**<결과 레포트>**

**10주차 줄의 파형 발생**

|  |
| --- |
| 일반물리실험 / 9분반 |
| 담당조교 박제명 |
| 2021년 5월 27일 |
| 화공생명공학과 / 2학년 |
| 20181736 |
| 김태현 |

1. 실험 목적

진동하는 줄내에서 정상파를 관찰하여 공명주파수에 대한 줄의 선형밀도, 길이, 장력 그리고 파장 등의 관계를 알아본다.

1. 데이터 정리
2. 가는 줄의 진동

가는 줄 선형밀도 = 0.133333g/m

추의 질량 = 200g

1. 줄의 길이 1m

추 질량 200g

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 차수(n) | 파장(m) | 공명주파수 (측정값, Hz) | | | |
| 1 | 2 | 3 | 평균 |
| 1 | 2 | 66.0 | 66.4 | 66.1 | 66.2 |
| 2 | 1 | 130 | 131.1 | 130.9 | 130.7 |
| 3 | 0.6667 | 195.7 | 195.7 | 195.1 | 195.5 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 차수(n) | 공명주파수 (이론값, Hz) | 오차율 (%) | 파동속도 (m/s) |
| 1 | 60.6 | 9.16 | 121 |
| 2 | 121.3 | 7.76 | 121 |
| 3 | 181.9 | 7.46 | 121 |

1. 줄의 길이 0.8m

추 질량 200g

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 차수(n) | 파장(m) | 공명주파수 (측정값, Hz) | | | |
| 1 | 2 | 3 | 평균 |
| 1 | 1.6 | 73.0 | 73.2 | 72 | 72.7 |
| 2 | 0.8 | 143.6 | 142.5 | 144.0 | 143.4 |
| 3 | 0.5333 | 215.4 | 215 | 216 | 215.5 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 차수(n) | 공명주파수 (이론값, Hz) | 오차율 (%) | 파동속도 (m/s) |
| 1 | 75.8 | 4.09 | 121 |
| 2 | 151.6 | 5.41 | 121 |
| 3 | 227.4 | 5.24 | 121 |

1. 장력에 따른 공명주파수의 변화

줄의 길이 0.8m

추의 질량 = 200g, 300g, 400g

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 추의 질량(g) | 파장(m) | 세번째 공명주파수 (측정값, Hz) | | | |
| 1 | 2 | 3 | 평균 |
| 200 | 0.5333 | 216.1 | 215 | 215.4 | 215.5 |
| 300 | 0.5333 | 263.4 | 265 | 264.5 | 264.3 |
| 400 | 0.5333 | 308.7 | 307 | 308.1 | 307.9 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 추의 질량(g) | 공명주파수 (이론값, Hz) | 오차율 (%) | 파동속도 (m/s) |
| 200 | 227.4 | 5.23 | 121 |
| 300 | 278.5 | 5.10 | 149 |
| 400 | 321.6 | 4.26 | 172 |

1. 굵은 줄의 진동

굵은 줄 선형밀도 = 0.4000g/m

1. 줄 길이 1m

추 질량 200g

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 차수(n) | 파장(m) | 공명주파수 (측정값, Hz) | | | |
| 1 | 2 | 3 | 평균 |
| 1 | 2 | 40.0 | 40.2 | 40.7 | 40.3 |
| 2 | 1 | 81.2 | 81.7 | 80.9 | 81.3 |
| 3 | 0.6667 | 115.5 | 115.7 | 115 | 115.4 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 차수(n) | 공명주파수 (이론값, Hz) | 오차율 (%) | 파동속도 (m/s) |
| 1 | 35.0 | 15.1 | 70.0 |
| 2 | 70.0 | 16.1 | 70.0 |
| 3 | 105.0 | 9.90 | 70.0 |

