

간단한 정상파 실험 장치 – Standing Twister

황진수* · 권재술

한국교원대학교, 충청북도 363-791

누구나 한번쯤은 연주해 보았을 피리, 기타, 피아노... 하지만 이 악기들 속에 숨어있는 중요한 물리에 대해서는 얼마나 알고 있을까? 정상파 개념은 고등학교 물리 I에서 처음 배우지만, 사실 우리는 이보다 훨씬 이전부터 기타 줄을 튕기거나 피리를 불면서 은연중에 정상파를 경험해 왔다. 그런데 왜 정상파는 학생들에게 여전히 추상적인 물리 개념으로만 느껴지는 것일까? 교실에서 이루어지는 정상파 수업은, 끈이나 파동용 용수철을 흔들었을 때 발생하는 정상파를 관찰하거나, 파장에 따른 정상파를 칠판에 그려보는 방법이 대부분이다. 하지만 이것만으로 학생들이 줄이나 관에서 발생하는 정상파를 바르게 이해하기란 쉽지 않다. 게다가 안타깝게도 과학 관련 대학에 진학한 학생들에게만 제대로 된 정상파 실험을 할 수 있는 기회가 주어진다(그것도 값비싼 PASCO 실험 장치를 이용하는 경우가 대부분이다). 이러한 이유로, 간단하고 재미있으면서도 보다 효과적으로 정상파를 경험할 수 있는 실험 장치의 필요성을 느껴 이 실험을 개발하게 되었다. The Physics Teacher 38호에 실린 논문 “Handheld Standing-Wave Generator”(Hapka, 2000)를 참고하여 제작한, 정상파 인형 Standing Twister는, 영키기 쉽고 관찰이 어려운 실 대신 굵기가 가는 끈($r \approx 1\text{ mm}$)을 사용하여 정상파 관찰이 훨씬 효과적이다. 더욱이, 끈에 여러 가지 색을 칠하면 무늬에 의해 정상파를 더욱 입체적으로 관찰할 수 있다. 또한, 진동회로를 투명 통에 넣어 인형으로 꾸밈으로써 안전성과 견고성은 물론, 학생들에게 충분한 흥미도 유발시킬 수 있으므로 Standing Twister는 정상파에 대한 이해를 돕는데 효과적인 실험 장치이다.

실험 재료 및 제작 방법

실험 재료

Standing Twister를 만드는 데 필요한 주 실험 재료는 아래

와 같다(상세한 규격 및 구입처는 부록 1에 정리하였다).



투명 구형통($r = 3\text{ cm}$), 페트병 뚜껑, 고무찰흙 1/2개, 꾸밈 재료(눈, 리본), 가는 끈($r \approx 1\text{ mm}$, $l \approx 50\text{ cm}$) 혹은 줄구슬



전동기(1.5V ~ 3V용, 사각형), AAA 전지 1개, AAA 전지홀더(1구), 버튼스위치(On-Off, Lock), 저항 0.5Ω

그 밖의 재료들 : 매직, 양면테이프, 글루건, 와이어 스트리퍼, 가위, 송곳

Standing Twister 제작 방법

위의 재료들을 이용하여 Standing Twister 만드는 방법을 간단히 소개한다.

(1) 그림 1에서와 같이 두 개의 투명 반원 통에 각각 작은 구멍을 뚫는다. 위 반원통 중앙 $r \approx 1.5\text{ mm}$ (끈 끼울 부분), 위 반원통 옆 $r \approx 5\text{ mm}$ (스위치 끼울 부분), 아래 반원통 중앙 $r \approx 3\text{ mm}$ (전동기 축 끼울 부분)

(2) 버튼스위치를 위 반원 통 옆 구멍에 끼우고, 전동기와 저

*교신처: vidon@hanmail.net, Tel: 043-230-3700, Fax: 043-235-5273

- 항, 스위치, 전지 홀더를 직렬로 연결한다(그림 2). 진동수가 작은 전동기의 경우 저항은 연결하지 않아도 된다.
- (3) 전동기와 전지 홀더를 양면테이프로 붙이고, 전동기의 회전축을 아래 반원 통 구멍에 끼운 후, 글루건으로 전동기를 아래통에 고정시킨다. 이때 전동기의 회전축이 통에 달라붙지 않도록 주의한다.
- (4) 페트병뚜껑의 가장자리에 송곳으로 구멍을 뚫고(그림



