

실험 10. 줄의 파형 발생

1. 목적

진동하는 줄(횡파) 내에서 정상파를 관찰하여 공명주파수에 대한 줄의 선형밀도, 길이, 장력 그리고 파장 등의 관계를 알아본다.

2. 이론

양쪽 끝이 고정된 줄(String)을 진동시키면 줄을 따라 진동수와 진폭이 같은 두 파동이 양 끝에서 반사되어 서로 반대방향으로 진행하게 된다. 이러한 파동은 일반적인 간섭법칙에 따라 결합하는데 어떤 조건(공명) 하에서는 정상진동의 형태인 정상파 (Standing Wave)가 생긴다. 즉, 기본주파수 또는 그 정수배로 줄을 진동시키면 줄 내에서 정상파가 형성되고 이때 높은 주파수를 배음(harmonics)이라 부른다. **그림 1** 과 같이 질량 선형밀도 μ 인 줄에 장력 T 가 작용하고 있을 때 속도 v 로 진행하는 정상(stationary)파가 있다고 가정하면, 파동의 미소부분에 대해 수평성분의 힘은 0 이 되고 수직성분의 힘은 복원력 F 로 나타날 것이다.

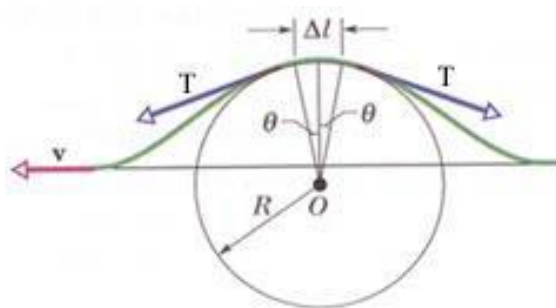


그림1. 파동의 전파모양

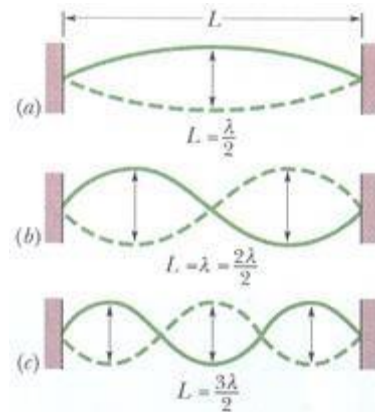


그림2. 양쪽 끝이 고정 된 줄의 진동모드

그림1로부터 **수식(1)**의 관계를 얻을 수 있다. 줄의 질량은 선형밀도에 줄의 미소길이를 곱한 값으로 나타낼 수 있으며, 등속으로 운동하는 미소길이에서 가속도는 구심가속도로 **수식(2)**와 같이 나타낼 수 있다.

$$F = 2T \sin \theta \approx T(2\theta) = T\left(\frac{\Delta l}{R}\right) \quad \dots (1)$$

$$\Delta m = \mu \Delta l, a = \frac{v^2}{R} \quad \dots (2)$$

수식(1)과 수식(2)의 관계는 뉴턴의 제 2법칙($F=ma$)에 의해 수식(3)이 성립한다.

$$F = T\left(\frac{\Delta l}{R}\right) = (\mu \Delta l) \frac{v^2}{R} \quad \dots(3)$$

따라서 줄에 전달되는 횡파의 속도 v 는

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \dots(4)$$

이다. 그림2와 같이 줄의 양쪽이 고정되어 있다면 정상파의 파장 λ 은

$$\lambda = \frac{2L}{n}, (n=1, 2, 3, \dots) \quad \dots(5)$$

이며, $f = \frac{v}{\lambda}$ 관계식으로부터 고유진동수 f 는 수식(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \dots(6)$$

수식(6)을 변형하여 선형밀도 μ 에 대한 관계식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\mu = \frac{n^2 T}{4 f^2 L^2} \quad \dots(7)$$

여기서 n 은 정상파의 배의 수와 같고 $n=1$ 일 때가 기본진동에 해당하며, $n=2, 3, \dots$ 일 때가 2배, 3배의 진동이 된다.