1. 줄 길이 0.8m

추 질량 200g

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 차수(n) | 파장(m) | 공명주파수 (측정값, Hz) | | | |
| 1 | 2 | 3 | 평균 |
| 1 | 1.6 | 44.2 | 44 | 44.2 | 44.1 |
| 2 | 0.8 | 92.8 | 92.5 | 92.6 | 92.6 |
| 3 | 0.5333 | 136.8 | 136.5 | 136.7 | 136.7 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 차수(n) | 공명주파수 (이론값, Hz) | 오차율 (%) | 파동속도 (m/s) |
| 1 | 43.8 | 0.766 | 70.0 |
| 2 | 87.5 | 5.79 | 70.0 |
| 3 | 131.3 | 4.12 | 70.0 |

1. 장력에 따른 공명주파수 변화

줄 길이 0.8m

추의 질량 = 200g, 300g, 400g

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 추의 질량(g) | 파장(m) | 세번째 공명주파수 (측정값, Hz) | | | |
| 1 | 2 | 3 | 평균 |
| 200 | 0.5333 | 137 | 136.1 | 136.8 | 136.6 |
| 300 | 0.5333 | 168 | 166.4 | 167.0 | 167.1 |
| 400 | 0.5333 | 194.1 | 192 | 193.2 | 193.1 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 추의 질량(g) | 공명주파수 (이론값, Hz) | 오차율 (%) | 파동속도 (m/s) |
| 200 | 131.3 | 4.04 | 70.0 |
| 300 | 160.8 | 3.92 | 85.8 |
| 400 | 185.7 | 4.00 | 99.0 |

1. 결과 분석
2. 파동

파동은 어떠한 매질을 통하여 운동이나 에너지가 전달되는 현상으로, 크게 역학적 파동, 전자기파, 물질파로 나뉜다. 우리가 일상생활에서 흔하게 접할 수 있는 파동은 역학적 파동으로 음파, 지진파 등이 속한다. 역학적 파동은 뉴턴의 운동법칙을 따르고, 매질 안에서만 존재한다. 파동이 한쪽 끝에서 다른 쪽 끝으로 움직일 때 매질은 파동을 따라 움직이지 않는다. 파동의 형태는 시간과 줄의 요소의 위치에 대한 함수로 표현될 수 있는데, 우리가 일반적으로 볼 수 있는 사인 함수 형태의 파동의 함수는 다음과 같다.

y = 변위 ym = 파동의 진폭 k = 각파동수 ω = 각진동수

1. 파동의 요소

파동의 진폭(ym)은 파동에 의하여 줄의 요소들이 평형위치에서 벗어나 움직일 때 최대 변위의 크기이다. 진폭은 변위의 ‘크기’이므로 항상 양의 값을 가진다.

파동의 파장(λ)은 파동이 계속 이어질 때 반복되는 형태의 길이이다. 줄의 한 점에서 파장의 배수만큼 이동하는 경우에는 파동 함수의 값이 같다. 사인 함수 형태의 파동의 경우에는 각도가 0에서 2π만큼 증가할 때마다 주기적으로 형태가 반복되므로 2π/λ는 파동의 각파동수로 정의된다.

파동의 주기(T)는 줄의 요소가 완전히 한 번 진동하는데 걸리는 시간이다. 사인 함수 형태의 파동의 경우에는 각도가 0에서 2π만큼 증가할 때마다 주기적으로 형태가 반복되므로 2π/T는 파동의 각진동수로 정의된다.

파동의 진동수(f)는 파동의 주기의 역수로 정의된다. (f = 1/T)

1. 파동의 속력

파동의 속력(v)은 일정한 시간간격만큼 파동이 움직인 거리이다. 파동의 속력은 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

즉 파동의 속력은 한 주기당 파장으로 정의된다.

1. 정상파

정상파는 정지파로도 불리며 반대 방향으로 움직이는 동일한(진동수와 진폭이 같은) 사인 파동이 서로 간섭하면서 정상파가 생긴다. 그러므로 양끝이 고정된 실에서 진행되는 파동이 실의 먼 끝에서 반사되어 돌아올 때와 같다. 이러한 파동은 좌우로 진행하지 않고 변위의 최대점이나 최소점이 변하지 않는다.