그림 1. 투명통과 병뚜껑 진동자

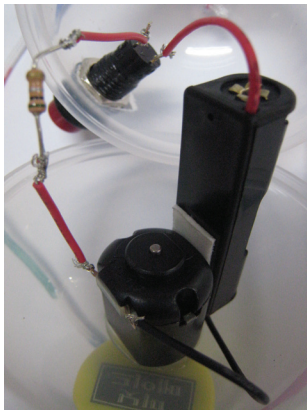


그림 2. 간단한 진동 회로



그림 3. Standing Twister 인형

- 1), 전동기의 회전축에 끼운다.
- (5) 여러 가지 색으로 가는 끈을 색칠하고 위 반원 통 가운데 구멍에 끼워 안쪽에서 매듭짓는다.
- (6) 인형에 눈을 붙여 완성한다(그림 3). 줄이 팽팽하게 되도록 인형을 늘어뜨린 다음, 스위치를 켜고 손가락으로 줄을 따라 내려가며 잡는 위치를 바꾸어 보면 정상파가 잘 형성되는 위치를 찾을 수 있다.

Standing Twister를 이용한 실험

완성된 Standing Twister로 정상파의 파장과 진동수와의 관계를 알아보기 위해, 본 연구에서는 그림 4와 같이 저항 0.5Ω 을 조합한 가변저항을 진동회로에 연결하여, 전동기의 회전수에 따른 정상파의 파장을 관찰하였다.

Standing Twister 실험 결과

Standing Twister가 만드는 정상파는 2차원 진동에 의해 만들어지는 일반적인 형태의 정상파가 아니라, 그림 5에서와 같은 아령 모양의 3차원 합성파이다. 손가락으로 줄을 잡고 위에서부터 미끄러져 내려오면 인형이 진동도 회전도 하지 않는 고요한 위치가 발견되는데, 이때 끈의 길이가 인형이 만들어내는 정상파 조건 즉, $2L = n\lambda$ 조건을 만족하는 길이이다. Standing Twister가 만들어 내는 정상파의 파장과 진동수와의 관계에 대한 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

진동 회로 안의 저항을 증가시키면, 전류가 감소하여 전동기의 회전수(진동수)가 작아지므로 정상파의 파장이 변하게 된다. 표 1과 그림 6은 회로 안 저항에 따른 Standing Twister가 만들어내는 정상파의 파장을 나타낸 것이다(측정된 값은 그림

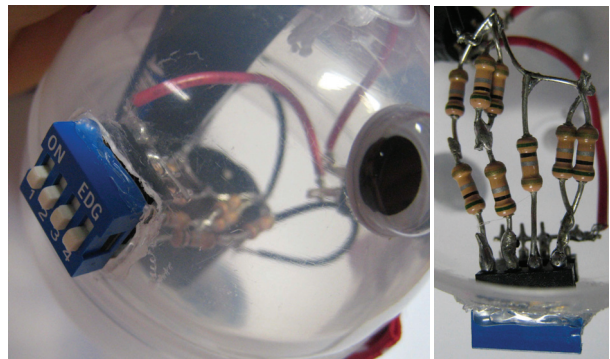


그림 4. Standing Twister 인형

6의 줄자가 가리키는 값이다.). 예상했던 대로 저항이 증가함에 따라 전동기의 회전수(진동수)가 감소하여 정상파의 파장이 증가하였다. 이것으로 줄의 장력이 바뀌지 않아 파동의 전달 속도(v)가 일정하므로, 파장(λ)과 진동수(f)는 서로 반비례함을 확인할 수 있다.

실험에 대한 제언 및 결론

정상파의 이해를 돕는 활동 제안

정상파의 특징을 이해하는데 도움이 되는 활동 몇 가지를 제



그림 5. Standing Twister가 만든 정상파

표 1. 회로의 저항에 따른 Twister의 정상파 파장 변화

저항(Ω)	파장(cm)	실험 조건
0.25	59.0	1. 전동기회전수: 약 1.5V- 4000 rpm
0.50	72.0	2. 연결 저항: 0.5 Ω (오차 5%) 3. 끈: 지름 약 2 mm, 길이 약 50 cm
0.75	88.0	4. 진동자 무게: 약 6.03g - 페트병 뚜껑 + 고무찰흙 1/2개
1.0	98.0	5. 인형 전체 무게: 약 57.7g

