

사운드카드를 이용한 음향학 탐구학습 사례

Inquiring Activities on the Acoustic Phenomena Using Sound Card in Personal Computer

이 승 국, 이 종 립, 김 현 벽, 김 영 환
(Seungkoog Lee, Jong-Rim Lee, Hyunbyuk Kim, Young H. Kim)

한국과학영재학교, 물리지구과학부

(접수일자: 2011년 4월 11일; 수정일자: 2011년 6월 10일; 채택일자: 2011년 6월 30일)

PC의 내장 사운드 카드를 이용하여 음향학 탐구학습을 수행하였다. 사운드 카드는 함수발생기와 오실로스코프에 비해 가격이 저렴하고 학생들의 접근이 용이하다는 장점이 있다. 학생들은 다양한 음향 현상에서 발생하는 소리를 사운드 카드를 이용하여 녹음하고 주파수 스펙트럼을 분석 하였다. 소리굽쇠의 맥놀이, Rijke 관에서의 음의 발생, 물을 따를 때에 나는 소리 변화, 소리로 포도주잔 깨기 및 포도주 병마개를 딸 때에 발생하는 소리 등의 현상을 정량적으로 분석하면서 소리의 중첩, 공진 및 정상파에 대한 탐구를 수행하였다.

핵심용어: 음향학 교육, 사운드 카드, 탐구활동

투고분야: 일반 분야 (0.2)

Inquiring activities on the acoustic phenomena have been carried out by using a sound card installed in a personal computer. A sound card is cheaper and more accessible to the students than the precision equipment such as a function generator or an oscilloscope. The students record the sounds from various acoustic phenomena to the sound card. Then they analyze the frequency spectrums of that sounds by using a program. Inquired phenomena include beat by two tuning forks, sound from Rijke tube, pouring sound, breaking of a wine glass and pop-up sound of a wine bottle. Through these activities students perform quantitative analysis of various phenomena due to superposition, resonance and standing wave.

Keywords: Education of acoustics, Sound cards, Inquiry activities

ASK subject classification: General Area (0.2)

I. 서론

고등학교 물리 교과과정에서는 매질의 진동으로 일어나는 역학적 파동의 개념과 소리는 역학적 파동 중에서 종파라는 사실을 다룬다. 또한 파동의 다양한 현상들 중에서 소리에 의한 현상으로 관에서의 공명과 도플러 효과에 의한 소리의 높낮이 변화 등을 배운다. 이러한 이론적 학습을 넘어서 소리의 특성에 대해 정량적으로 더 자세히 이해하기 위해서는 다양한 종류의 실험이 요구된다. 보통 이러한 실험들에는 소리를 발생시키고 측정하는 함수 발생기와 오실로스코프 같은 정밀 계측기기가 필요하다. 그러나 오늘날 전자산업의 발달로 컴퓨터에 내장된 사운

드 카드를 이용하여 정밀 기기의 도움 없이도 비교적 단순한 소리를 발생시키고 녹음할 수 있게 되었다. 일례로 사운드 카드의 스테레오 기능을 이용하면 두개의 음원에 의한 소리의 중첩 현상을 강의실에서 구현할 수 있다.

사운드 카드의 또 하나의 장점은 학생들이 정밀 기기 사용법을 새롭게 익히기보다 컴퓨터와 그 주변기기를 이용하는 것에 더 익숙하다는 점이다. 탐구학습 과정에서 컴퓨터와 마이크로폰, 외부 스피커가 주어졌을 때 학생들은 주저함 없이 곧바로 주어진 주제를 탐구하기 시작하였다.

이와 같이 저렴한 가격과 접근의 용이성으로 사운드 카드는 음향학 탐구학습에 매우 효과적인 도구이다. 여기서는 한국과학영재학교의 음향학연구회 및 졸업논문 연구를 통해서 진행된 사운드 카드를 활용한 음향학 탐구 학습의 사례를 보고한다. 학생들은 파형의 Fast Fourier

Transform과 Short Time Fourier Transform을 이용한 분석 메커니즘을 이해하고 주파수 분석 프로그램을 사용하여 관측된 음향 현상을 정량적으로 분석하였다.

