyzer의 스펙트럼 신호로부타 고유진동수 값 4개를 관측한다.

(4) 시간데이터를 받아 FFT 변환하여 스펙트럼 데이터와 일치하는지 확인한다.

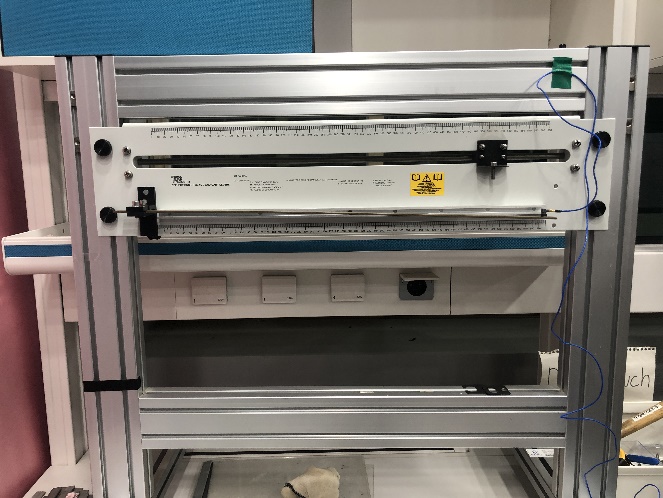
(5) 강철, 황동, 알루미늄에 대해 (1)~(4) 과정을 반복한다.

(6) 강철에 대해 지지조건을 외팔보에서 양단지지로 바꾸고 (1)~(4) 과정을 반복한다.

**2.2.2. 유의사항**

(1) 가속도 센서를 부착할 때 빔의 노드 지점에 부착할시 해당 진동이 관측되지 않으므로 노드가 아닌 곳에 센서를 부착하여야 정밀한 관측이 가능하다.

(2) 해머로 충격을 가할 때 긴 시간 충격을 가할 시 충격 신호가 아닌 Step 신호가 입력되기 때문에 짧은 시간 살짝 충격을 가해야 하고 두 번 충격이 가해지지 않도록 유의한다.



**그림 1. STR-1 프레임 및 외팔보 지지 상태 사진**

**3. 결과 및 분석**

**실험 3.1. 실험 측정**

**3.1.1. 실험 데이터 FFT 변환 스펙트럼 그래프**

실험결과 시간 영역 데이터를 PC로 저장하여 FFT 변환하여 나타내면 고유진동수를 확인할 수 있다.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **그림 2.1. 강철 외팔보 지지** | **그림 2.2. 황동 외팔보 지지** |
|  |  |
| **그림 2.3. 알루미늄 외팔보 지지** | **그림 2.4. 강철 양단 지지보** |

**그림 2. FFT 변환으로 나타낸 각 재료의 고유진동수() 그래프**

**<표 2. 외팔보(강철, 황동, 알루미늄) 및 양단지지(강철) 임팩트 해머 실험 측정 고유진동수>**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** |
| **강철 외팔보** | 6.72 | 42.75 | 118.2 | 230.9 |
| **황동 외팔보** | 4.766 | 29.38 | 83.44 | 163.1 |
| **알루미늄 외팔보** | 6.41 | 41.88 | 115.2 | 227.1 |
| **강철 양단지지보** | 41.88 | 114.1 | 222.71 | 360.78 |

**실험 3.2. 이론 계산값**

**3.2.1. 강철, 황동, 알루미늄 외팔보 지지 조건에서 고유진동수**

외팔보 조건에서 값()

각 재료마다 폭과 높이가 조금씩 다르기 때문에 각각 단면적 A와 관성모멘트 I를 다르게 설정해야 한다. 본 실험에서 측정한 재료의 스펙은 다음과 같다.