1. 공명

정상파는 실의 한쪽 끝이 고정되어 있어서 파동에서 이 끝이 파동의 마디가 되어야 한다. 이를 위해서는 정상파의 진동수가 제한되는데, 이는 다음식과 같다.

이와 같은 상태를 줄이 공명한다고 하고, 가능한 진동수를 공명진동수라고 부른다.

1. 정상파에서의 파동의 속력

정상파에서의 파동의 속력은 일반 파동과 조금 다르다. 이 경우는 줄에 가해진 장력과 매질의 특성에 따라서 정해진다. 파동이 물이나 공기와 같은 매질을 통해 전달되려면 매질의 입자들이 진동하게 만들어야 한다. 이를 위해서는 매질이 질량과 탄성을 가져야 하고 이 두 특성이 파동이 매질속에서 움직이는지를 결정한다. 뉴턴의 제2법칙을 통해 식을 유도해보면 팽팽히 당겨진 줄에서의 파동의 속력은 다음과 같은 식으로 나온다.

위의 식에서 볼 수 있듯이 같은 실에서 장력이 같으면 파동의 속력은 모두 같다. 즉 파동의 진동수에 의존하지 않는 것이다. 위에서 확인한 정상파의 진동수와 속력의 관계를 통해 우리는 최종적인 정상파의 공명진동수에 대한 식을 알 수 있다.

장력이 동일한 실험, 즉 추의 무게가 동일한 실험에서는 진동의 차수가 2배, 3배가 될수록 실의 파장은 1/2배, 1/3배가 되며 진동의 차수와 실의 파장이 반비례함을 알 수 있었다. 그리고 진동의 차수가 2배, 3배가 되어도 실의 파동속도는 변하지 않았다. 위에서 볼 수 있듯이 파동의 속력은 파동의 진동수에 의존하지 않기 때문이다. 공명 주파수의 경우 위의 식을 통해 구한 이론값(진동의 차수가 n배가 될수록 주파수도 n배가 된다)과 실험값이 15%이내의 오차율을 보이며 일치함을 확인할 수 있다.

줄의 길이가 상대적으로 짧은 진동에서는 줄이 긴 진동에 비하여 파장이 짧고, 그에 따라서 주파수가 높다. 그 외에 다른 사항은 없다.

줄에 가해지는 장력이 다른 실험, 즉 추의 무게가 다른 실험에서는 진동의 파장은 같았지만 진동의 속도와 공명주파수가 각각 달랐다. 위의 식에서 볼 수 있듯이 진동의 속도와 공명주파수는 줄에 가해지는 장력의 제곱근에 비례한다. 진동의 공명주파수는 이론값과 실험값이 5%이내의 오차를 가지며 일치함을 확인할 수 있다.

줄의 선형밀도가 다른 실험에서는 같은 실의 길이, 같은 장력에서도 공명주파수와 파동의 속도가 달랐다. 공명주파수와 파동의 속도는 줄의 선형밀도의 제곱근에 반비례하므로 줄이 더 무거운 두번째 실험이 전체적으로 공명주파수와 파동의 속도의 값이 작았다.

1. 질문
2. 실험결과로부터 줄의 선형밀도, 장력 그리고 길이에 대한 공명주파수는 어떤 관계를 가지는가?

줄의 선형밀도가 작을수록, 장력이 클수록, 줄의 길이가 짧을수록 공명주파수는 증가한다.

1. 공명 주파수가 아닌 주파수로 진동하는 진동자에 대해서는 눈에 띄는 진동이 관측되지 않는 이유는 무엇인가?

공명 주파수가 아닌 주파수로 진동하는 진동자는 줄의 고정된 양쪽 끝에서 진동이 계속 반사되어 중첩되므로 서로 간섭이 계속 일어나서 진동이 상쇄된다.

1. 장력을 측정하여 기타를 튜닝하는 기계를 만들어 각 음에 대한 장력의 값을 얻었다. 기타줄의 길이를 두 배로 하고 선밀도를 반으로 줄여서 악기를 만들 때, 같은 음을 내기 위해서는 튜닝 기계에 측정되는 장력이 이전과 비교하여 어떠한 값을 가지는가?