II. 사용된 도구

탐구학습을 위한 도구로 내장 사운드 카드, ATM-520P 마이크, BR-1000A 외장 스피커 및 주파수 분석 프로그램을 사용하였다. 사운드 카드를 이용하여 소리를 분석하는 전문적인 프로그램은 여러 가지가 있다. 이 중 MBL 장비 제조사에서 개발한 'Sound 1.5'와 'Sori 1.0'은 사용법이 쉽고, 교사나 학생들이 자유롭게 사용할 수 있는 freeware이다 [1]. 이 프로그램의 주요 특징은 다음과 같다.

- (1) 운영체제 : Windows
- (2) Sampling rate : 44,1 kHz
- (3) 주파수 스펙트럼 분석 기능
- (4) 64 k개의 데이터를 Excel 양식으로 저장
- (5) 2 채널의 주파수, 진폭, 위상을 독립적으로 발생

그림 1은 Sound 1.5 프로그램에서 소리를 발생시키기 위한 제어판과 장치 구성도를 나타낸다.

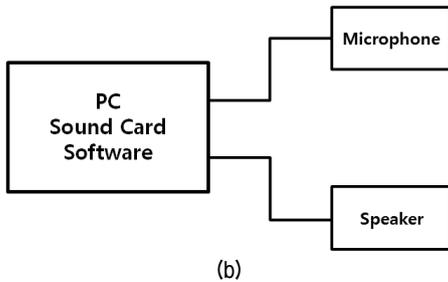
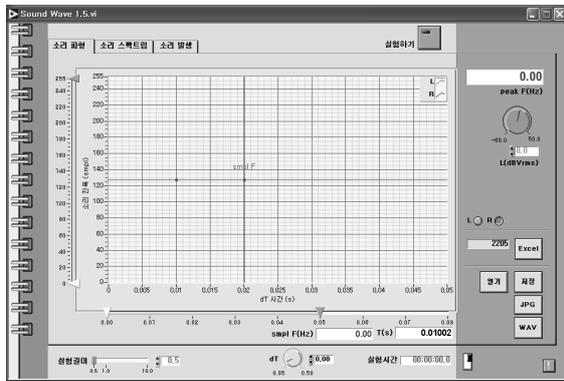


그림 1. (a) 사운드 1.5 프로그램 작동 창과 (b) 전형적인 실험장치 구성도
 Fig. 1. (a) Typical control panel of 'Sound 1.5' for generation of sound and (b) schematic diagram of typical experimental setup.

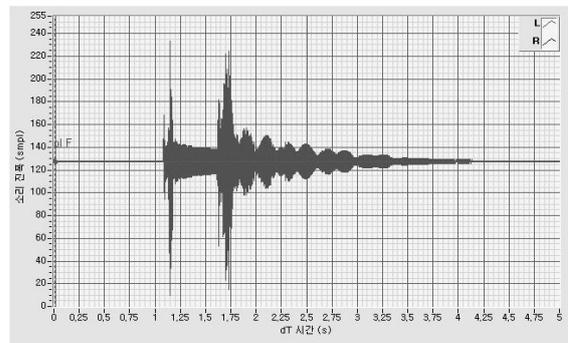
III. 탐구활동의 내용

3.1. 중첩현상과 맥놀이

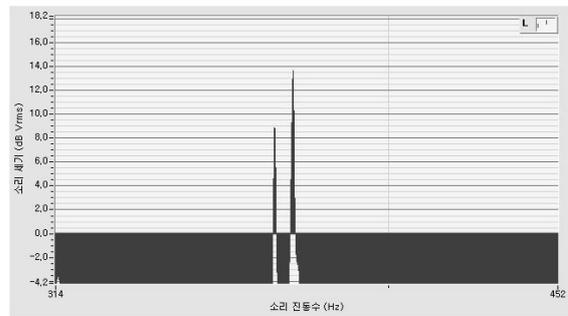
개개의 소리굽쇠는 단일한 공진주파수를 지니도록 제작되어 있다. 실험실에서 사용하는 소리굽쇠들은 서로 비슷한 주파수를 지니고 있기 때문에 맥놀이 현상을 실험하기에 적합하다. 그림 2는 두 개의 소리굽쇠를 진동시키고 마이크를 이용하여 노트북에 소리를 녹음하는 장치를 나타낸다. 그림 3은 녹음한 소리를 Sound 1.5로 분석한 결과이다. 그림 3 (a)에서 2초와 3초 사이에 5개의 맥놀이



그림 2. 두 개의 소리굽쇠를 이용한 맥놀이 실험
 Fig. 2. Experimental setup for beat by two tuning forks.