* **강철()**
* **황동()**
* **알루미늄()**

**<표 3. 빔 재료별 스펙 정리표>**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **탄성계수 E[GPa]** | **관성모멘트** | **단면적 A []** | **밀도** |
| **강철** |  |  |  |  |
| **황동** |  |  |  |  |
| **알루미늄** |  |  |  |  |

외팔보 지지조건에서 값과 빔의 스펙을 통해 고유진동수 를 계산할 수 있다. 계산식은 다음과 같다.

**<표 4. 외팔보 지지일 때 강철, 황동, 알루미늄 고유진동수 이론 계산값>**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **[rad/s]** | **[rad/s]** | **[rad/s]** | **[rad/s]** |
| **강철** | 42.69 | 267.52 | 749.13 | 1468.07 |
| **황동** | 31.75 | 199.01 | 557.27 | 1092.08 |
| **알루미늄** | 47.37 | 296.85 | 831.25 | 1629.01 |
|  | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** |
| **강철** | 6.79 | 42.58 | 119.23 | 233.65 |
| **황동** | 5.05 | 31.67 | 88.69 | 173.81 |
| **알루미늄** | 7.54 | 47.24 | 132.3 | 259.26 |

**3.2.2. 양단지지 조건에서 강철 빔의 고유진동수**

양단지지 조건에서 값은 다음과 같다.()

**실험 3.2.1** 에서 강철의 스펙을 이용해 동일한 방법으로 고유진동수를 계산하면 다음과 같이 정리된다.

**<표 5. 양단지지 조건에서 강철 고유진동수 이론 계산값>**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **강철** | **[rad/s]** | **[rad/s]** | **[rad/s]** | **[rad/s]** |
| 271.64 | 749.01 | 1467.91 | 2426.39 |
| **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** |
| 43.23 | 119.21 | 233.62 | 386.17 |

**실험 3.3. 시뮬레이션**

ANSYS를 통해 각 실험 모델의 연직 방향 횡진동에 대한 공진 주파수를 구하고, 모드 쉐입을 확인한 결과는 다음과 같다.

**3.3.1. 외팔보 지지에서 시뮬레이션을 통한 고유진동수 관측**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | |
| **그림 3.1. Mode shape 1 (6.81 Hz)** | **그림 3.2. Mode shape 2 (43.03 Hz)** | |
|  | |  |
| **그림 3.3. Mode shape 3 (119.52 Hz)** | | **그림 3.4. Mode shape 4 (234.19 Hz)** |

**그림 3. 강철 외팔보의 ANSYS 시뮬레이션 결과**

|  |  |
| --- | --- |
| **그림 4****.1. Mode shape 1 (5.33 Hz)** | **그림 4****.2. Mode shape 2 (33.38 Hz)** |
| **그림 4****.3. Mode shape 3 (93.46 Hz)** | **그림 4****.4. Mode shape 4 (183.12 Hz)** |

**그림 4. 황동 외팔보의 ANSYS 시뮬레이션 결과**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **그림 5.****1. Mode shape 1 (7.49 Hz)** | **그림 5.****2. Mode shape 2 (46.96 Hz)** | |
| **그림 5.****3. Mode shape 3 (131.46 Hz)** | | **그림 5.****4. Mode shape 4 (257.57 Hz)** |

**그림 5. 알루미늄 외팔보의 ANSYS 시뮬레이션 결과**

**3.3.3. 실험측정, 이론, 시뮬레이션에서의 고유진동수 값 비교표**

**<표 6. 강철(외팔보) 고유진동수 비교표>**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** |
| **Experiment** | 6.72 | 42.75 | 118.2 | 230.9 |
| **Theory** | 6.79 | 42.58 | 119.23 | 233.65 |
| **Simulation** | 6.81 | 42.69 | 119.52 | 234.19 |

**<표 7. 황동(외팔보) 고유진동수 비교표>**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** |
| **Experiment** | 4.766 | 29.38 | 83.44 | 163.1 |
| **Theory** | 5.05 | 31.67 | 88.69 | 173.81 |
| **Simulation** | 5.33 | 33.38 | 93.46 | 183.12 |