3. 기구와 장치

기구와 장치	Equipment	수량	비고
850인터페이스	850 Interface	1	
진동자	Vibrator	1	
유니버설 클램프	Universal clamp	1	
지지대(50, 70cm)	Rod	1ea	
막대 도르래	Pulley	1	
직각 클램프	90° clamp	1	
전자저울	Electronic scale	1	
무게 추 세트	Weights set	1	
가느줄, 굵은줄	Thin, thick string	1ea	
전선(흑, 적)	Electric wire	1ea	

4. 실험 방법

주 의 사 항

- 유니버설 클램프를 단단히 고정시켜 지지대가 쓰러지지 않도록 하며.
- 직각 클램프를 단단히 고정시켜 추가 달린 실이 도르래에서 떨어지지 않도록 주의한다.
- 함수발생기에서 15V 이하의 진폭조건에서 실험한다.

- ① 실험에 앞서 먼저 줄에 대한 선형밀도를 확인한다. 줄의 선형밀도는 줄의 전체질량 M 을 전체길이 L 로 측정하여 나눈 값으로 계산할 수 있다. 줄을 약 1.5m 로 자르고, 전자저울을 이용하여 질량을 측정하여 줄의 선형 밀도(질량/길이)를 계산한다. 저울이 줄 1m 의 질량을 잴 수 있을 정도로 정밀하지 않은 경우에는 훨씬 더 긴 줄의 질량과 길이를 측정한 다음, 그 측정값으로 선형밀도를 계산한다.
- ② 테이블의 끝에 유니버설 클램프를 설치하고 진동자를 그림3. 줄의 파형 발생장치와 같이 설치하여 실험장비를 구성한다. 이 때 진동자의 패널이 위쪽 방향을 향하게 설치한다.
- ③ 줄을 진동자의 연결 부위에 연결한 다음 다른 쪽은 실험장치의 도르래를 통과한 후 아래로 늘어뜨린다.
- ④ 진동자와 도르래의 간격을 약 100 cm 정도로 고정시키고 그 값을 측정한다. 줄을 진동자의 날에 묶고 도르래에 위에 늘어뜨린 다음에 원하는 장력의 추를 줄의 끝에 매단다. 추의 질량(m)을 기록한다.
- ⑤ 기록한 추의 질량에 중력가속도를 곱하여 줄의 장력($F=mg$)을 계산한다. 줄의 장력과 선형밀도를 이용하여 이론적인 공명주파수를 계산한다
- ⑥ 파형 발생장치 또는 850 인터페이스 우측의 신호발생기에 진동자와 전선(흑,적)으로 연결한다.

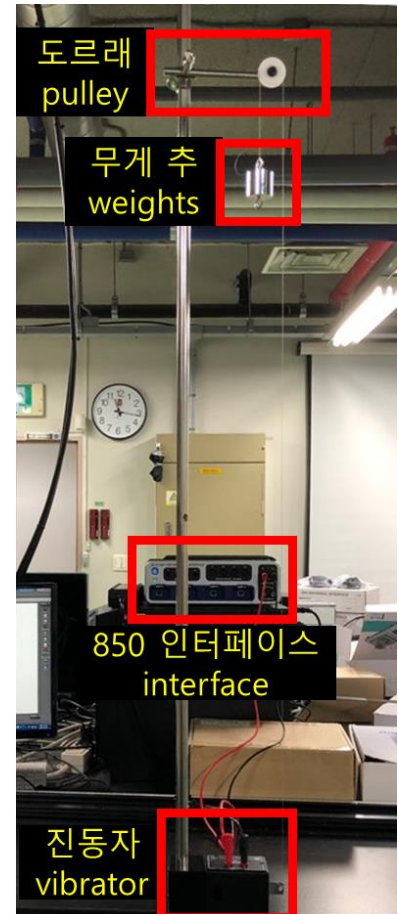


그림3. 줄의 파형 발생장치



그림4. 850 인터페이스의 신호발생기와 진동자의 연결방법

- ⑦ 패널 상에서 주파수와 진폭값을 설정하고, 주파수 값을 변화시켜 마디가 1개가 되는 정상파를 관찰한다. 이때 주파수가 첫번째 공명주파수가 된다. 1개의 파형으로부터 파장의 길이를 구한다.
- ⑧ 주파수를 다시 증가시켜 마디가 2, 3, 4개인 정상파를 관측하여 공명주파수를 구할 수 있다.
- ⑨ 장력, 줄의 길이, 줄의 선밀도 등을 바꾸어 가며 실험한다.
- ⑩ 관계식으로부터 공명주파수의 이론값과 실험값을 비교해보고, 파동의 속력 또한 확인한다.