(a)



(b)

그림 3. 두 개의 소리굽쇠를 진동시켰을 때 수신된 (a) 음파와 (b) 주파수 스펙트럼
 Fig. 3. (a) Time domain waveform of a beat by two tuning forks and (b) frequency spectrum of the beat.

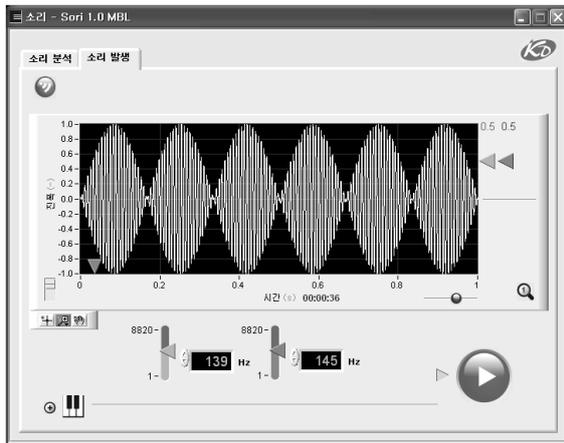


그림 4. 좌우 스피커에 가한 주파수가 각각 139 Hz, 145 Hz일 때 합성파형
 Fig. 4. Superposed sound wave pattern of frequencies 139 Hz and 145 Hz.

를 관측할 수 있고, 그림 3 (b)의 주파수 스펙트럼에서는 368.1 Hz와 373.1 Hz의 두 개의 피크를 관측할 수 있다. 이 둘은 각각의 소리굽쇠의 공진주파수에 해당하고 주파수의 차는 5 Hz로 맥놀이 주파수와 일치한다.

컴퓨터에서 소리를 직접 발생하여 맥놀이 현상을 관측할 수도 있다. 그림 4는 컴퓨터에 연결되어 있는 좌측과 우측 스피커에 139 Hz와 145 Hz의 다른 주파수를 소리 1.0을 이용하여 생성했을 때의 합성파형 모습이다. 6 Hz의 맥놀이 주파수를 선명히 볼 수 있다.

3.2. 열-음향현상, Rijke 관

열음향이란 열에너지로부터 발생하는 음향을 뜻하며 이에 관한 학문을 열음향학 (thermo-acoustics)이라고 한다. 열음향 현상은 주로 국부적인 가열에 의한 기주내의 공기분자의 진동에 의해 발생하는데, 기주가 갖는 정상파의 음장과 열전달의 상호작용에 의하여 강한 소리를 발생하게 된다. 열음향 현상의 대표적인 예로서 Rijke 진동, Sondhauss 진동 및 우는 불꽃 (singing flame) 등이 있다 [2].

Rijke 진동은 양쪽이 열린 원통의 아래 쪽 내부에 설치된 금속 그물망을 가열하여 열을 공급할 때 발생하는 기주 진동이다. 이것은 효율적으로 음향에너지를 발생시키는 열음향 현상으로서 1859년 Rijke에 의하여 처음으로 관찰되었다 [3-4]. 탐구학습에서는 부탄가스를 사용하여 길이가 42 cm인 Rijke 관을 가열하면서 발생하는 소리를 사운드 카드와 소리 1.0으로 분석하였다 [5].

금속망의 위치가 다를 때 시간에 따른 소리의 발생 양상을 그림 5에 나타내었다. 그림 5 (a)와 같이 가열망이 아래

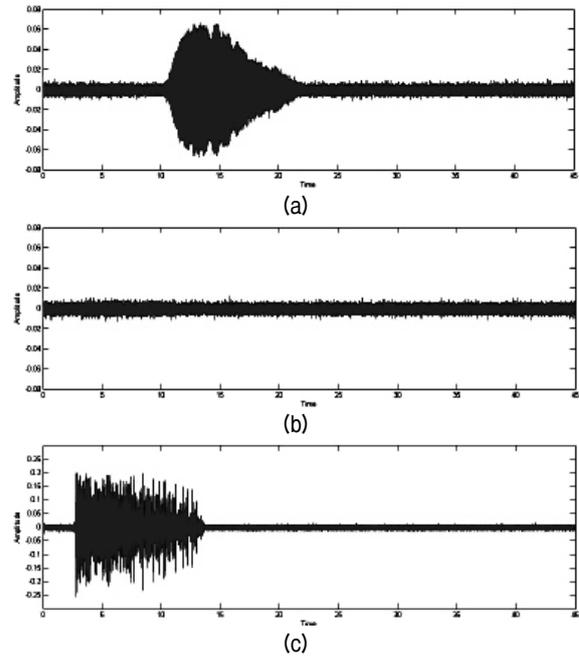


그림 5. 금속망의 위치가 (a) 아래, (b) 중간, (c) 윗부분일 때 열음향 관에서 발생한 소리의 파형 변화
 Fig. 5. Sound from Rijke tube according to the location of the heating gauze. The location is (a) lower, (b) middle and (c) upper half of the tube.