**<표 8. 알루미늄(외팔보) 고유진동수 비교표>**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** |
| **Experiment** | 6.41 | 41.88 | 115.2 | 227.1 |
| **Theory** | 7.54 | 47.24 | 132.3 | 259.26 |
| **Simulation** | 7.49 | 46.96 | 131.46 | 257.57 |

**<표 9. 강철(양단지지) 고유진동수 비교표>**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** |
| **Experiment** | 41.88 | 114.1 | 222.71 | 360.78 |
| **Theory** | 43.23 | 119.21 | 223.62 | 386.17 |
| **Simulation** | 43.46 | 119.77 | 234.75 | 387.99 |

**4. 토의**

**4.1. 실험, 이론, 시뮬레이션의 비교 및 논의**

**<표 10. 실험, 이론, 시뮬레이션에서 고유진동수 값의 오차>**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** | **[Hz]** |
| **강철(외팔보)** | **Experiment** | 1.03[%] | 0.40[%] | 0.86[%] | 1.18[%] |
| **Simulation** | 0.29[%] | 1.06[%] | 0.24[%] | 0.23[%] |
| **황동** | **Experiment** | 5.54[%] | 7.23[%] | 5.92[%] | 6.16[%] |
| **Simulation** | 5.54[%] | 5.40[%] | 5.38[%] | 5.36[%] |
| **알루미늄** | **Experiment** | 17.63[%] | 12.80[%] | 14.84[%] | 14.16[%] |
| **Simulation** | 0.27[%] | 0.23[%] | 0.27[%] | 0.29[%] |
| **강철(양단지지)** | **Experiment** | 2.93[%] | 4.48[%] | 0.41[%] | 7.04[%] |
| **Simulation** | 0.51[%] | 0.47[%] | 4.74[%] | 0.47[%] |

외팔보에서의 강철과 양단지지에서의 강철의 경우 이론값과 실험값, 시뮬레이션 값의 오차가 5[%]내외로 났기 때문에 실험과 시뮬레이션은 유효했다고 판단한다.

하지만 외팔보에서의 알루미늄 빔의 경우 평균 14.86[%], 황동 빔의 경우 5.81[%] 정도로 다소 큰 오차를 보여준다. 오차가 발생할 수 있는 요인들은 다음과 같다.

(1) 임팩트 해머 실험에서 충격을 가할 때 이상적인 충격 신호를 가하는 데에 한계가 있다.

이상적인 충격 신호(impulse signal)은 신호 전달 시간이 0에 수렴하는데 아무리 짧게 충격을 준다고 해도 해머와 빔의 접촉시간이 어느정도 존재하기 때문에 오차가 발생할 수 있다.

(2) 가속도 센서의 부착 위치 및 노이즈에 영향으로 오차가 발생할 수 있다.

**2.2.2 유의사항**에서 언급했듯 가속도 센서가 노드 지점에 부착되면 해당 노드에서 진동이 측정되지 않는 문제가 발생한다. 따라서 본 실험에서도 노드 지점을 벗어나도록 가속도 센서를 부착하였지만 정확한 계산을 통해 위치를 정한 것이 아니기 때문에 오차의 요인이 될 수 있고 또한 노이즈에 의한 영향도 간과할 수 없다.  
(3) 주어진 시편에 대한 측정값의 정확도의 차이가 존재한다.

본 실험은 시간대별로 나눈 팀마다 빔의 재료에 대한 스펙 측정값이 다 달랐다. 버니어 캘리퍼스라는 측정 도구의 특성상 0.05[mm] 단위로 정밀하게 잴 수 있지만 측정자에 따라 아들자의 일치선을 보는 기준이 달라 측정의 차이가 있었다. 본 실험에서 잰 빔의 측정값에서 높이에 따라 차이가 다소 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 강철 빔은 3[mm] 높이, 황동과 알루미늄 빔은 각각 3.25[mm], 3.3[mm] 로 0.3[mm] 정도의 차이가 있었는데 높이의 작은 차이가 관성 모멘트에서 큰 차이를 발생시키기 때문에 고유진동수 값에 영향을 미칠 수 있다. **표 10**의 오차 비교표에서 강철빔에서는 실험, 이론값, 시뮬레이션의 오차가 작고 실험 진행에 큰 변화가 없었다는 것을 감안하였을 때 황동과 알루미늄 빔의 높이 값이 다소 높게 측정된 것을 오차의 원인으로 추정할 수 있다.