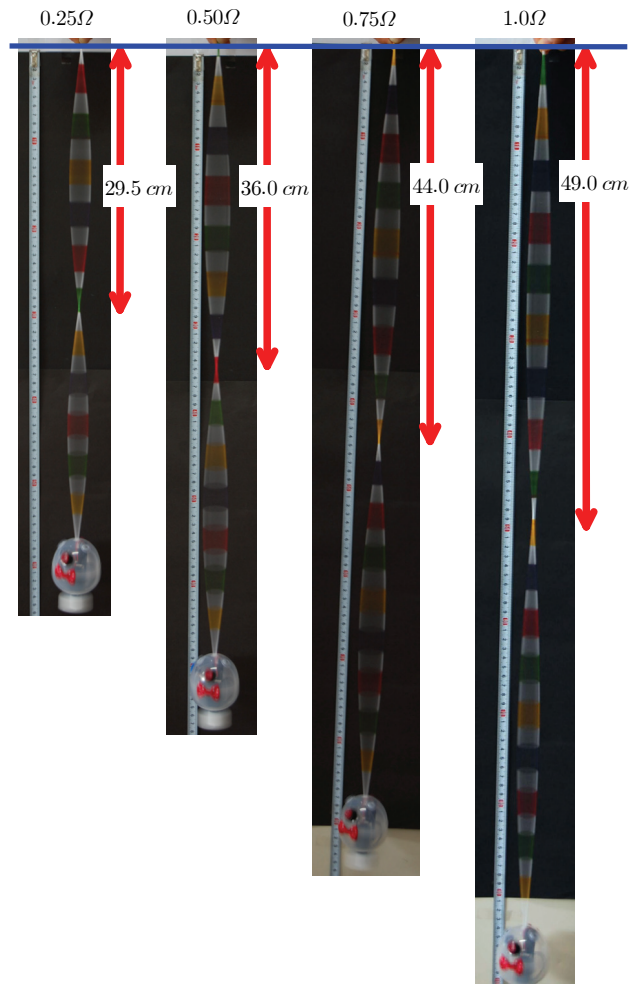


그림 6. 회로의 저항에 따른 Twister의 정상파 파장 비교

안한다.

Standing Twister가 만드는 정상파의 순간 포착 사진을 찍거나 동영상 촬영 후 느린 화면으로 재생하면, 눈의 잔상 속에 숨어있는 정상파가 매 순간 다르게 진동하는 모습을 확인할 수 있다. 그림 5의 A와 B는 우리에게 친숙한 아령 모양의 정상파이지만(눈의 잔상 때문에), 한 순간을 포착한 C와 D사진을 보면, 정상파는 사실 마디를 중심으로 양쪽의 배 부분이 서로 반대방향으로 진동하고 있음을 확인할 수 있다. 다음으로 마디를 손가락으로 잡아보면, 마디 위쪽에서의 파동은 사라지는데, 이것으로 정상파는 정지해 있는 것처럼 보이지만, 진동하지 않는 마디에서도 파동들(입사파와 반사파)이 끊임없이 진행하고 있다는 것을 추측할 수 있다. 즉, 마디 부분에서는 Twister에서 발생되어 올라온 입사파와 손가락으로 잡은 부분에서 반사되는 반사파가 중첩하여 서로 상쇄간섭하기 때문에 진동하지 않는

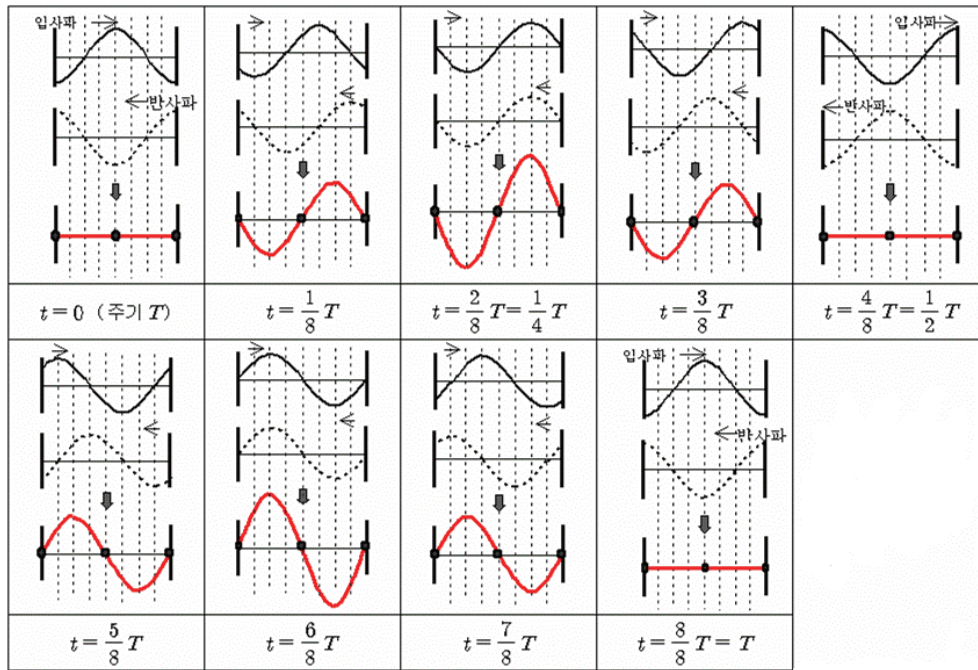


그림 7. 서로 마주보고 진행하는 위상이 반대인 입사파와 반사파의 중첩

것이다. 또한 정상파의 배에 손가락을 넣어보면 끈이 손가락과 부딪혀 정상파가 흐트러지는데, 이것으로 정상파의 변위가 끊임없이 변하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 이 결과에 대한 이해를 돕기 위해, 입사파와 반사파가 중첩되어 $1/8 T$ 마다 정상파가 형성되는 모식도를 그림 7에 나타내었다(김중복 2006).