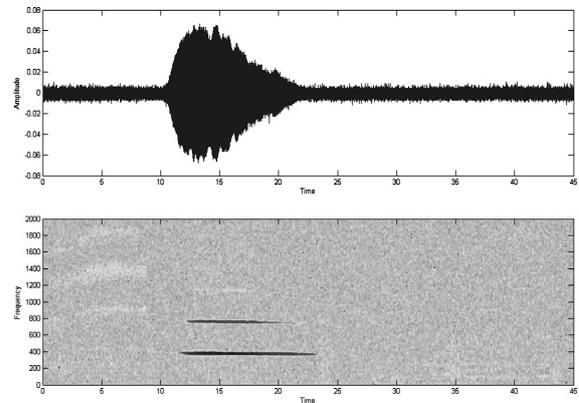


그림 6. 금속망이 아래에 위치할 경우에 열음향관에서 발생하는 소리의 파형과 시간-주파수 해석 결과
 Fig. 6. Time-frequency analysis of sound generated from Rijke tube with a heating gauze placed at the lower half.

쪽 1/3 이하지점에 있을 때는 불을 켜기 시작하였고, 그림 5 (b)와 같이 가열망이 중간지점에 있을 때는 가열 시 및 가열 후에도 전혀 소리가 나지 않았다. 그림 5 (c)와 같이 가열망이 위쪽 1/3 이상지점에 있을 때는 불꽃이 있을 때만 아주 큰 소리가 났다. 이러한 결과는 Rayleigh Criterion과 잘 일치한다 [6].

금속망이 아래쪽 1/3 이하지점에 있을 때 발생하는 소리의 시간에 따른 파형과 주파수의 변화를 그림 6에 나타내었다. 발생하는 소리의 주파수는 양 쪽이 열린 관의 기

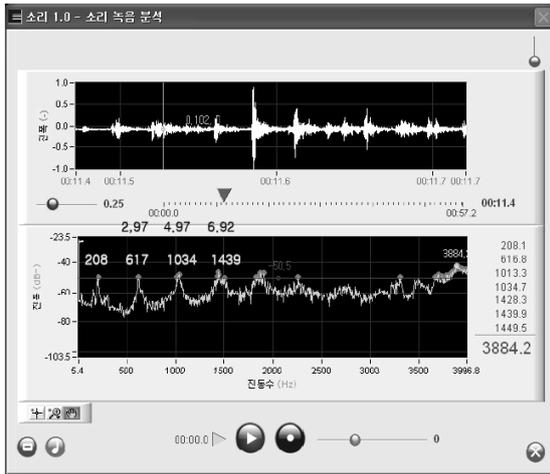
본 진동수인 약 400 Hz 정도이고 뚜렷한 2배진동과 희미한 3배진동 신호를 관측할 수 있다. 시간이 지남에 따라서 음의 진동수가 낮아지는 경향을 보이는데, 이것은 시간이 지남에 따라서 관내의 공기 온도가 낮아지면서 음속이 느려지기 때문이다.

3.3. 긴 실린더에 물을 따를 때에 나는 소리

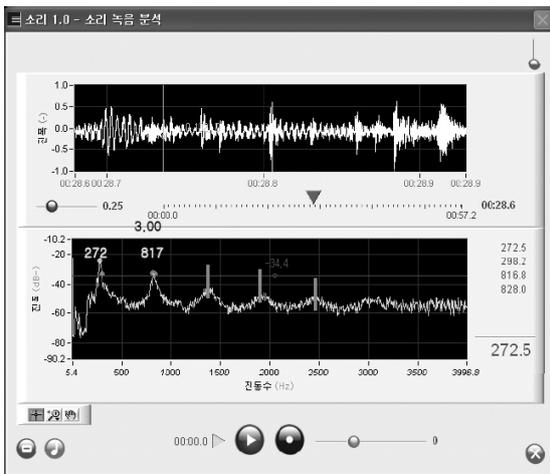
또 다른 음향 현상으로 긴 실린더에 물을 따를 때에 발생하는 소리를 분석하였다 [7]. 이때의 음원은 물이 떨어지는 쿵쿵거리는 소리로 이는 white-noise에 해당한다. 이 경우 실린더에 차오르는 물 표면이 닫힌 면으로 작용하여 실린더는 시간에 따라서 길이가 짧아지는 한 쪽만 닫힌 관의 역할을 한다. 따라서 매 순간 공기기둥은 1/4파장의 홀수 배에 해당하는 공진주파수를 가지고, 물