**4.2. 빔 재료와 지지조건(경계조건)의 영향, 빔 재료의 영향 논의**

**4.2.1. 빔 재료의 영향**

고유 주파수를 결정하는 재료적 요인은 탄성계수 E와 밀도 이다. 외팔로 고정시킨 실험에서 강철, 황동, 알루미늄의 재질을 비교해 보았을 때 다음과 같다.

위 식을 비교해 보았을 때, 강철과 알루미늄의 탄성계수 비율이 밀도의 비율과 비슷하기 때문에 비슷한 고유 진동수를 가진다. 하지만 황동의 경우에는 탄성계수에 비해 밀도가 높기 때문에 강철과 알루미늄에 비해 낮은 고유진동수를 갖는 것을 확인할 수 있다.

**4.2.2. 지지조건(경계조건)의 영향**

강철 빔을 외팔보로 고정했을 때의 실험과 양단지지 했을 때의 고유진동수를 비교해 보았을 때 양단지지의 고유진동수가 훨씬 높은 값을 가진다. 이는 한쪽을 고정했을 경우보다 양쪽 모두를 지지했을 경우에 빔의 강성이 증가하는 효과를 내기 때문이다. 이 때, 빔의 강성은 로 나타나는데 고유진동수는 에 비례하여 증가하게 된다. 외팔보에서 가 양단지지에서 과 비슷하고 외팔보에서 가 양단지지에서 와 비슷한 값을 갖는 것을 보아 양단지지에서 고유진동수가 외팔보에서 보다 더욱 크게 측정될 것을 예상할 수 있고 실제 실험 및 시뮬레이션을 통해 확인하였을 때에도 예상과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 또한 지지조건에서 고유진동수의 차이는 빔의 길이가 짧을수록 더 커질 것으로 예상할 수 있다.

**4.3. 빔의 끝을 손으로 누른 FFT 결과와 임팩트 해머 실험의 차이점 논의**

임팩트 해머를 사용해서 구조물에 가진을 주게 되면 충격 시간이 매우 짧다는 가정 하에 임펄스 신호를 가할 수 있다. 임펄스 함수는 모든 주파수 대역에서 에너지를 포함하고 있고 동일한 크기의 진폭으로 가진이 가능하기 때문에 고주파 영역의 고유진동수를 찾을 수 있다.

하지만 빔의 끝을 손으로 눌렀다 갑자기 뗄 경우에 구조물에 스텝 신호를 가한 것으로 볼 수 있다. 이 경우에는 모든 주파수 대역에서 충분하게 가진 시키지 못하기 때문에 고주파 영역에서의 고유진동수를 찾을 수 없다.

시간 영역에서의 Impulse function은 다음과 같은 식으로 표현된다.

위 식을 주파수영역으로 옮기면 다음과 같다.

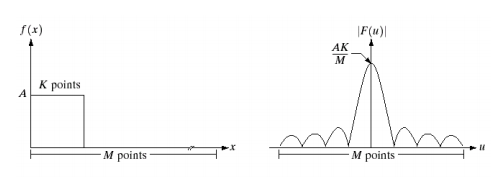


**그림 6. 임펄스 함수 및 FFT**

시간영역에서의 unit step function은 다음과 같은 식으로 표현된다.

Unit step function을 푸리에 변환을 통해 주파수 영역에서의 식을 알아보기 위해, 먼저 이라는 부호함수를 통해 감쇠를 준다. 그 후 unit step function과 부호함수와의 관계를 이용해 unit step function의 푸리에 변환을 구한다.

