creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

碩士學位論文

마이크로폰센서와 컴퓨터제어를 이용한 물리실험 교수-학습 자료 개발

濟州大學校 敎育大學院

物 理 敎 育 專 攻

金 素 建

2012年 8月

마이크로폰센서와 컴퓨터제어를 이용한 물리실험 교수-학습 자료 개발

指導敎授 康 東 植

金 素 建

이 論文을 敎育學 碩士學位 論文으로 提出함

2012年 8月

金素建의 敎育學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ ㊞

委 員 _____ ㊞

委 員 _____ ㊞

濟州大學校 敎育大學院

2012年 8月

Development of teaching and learning resources for physics experiments by using a computer based microphone sensor.

So-Yul Kim
(Supervised by professor Dong-Shik Kang)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Education

2012. 8.

This thesis has been examined and approved.

.....

.....

.....

Major in Physics Education
GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

차 례

차 례 ····· i
국문초록 ····· ii

Ⅰ. 서 론 ····· 1

Ⅱ. 이론적 배경 ····· 3
1. 맥놀이 현상과 도플러 효과 ····· 3
(1) 맥놀이 현상 ····· 3
(2) 도플러 효과 ····· 7
2. 교과과정에 따른 파동과 입자 단원비교 ····· 13

Ⅲ. 실험 방법 ····· 15
1. MBL 실험을 활용한 맥놀이 현상 탐구 실험 ····· 17
(1) MBL 실험을 활용한 맥놀이 현상 실험장치의 고안 ····· 17
(2) 실험방법 및 프로그램의 제작 ····· 18
2. MBL 실험을 활용한 도플러 효과 탐구 실험 ····· 20
(1) MBL 실험을 활용한 도플러 효과 탐구 실험장치의 고안 ····· 20
(2) 실험방법 및 프로그램의 제작 ····· 22

Ⅳ. 결과 및 고찰 ····· 26
1. 스피커 출력진동수와 마이크로폰센서 입력진동수 확인 ····· 26
2. 맥놀이 실험 결과 및 분석 ····· 28
3. 도플러 효과 결과 및 분석 ····· 31

Ⅴ. 결 론 ····· 43

참고문헌 ····· 44

ABSTRACT ····· 47

부록 A. 소리의 맥놀이 현상 탐구 ····· 48

부록 B. 소리의 도플러 효과 탐구 ····· 55

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

국문초록

마이크로폰센서와 컴퓨터제어를 이용한 물리실험 교수-학습 자료 개발

본 논문은 컴퓨터기반실험 (Microcomputer-based Laboratory; MBL)을 사용하여 도플러 효과에 관한 실험 분석한 연구이다. 사용된 마이크로폰센서를 검출기로 채택하였고 파원은 소리샘이다. 소리샘의 발생진동수는 f이며, 소리샘과 검출기의 상대적인 운동에 따라 검출진동수 f' 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터 즉, 음파의 세기를 통해 검출진동수 f'을 얻었고, 이 실험값은 도플러 관계식으로부터 계산된 이론값과 비교 분석되었다.

상기의 MBL 분석방법을 통해 중등학교 물리실험으로서 도플러 효과에 관한 교수-학습 자료로 사용될 것으로 기대된다. 본 연구내용을 바탕으로 도플러 효과의 소리파동에 대한 이해뿐만 아니라 빛의 파동에 대한 개념형성에 도움을 줄 것으로 예상한다.

주요어 : 마이크로폰센서, 컴퓨터기반실험, 도플러효과

※ 본 논문은 2012년 8월 제주대학교 교육대학원 위원회에 제출된 교육학 석사학위 논문임.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅰ. 서 론

과학은 이론의 발전과 실험의 진전이 상보적으로 발전되어 왔으며, 또한 과학 교육의 목적은 과학에 대한 태도정립, 과학적 탐구능력 배양, 개념 습득을 지향하는데 있다 [1]. 이때 학생들의 탐구능력을 향상시키고 과학적인 태도를 배양하는데 있어서 과학 실험의 경험은 중요한 역할을 한다.

중등교육과정에서는 10학년과 11학년에 파동과 소리 단원을 다룬다 [1]. 파동 소리 단원의 현상들을 관찰하기 위한 실험을 구성하기란 결코 쉽지만은 않다. 실험에서 등장하는 파형을 시각화하여 관찰하고 파동과 소리를 분석하기 위해서 컴퓨터를 기반으로 한 실험 수업을 도입해 보고자 한다. MBL실험은 실험 도중에 변인을 통제하는 것과 그래프를 통한 체계적인 분석이 가능하므로 학습자에게 인지갈등 해소와 빠른 피드백을 제공한다. 또한 제한된 실험 시간 내에 물리현상을 관찰하고 자료 분석 및 해석, 토론에 많은 시간을 할애할 수 있어서 사고 중심의 실험 활동이 가능하다 [2~7].

MBL실험은 컴퓨터를 기반으로 한 과학실험이다. 컴퓨터와 실험 장치를 인터페이스라는 하드웨어를 사용하여 연결하고 이를 이용하여 실험 데이터를 수집, 분석, 처리하는 실험을 의미한다. 이는 가상의 시뮬레이션 실험이나 시범 실험과는 다른 실질적인 과학 실험이다. MBL실험 수업은 전통적인 실험 도구인 온도계, 전류계, 전압계 등의 개개의 계측기를 사용하는 대신 온도센서, 전류센서, 전압센서 등을 사용한다 [8]. 또한 동시에 여러 개의 물리량을 빠르게 측정하는 등 경제적 시간적 비용절감과 정밀한 측정과 분석을 할 수 있게 구성되어져 있다. 이는 오늘날 과학기술 산업 사회에서 사용하는 대부분의 방법에 해당된다.