이 점점 차오름에 따라서 이러한 공진주파수는 점차 증가한다. 그림 7은 길이가 약 45 cm인 실린더에 물을 채우면서 발생하는 소리를 사운드 카드로 녹음하여 소리 1.0으로 특정 시각마다 주파수 분석을 한 결과이다. 그림 7 (a)는 물을 따르기 시작한 후 11.4초 지점으로 208 Hz, 617 Hz, 1034 Hz와 1439 Hz의 피크 진동수가 측정되었다. 그림 7 (b)는 28.6초 지점으로 272 Hz, 817 Hz, 1300 Hz와 1900 Hz의 피크 진동수를 보인다. 이는 예측한 바와 같이 물이 차오르는 동안 주파수가 높아지는 한 쪽만 닫힌 관의 공진현상을 나타낸다.

그림 8은 다른 탐구학습 실험으로 길이가 약 30 cm인 실린더에 물을 채우면서 발생하는 소리의 시간-주파수 분석 결과이다. 이 결과 역시 물이 차오르는 동안 주파수가 높아지는 한 쪽만 닫힌 관의 홀수 배 공진현상을 분명히 보여 준다 [8].



(a)



(b)

그림 7. 45 cm 실린더에 물을 따르기 시작해서 (a) 11.4초 후와 (b) 28.6초 후에 발생하는 소리의 주파수 스펙트럼
 Fig. 7. Frequency spectrums of sound being generated by pouring water into a 45 cm cylinder at (a) 11.4 second and (b) 28.6 second.

3.4. 소리로 포도주잔 깨기

소리를 이용하여 포도주잔을 깰 수 있다. 이는 포도주잔이 비교적 큰 Q-factor의 단일 주파수를 지니고 있기 때문이다. 탐구학습에서는 함수발생기와 파워 앰프를 추가로 이용하여 포도주잔 깨기를 시도하였다.

먼저 포도주잔을 두드릴 때 발생하는 소리를 사운드 카드로 녹음하여 소리 1.0으로 주파수 분석을 하였다 (그림 9 참조). 이로부터 포도주잔의 공진주파수를 찾아낸 후, 함수발생기를 사용하여 포도주잔의 공진주파수와 동일한 주파수를 발생시켰다. 함수발생기의 출력을 오디오 파워 앰프로 증폭한 후에 출력 신호를 스피커에 공급하고 스피커 앞에 포도주잔을 놓고 깨었다.

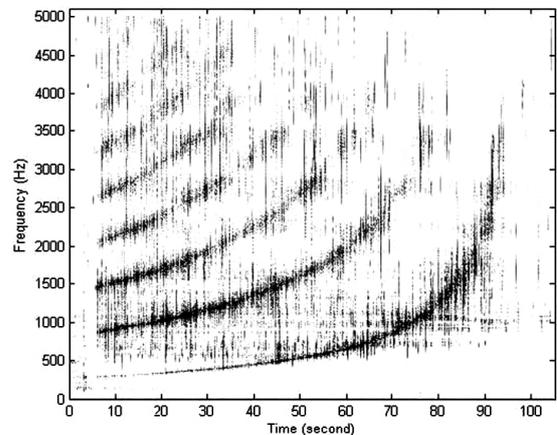


그림 8. 30 cm 실린더에 물을 따를 때에 나는 소리의 시간-주파수 분석결과
 Fig. 8. Time-frequency analysis of sound being generated by pouring water into a 30 cm cylinder.