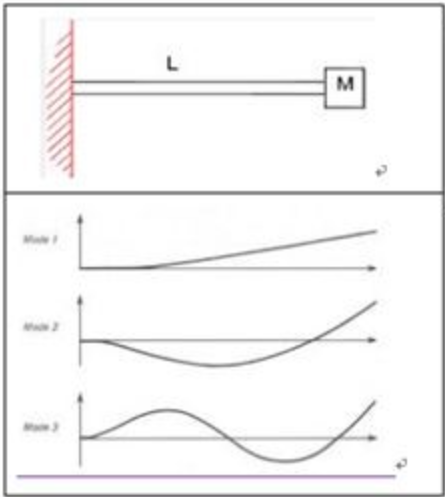
이때의 는 디렉 델타 함수이다.



**그림 7. 스텝 함수 및 FFT 결과**

**그림 6, 그림 7**의FFT 결과를 보면 임펄스 함수는 모든 주파수 대역에서 동일한 크기를 보여주고 있다. 하지만 스텝 함수는 낮은 주파수 영역에서 큰 값을 갖는 반면 높은 주파수 영역으로 갈수록 값이 크게 떨어지기 때문에 높은 주파수의 고유진동수는 상대적으로 측정이 잘 되지 않는다. 따라서 실험의 정밀도가 떨어지기 때문에 최대한 이상적인 임펄스 함수에 가깝도록 짧은 시간 충격을 주는 것이 중요하다.

**4.4. 가속도 센서의 부착 위치가 실험결과에 미치는 영향 논의**



**그림 8. 외팔보에서의 모드 쉐입**

**그림 8**의 외팔보에서의 모드1, 2, 3의 쉐입에서 진폭이 큰 부분에 가속도 센서를 부착하면 신호의 차이가 확실히 측정되기 때문에 고유진동수를 명확히 측정할 수 있는 반면에 진폭이 0인 부분, 즉 진동신호가 측정되지 않는 부분이 발생한다. 이 부분을 노드라고 하며, 노드에 가속도 센서를 부착하게 되면 해당하는 모드에서의 고유 진동수를 찾을 수 없기 때문에 이 부분을 피해서 가속도 센서를 부착해야 한다. 노드는 각 모드마다 다른 위치로 나타나기 때문에 가속도 센서의 부착 위치를 변경해가며 모든 모드에 대해 노드 지점과 일치하지 않는 지점을 찾고 그 지점에 부착할 수 있도록 여러 번 측정해야 올바른 실험이 될 수 있다.

**5. 결론**

본 실험을 통해 강철, 황동, 알루미늄 빔에 대하여 각각 외팔보 지지일 때 임팩트 해머 실험을 수행하여 고유진동수를 측정할 수 있었다. 실험 뿐만 아니라 이론값을 통한 계산, 시뮬레이션을 통한 추정으로 각 값을 비교하며 오차를 발생하는 요인과 재료의 성질에 따른 고유진동수 값의 차이를 확인할 수 있었다. 강철과 알루미늄은 탄성계수와 밀도가 같은 비율인 반면 황동은 탄성계수가 밀도에 비해 작아 고유진동수가 작게 측정되었다. 또한 강철빔에 대하여 양단지지 조건에서 임팩트 해머 실험을 추가로 진행하여 지지조건에 따른 고유진동수의 차이를 확인할 수 있었다. 이 때, 양단지지에서 빔의 강성이 상대적으로 커져 고유진동수가 크게 측정되었다.

추가로 빔의 길이에 따라 고유진동수의 차이가 클 것으로 새롭게 예상하였기 때문에 추후 실험을 할 수 있다면 지지조건과 빔의길이를 변경하며 고유진동수의 차이를 비교하는 실험도 의미있겠다는 결론을 얻었다.

**6. 참조**

**https://www.astro.umd.edu/~lgm/ASTR410/ft\_ref2.pdf**