실험의 교육적 효과를 높이기 위한 몇 가지 제언

이 실험을 보다 효과적으로 활용하기 위해서는 아래와 같은 몇 가지 제언이 필요하다.

첫째, 학생의 흥미와 실험의 효율성에 초점을 맞추다보니, 학생들이 이 실험 장치를 재미는 있지만 원리가 어려운 장난감으로만 생각하는 경향이 있다. 그러므로 교사는 정상파의 기본이 되는 파동실험용 용수철이나 줄에 의한 정상파 실험을 선행한 후 이 실험을 진행하면, 충분한 학습 효과를 기대할 수 있다. 둘째, 정밀한 전동기 일지라도 10%의 회전수(진동수) 오차를 가지며, 일반적으로 과학사에서 구입하는 전동기의 경우(1.5 ~ 3V에서 약 4000 ~ 8000 rpm) 이보다 훨씬 큰 회전수(진동수) 오차를 가지므로, 이 실험 장치로는 파동전달속도(v)와 파장(λ), 진동수(f)에 관한 수치적으로 정확한 값을 얻을 수 없다. 그러므로 이 실험은 정상파의 기본적인 특징이나 v 와

λ , f 와의 전체적인 관계를 확인하는 목적으로 이용하는 것이 적합하다. 셋째, McDermott 교수의 파동의 반사(고정단, 자유단 반사)에 관한 Tutorial(McDermott, 2003)을 참고하면, 정상파의 형성을 보다 근본적으로 이해할 수 있다. 넷째, 정상파와 관련된 내용뿐만 아니라, 진동자를 직접 만들면서 진동이 발생하는 원인에 대해서도 함께 다루면 재미있다(저자의 경우 대부분의 수업시간에 적어도 한명 이상의 학생에게서 진동자와 관련한 질문을 받았다.). 마지막으로, 끈의 종류를 달리했을 경우와 진동자의 크기나 무게를 달리했을 경우 형성되는 정상파의 파장에 대해서도 실험해 볼 것을 권한다(본 논문에는 이 결과를 상세하게 논의하지 않았다.). 이 결과를 간단하게 정리하면, 끈이 가늘고 가벼우며(선밀도가 작으며) 장력이 클수록 정상파의 파장과 진폭이 크다.

결론

작고 간단하게 만들 수 있는 정상파 인형, Standing Twister는 학생들에게 충분한 흥미를 유발하여 놀이 속에서 과학을 느끼게 할 수 있을 뿐만 아니라, 정상파를 손쉽게 경험하며 그 특징을 이해하는 데도 실질적인 도움을 준다. 또한, 전동기의 진동수에 따른 정상파의 파장 변화를 측정하여, 줄에서의 파동 전

달 속도(v)가 일정할 때, 진동수(f)와 파장(λ)은 서로 반비례 관계에 있음을 확인할 수 있다. 이렇듯 Standing Twister는, 고가의 큰 장비 없이도 정상파에 관한 전체적인 특징을 확인할 수 있으므로 학교 현장에서 쉽게 활용할 수 있는 매우 유용한 실험 장치이다.

참고문헌

- 김중복, 김현아, 김수경(2006) 과학교사를 위한 빛과 파동, 1st Ed. p219-228
Hapka A (2000) Handheld Standing-Wave Generator. Physics Teachers 38: 342.
McDermott LC, Shaffer PS and Physics Education Group (2003) Tutorials in Introductory Physics, 1st Ed. p113-117.

부 록

1. 실험 재료 규격 및 구입 방법

- ① 투명 구형통(뿔기통, 지름6 cm)-금성플라스틱 02-401-3078. ② 꾸밀 재료(눈, 리본), 줄구슬- 전국 보육사 <http://www.boyuksa.co.kr/> ③ 가는 끈(약 2 mm, 50 cm)- 재원상사(방산 시장-끈 전문) 02-2273-6833. ④ 전동기(1.5 V ~ 3 V용, 사각형)- 백두전자(세운상가) 02-2272-7047. ⑤ AAA 건전지1개, AAA건전지홀더(1구, 전선달린 것), 버튼스위치(On-Off, Lock, BL110시리즈), 저항 0.5 Ω - 우주전자(세운상가) 02-2275-8732