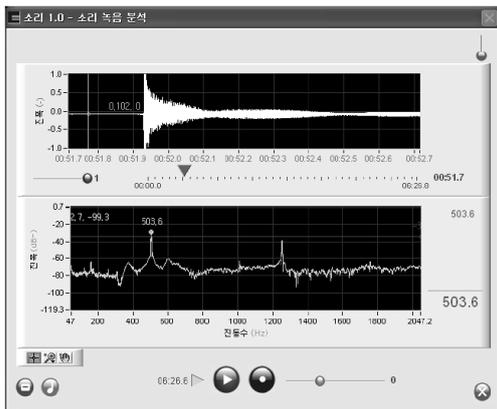


그림 9. 포도주 잔의 진동수 스펙트럼
Fig. 9. Frequency spectrum of a wine glass.

3.5. 포도주 병마개를 딸 때 발생하는 소리

포도주병의 코르크 마개를 따는 순간에 발생하는 소리도 탐구의 대상이다. 포도주 마개가 병으로부터 분리되는 순간에 병 안과 밖의 기압 차이에 의해 생기는 충격량으로 소리의 발생을 설명할 수 있다 [9]. 포도주 병의 마개를 딸 때 발생하는 소리를 사운드 카드와 소리 1.0을 이용하여 분석하였다. 발생하는 소리의 파형, 주파수 스펙트럼 및 시간-주파수 분석 결과는 그림 10과 같다. 크기가 가장 큰 피크가 약 1,170 Hz 정도에 존재한다. 시간-주파수 그래프에서 3배 주파수를 가진 신호를 확인 할 수 있다. 기본 진동수 1,170 Hz에 해당하는 소리의 1/4파장은 7.3 cm로 실제 포도주 병의 목 길이인 6.5 cm보다는 12 % 정도 더 길었다.

이 차이는 오차로 간주하기에는 큰 차이로서 유효길이 (effective length) 개념을 사용하여 설명할 수 있다 [10]. 이를 위해서 관의 길이와 안쪽 지름을 바꾸면서 실험을 할 필요가 있었다. 다양한 지름의 포도주병을 사용하는 대신에 실험의 재현성과 변인의 통제를 위하여 주사기의 구멍을 막고 손잡이를 잡아 빼어서 포도주 병마개를 따는 것의 모의실험을 구성하였다 (그림 11). 지름을 2.8 cm로 일정하게 하고 주사기를 잘라가면서 그 길이를 11.2 cm에서

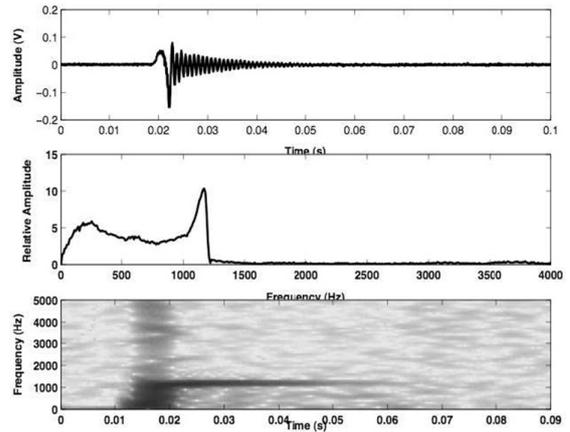


그림 10. 포도주 병마개를 딸 때 발생하는 소리의 파형, 주파수 스펙트럼 및 시간-주파수 해석결과
Fig. 10. Sound generated by pop-up of a cork stopper from a wine bottle. Time domain waveform, frequency spectrum and time-frequency analysis.

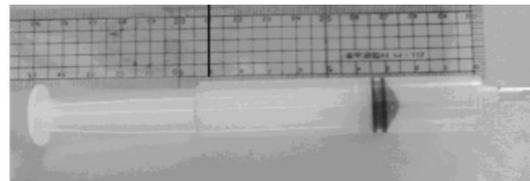


그림 11. 관경과 길이 변화에 따라 발생하는 소리를 분석하기 위해 사용된 주사기
Fig. 11. A syringe used for analysis of pop-up sound for different diameters and lengths of air columns.

5.4 cm까지 변화시켰다. 그 결과로 손잡이를 뽑을 때 발생하는 소리의 주파수는 주사기 관의 길이에 반비례하는 것을 확인하였다. 또한, 주사기의 길이를 5.4 cm로 고정시키고 주사기 관의 지름을 1.17 cm에서 2.88 cm까지 변화시키면서 손잡이를 뽑을 때 발생하는 소리의 주파수를 측정하였다. 그 결과 한 쪽만 닫힌 관에서의 공진에 해당하는 주파수보다는 더 낮은 주파수가 얻어졌고 이는 지름이 증가함에 따라 더 차이가 커졌다. 이는 열린 쪽의 관의 길이가 실제 길이보다 길어지는 효과를 고려해야 함을 의미한다. 유효길이 L_e 는

$$L_e = L + ad \tag{1}$$

와 같이 주어진다. 여기서 L , d 및 a 는 각각 관의 실제길이, 관의 반경 및 관의 형태에 따른 상수이다. 관의 반지름과 소리의 주파수 사이의 실험 결과로부터 $a = 0.75$ 를 얻었다.