DATA SHEET

1. 가는 줄의 진동 (선형밀도 = kg/m)

1-1) 줄의 길이(l)에 따른 공명주파수 변화 ($l = \text{약 } 1\text{m}, 0.8\text{m} / m = 200\text{g} / n=1, 2, 3$)

추의 질량(m) = 200g , 장력 = $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$

1-1-1) 줄의 길이 또는 도르래와 진동자의 간격(l) = m (약 1m)

차수 n	파장 (m)	공명주파수(측정값, Hz)				공명주파수 (이론값, Hz)	오차율 (%)	파동속도 (m/s)
		1	2	3	평균			
1								
2								
3								

1-1-2) 줄의 길이 또는 도르래와 진동자의 간격(l) = m (약 0.8m)

차수 n	파장 (m)	공명주파수(측정값, Hz)				공명주파수 (이론값, Hz)	오차율 (%)	파동속도 (m/s)
		1	2	3	평균			
1								
2								
3								

1-2) 장력(T)에 따른 공명주파수 변화 ($m = 100\text{g}, 200\text{g}, 400\text{g} / l = \text{약 } 1\text{m} / n=3$)

추의 질량(m) = 100g , 장력 = $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$

줄의 길이 또는 도르래와 진동자의 간격(l) = m (약 1m), 세 번째 공명의 파장 = m ($l/3$)

추의 질량(g)	파장 (m)	세 번째($n=3$) 공명주파수(측정값, Hz)				공명주파수 (이론값, Hz)	오차율 (%)	파동속도 (m/s)
		1	2	3	평균			
100								
200								
400								

2. 굵은 줄의 진동 (선형밀도 = kg/m)

2-1) 줄의 길이(l)에 따른 공명주파수 변화 ($l =$ 약 1m, 0.8m / $m = 200\text{g}$ / $n = 1, 2, 3$)

추의 질량(m) = 200g , 장력 = $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$

2-1-1) 줄의 길이 또는 도르래와 진동자의 간격(l) = m (약 1m)

차수 n	파장 (m)	공명주파수(측정값, Hz)				공명주파수 (이론값, Hz)	오차율 (%)	파동속도 (m/s)
		1	2	3	평균			
1								
2								
3								

2-1-2) 줄의 길이 또는 도르래와 진동자의 간격(l) = m (약 0.8m)

차수 n	파장 (m)	공명주파수(측정값, Hz)				공명주파수 (이론값, Hz)	오차율 (%)	파동속도 (m/s)
		1	2	3	평균			
1								
2								
3								

2-2) 장력(T)에 따른 공명주파수 변화 ($m = 100\text{g}, 200\text{g}, 400\text{g}$ / $l =$ 약 1m / $n = 3$)

추의 질량(m) = 100g, 장력 = $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$

줄의 길이 또는 도르래와 진동자의 간격(l) = m (약 1m) , 세 번째 공명의 파장 = m ($l/3$)

추의 질량(g)	파장 (m)	세 번째($n=3$) 공명주파수(측정값, Hz)				공명주파수 (이론값, Hz)	오차율 (%)	파동속도 (m/s)
		1	2	3	평균			
100								
200								
400								

5. 질문

- 1) 실험결과로부터 줄의 선형밀도, 장력 그리고 길이에 대해 공명주파수는 어떤 관계를 갖는가?
- 2) 공명이란 무엇인가? 공명 주파수가 아닌 주파수로 진동하는 진동자에 대해서는 눈에 띄는 진동이 관측되지 않는 이유는 무엇인가?
- 3) 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 위해서 튜닝하는 기계에 측정되는 장력은 이전과 비교했을 때 어떠한 값을 가지는가?
- 4) 줄의 공명과 관의 공명에 대해 차이점을 분석하여라. 또한 양쪽이 열린 개관과 한쪽이 닫힌 폐관에서의 차이점은 무엇인가?