같은 음을 내려면 음의 진동의 주파수가 같아야 한다. 줄의 길이는 주파수에 반비례하고, 줄의 선밀도의 제곱근이 주파수에 반비례하므로 줄의 주파수가 같게 만들기 위해서는 줄의 장력이 2배가 되어야 한다.

1. 줄의 공명과 관의 공명에 대한 차이점을 분석하라. 그리고 양쪽이 열린 개관과 한쪽이 닫힌 폐관의 차이는 무엇인가?

관의 공명은 적절한 파장의 진동이 들어올 때 공기가 진동하며 정상파를 발생하는 것으로, 줄의 공명은 줄 자체가 가로 진동을 하지만 관의 공명은 관 내부의 공기가 세로 진동을 하는 것이다. 그리고 관이 공명에서는 진동의 마디가 아닌 배 부분이 관의 끝에 온다. 양쪽이 열린 개관은 열린 양쪽 끝에 배가 생긴다. 그러므로 다음과 같은 공명주파수를 가진다.

한쪽이 열린 폐관의 경우는 열린 끝에는 진동의 배가 생기고 닫힌 끝에는 진동의 마디가 생긴다. 그러므로 다음과 같은 공명주파수를 가진다.

1. 토의

이번 실험은 줄의 정상파를 관찰하여 분석하고 줄의 선형밀도와 진동수, 속도, 장력 등의 상호관계를 알아보는 실험이었다. 줄의 길이, 줄의 선형밀도, 장력(줄에 다는 추)를 각각 다르게 하며 줄의 공명 주파수를 확인하였다. 조금의 오차가 발생하기는 했지만 이를 통해 각 요소가 공명주파수에 어떠한 영향을 미치는지를 알 수 있었다.

실험의 오차원인은 크게 두가지가 존재한다. 첫번째로는 실을 고정시킨 도르래와 무게추가 실이 진동할 때 같이 진동하는 것이다. 고정되어 움직이지 않아야 하는 실의 양 끝이 조금씩 진동한다면 오차가 발생할 수밖에 없다. 실험 영상에서도 무게추가 실이 진동할 때 약간 진동하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 줄의 선형밀도가 높은 줄이 낮은 줄보다 일부 오차율이 더 높게 나왔는데, 이는 선형밀도가 높은 줄의 진동이 도르래와 무게추에 더 많은 영향을 끼쳤다고 생각할 수 있다. 두번째로는 공기의 흐름이나 다른 외부의 진동과 같은 요인이다. 실험기구를 통해서 약한 진동을 사용하므로 공기의 흐름이나 다른 외부의 진동(밖에서 큰 트럭이 지나가는 것, 건물이 강한 바람을 맞는 것, 실험실 근처에서 사람들이 걷거나 무거운 물건을 옮기는 것, 컴퓨터와 같은 기계의 진동 등등)에 의해서도 조금씩 영향이 있을 것이다.

정상파와 공명은 실생활에서 흔히 볼 수 있다. 우리가 기타를 칠 때, 줄의 정상파는 주변의 공기를 주기적으로 밀고 당기며 같은 진동수의 음파를 만들어 낸다. 두껍고 무거운 줄, 즉 선형밀도가 높은 줄은 진동수가 낮아서 낮은 소리를 내고, 선형밀도가 낮은 줄은 진동수가 높아서 높은 소리를 낸다. 관악기의 경우는 관 내부에서 공기가 정상파로 작용하여 소리를 낸다. 관악기는 관의 길이를 조정하여 소리의 높낮이를 조절한다. 바순처럼 상대적으로 길이가 긴 악기는 낮은 소리를 내고, 피콜로처럼 상대적으로 길이가 짧은 악기는 높은 소리를 낸다. 피아노는 망치가 때리는 줄의 길이를 달리하여 음의 높낮이를 구현한다.

1. 참고 문헌

일반물리학 실험 매뉴얼, 서강대학교 물리학과

할리데이 외 2인, 일반물리학 1권, 범한서적주식회사, 10판, p514~525 p540~544 p553~555 p570~572