포도주 병목의 반지름 0.925 cm와 길이 6.5 cm에서 식 (1)으로부터 $L_e = 7.2$ cm를 얻었다. 이는 포도주 병의 공

진 주파수로부터 산출한 길이 7.3 cm와 1.4 % 내로 일치하였다.

IV. 결론

PC의 내장 사운드 카드를 이용하여 소리의 중첩, 공진 및 정상파에 대한 음향학 탐구학습을 수행하였다. 함수 발생기와 오실로스코프를 사용하는 대신에 사운드 카드를 이용하여 소리를 발생하고 수신하였다. 학생들은 소리굽쇠의 맥놀이, 두 음원의 맥놀이, Rijke 관에서의 음의 발생, 소리로 포도주잔 깨기 및 포도주 병마개를 딸 때에 나는 소리 등의 실험 현상을 주파수 분석을 통해서 정량적으로 설명하였다.

참고 문헌

1. <http://www.sciencecube.com>
2. J. W. S. B. Rayleigh, *The Theory of Sound*, MacMillan and Co. Ltd., London, 1879.
3. P. L. Rijke, "Notice of a new Method of Causing a Vibration of the Air Contained in a Tube Open at Both Ends", *Phil. Mag.*, vol. 17, pp. 419-422, 1859.
4. 권영필, "Rijke 관에서 나선형 가열기에 의한 열음향 파워의 생성", *한국음향학회지*, 29권, 8호, pp. 491-496, 2010.
5. 박상현, "Rijke 관 내의 열음향학적 진동에 대한 분석", 졸업논문집 (물리), 과영 2008-001, pp. 165-177, 한국과학영재학교, 부산, 2008.
6. Lord Rayleigh, "The Explanation of Certain Acoustical Phenomena", *Nature*, vol. 18, pp. 319-321, 1878.
7. R. E. Berg and D. G. Stork, *The Physics of Sound*, 3rd ed., pp. 113-115, Benjamin Cummings, 2004.

8. 정중현, "물을 붓는 관의 공명", 졸업논문집 (물리), 과영 2007-005, pp. 405-417, 한국과학영재학교, 부산, 2007.
9. 신요섭, "와인병의 코르크 마개를 뺐을 때 나는 소리에 대한 물리적인 해석", 졸업논문집 (물리), 과영 2008-001, pp. 243-256, 한국과학영재학교, 부산, 2008.
10. D. E. Hall, *Basic Acoustics*, John Wiley and Sons, 1988.

저자 약력

•이 승 국 (Seungkoog Lee)



1982년: 부산대학교 자연대학 물리학과 (학사)
 1984년: KAIST 물리학과 (석사)
 1993년: Iowa State Univ. 물리학과 (박사)
 1996년 3월 ~ 2005년 8월: 위덕대학교 정보통신공학부
 2005년 9월 ~ 현재: KAIST부설 한국과학영재학교 전임교원
 ※ 주관심 분야: 상대성이론, 과학영재교육

•이 종 림 (Jong-Rim Lee)



1983년: 부산대학교 자연대학 물리학과 (학사)
 1985년: 부산대학교 대학원 물리학과 (석사)
 1993년: Univ. of Rochester 물리학과 (박사)
 2004년 3월 ~ 현재: KAIST부설 한국과학영재학교 전임교원
 ※ 주관심 분야: 통계물리학, 과학영재교육

•김 현 벽 (Hyunbyuk Kim)



2001년: KAIST 물리학과 (학사)
 2003년: KAIST 물리학과 (석사)
 2008년: KAIST 물리학과 (박사)
 2008년 2월 ~ 2009년 12월: 삼성전자 반도체 연구소 책임 연구원
 현재: KAIST부설 한국과학영재학교 전임교원
 ※ 주관심 분야: 상대론적 양자장 이론, 과학영재교육

•김 영 환 (Young H. Kim)

한국음향학회지 제29권 제2호 참조