중, 고등학교 학생의 경우 과학적 실험을 통하여 얻어진 데이터를 분석하여 개념을 형성하여 나갈 때 유추적 해석 능력이 부족하여 단계별 사고과정을 거쳐야 할 경우 오히려 개념의 이해의 혼돈을 가져올 수 있다. 따라서 가능하면 직관에 의한 사고를 통해 개념의 이해를 이끄는 것이 더욱 효과적일 수 있다. 이에 컴퓨터를 활용한 과학 실험의 활용은 교육목적에 맞는 학습 방법이 될 수 있다 [9].

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

도플러 효과 실험은 관측자로부터 파원이 멀어지거나 가까워 질 때 파원의 진동수가 달라지는 효과를 나타내는 실험으로 이로부터 융합과학에 큰 비중을 차지하고 있는 우주의 팽창에 대한 개념형성과 이해의 발전에 기초가 되는 매우 중요한 실험이다. 이와 같은 도플러 효과의 중요성에 따라 대학 일반물리학에서는 물론이고 고등학교 물리에서도 도플러 효과의 원리를 다루고 있다 [1].

대학 일반물리 실험실에서 사용하는 전형적인 도플러효과 실험 장치는 가속구름판, 초음파변환기, 음파발생기, 오실로스코프, 초시계 등으로 구성이 되어있다. 그런데 이러한 장치는 매우 고가일 뿐 아니라 초시계를 이용하여 음원의 속력측정하고, 초음파를 사용하여 실험을 진행하는 어려운 점이 있기 때문에 고등학교 현장에서 이용하기에는 적합하지가 않다. 또한 고등학교 과정에서는 도플러 효과를 실험을 제외한 교과서의 정성적인 현상확인만을 하고 있다.

선행된 연구 [10-20]에서 보여지는 파도-소리단원의 학습은 매우 추상적인 것으로 해석이 된다. 그러나 이처럼 추상적 사고가 파동-소리 단원을 이해하는데 중요하난 전통적 실험을 통해서는 파동-소리단원의 시각화가 힘들다. 컴퓨터 제어를 이용한 실험 수행을 통해 학생들은 음파의 맥놀이 현상과 도플러 효과를 가시적으로 이해할 수 있을 뿐만 아니라, 실험 설계, 센서의 적용, 컴퓨터를 이용한 데이터 수집과 처리 등의 실험과정을 통해 보다 심화되고 다양한 경험들을 할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 현행 고등학교 물리 교과서의 맥놀이 현상과 도플러 효과 실험을 마이크로폰센서와 컴퓨터 제어와 가청진동수의 사용을 통해 실험 활동이 효과적으로 이루어 질 수 있도록 실험 장치를 제작하였다. 또한 각 실험의 교수-학습 자료를 제시하여 실험활동에 활용할 수 있도록 하고자한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 맥놀이 현상과 도플러 효과의 이론적 배경과 컴퓨터 기반 실험의 이론적 고찰을 다룬다. III 장에서는 실험 장치 고안 및 실험을 설명한다. IV 장에서는 실험 결과 및 고찰을 보며, V 장에서 결론을 맺는다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅱ. 이론적 배경

1. 맥놀이 현상과 도플러 효과에 대한 이론적 배경 [21]

(1) 맥놀이(beats) 현상

진동수가 같은 2개의 소리굽쇠 중 1개의 소리굽쇠의 한쪽 진동판에 고무줄이나 실을 조금 감아서 소리굽쇠를 조금 무겁게 하면 이 소리굽쇠의 진동수는 조금 작아진다. 다음에 이 두 소리굽쇠를 동시에 울리면 두 소리가 중첩되어 소리가 주기적으로 강해졌다가 약해지는 현상이 반복된다.

이러한 현상을 맥놀이(beat)라고 한다. 즉, 맥놀이는 진폭이 같고 진동수가 약간 다른 두 음파가 중첩되어 진폭이 주기적으로 크게 되거나 작게 되거나 하여 일어난다. 음악가들은 이 맥놀이 현상을 이용하여 기준 진동수에 맞추어서 악기를 조율한다. 또한 이 현상을 이용하여 기준 진동수에 대한 미지의 파동이 진동수의 차이를 측정하여 진동수를 결정한다.

이 현상을 수학적으로 다루기 위해 진동수가 약간 다른 두 파동 z_1과 z_2는

$$\begin{aligned} z_1(x,t) &= z_0 \sin(k_1 x - \omega_1 t), \\ z_2(x,t) &= z_0 \sin(k_2 x - \omega_2 t) \end{aligned} \tag{1}$$

이다. 중첩에 의한 합성파 $z(x,t)$는

$$\begin{aligned} z(x,t) &= z_1(x,t) + z_2(x,t) \\ &= z_o \sin(k_1 x - \omega_1 t) + z_o \sin(k_2 x - \omega_2 t) \end{aligned} \tag{2}$$

로 주어진다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

중첩에 의한 합성파식을 삼각 함수 관계식

$$\sin\alpha+\sin\beta=2\cos\frac{1}{2}(\alpha-\beta)\sin\frac{1}{2}(\alpha+\beta) \tag{3}$$

를 이용하여 정리하면 다음과 같다.

$$z(x,t)=2z_0\cos\left(\frac{k_1-k_2}{2}x-\frac{\omega_1-\omega_2}{2}t\right)\sin\left(\frac{k_1+k_2}{2}x-\frac{\omega_1+\omega_2}{2}t\right) \tag{4}$$
$$,\ (\omega_1>\omega_2)$$

위 (4)식에서

$$\Delta k=k_1-k_2\,,\ \Delta\omega=\omega_1-\omega_2 \quad 및 \quad k=(k_1+k_2)/2\,,\ \omega=(\omega_1+\omega_2)/2 \tag{5}$$

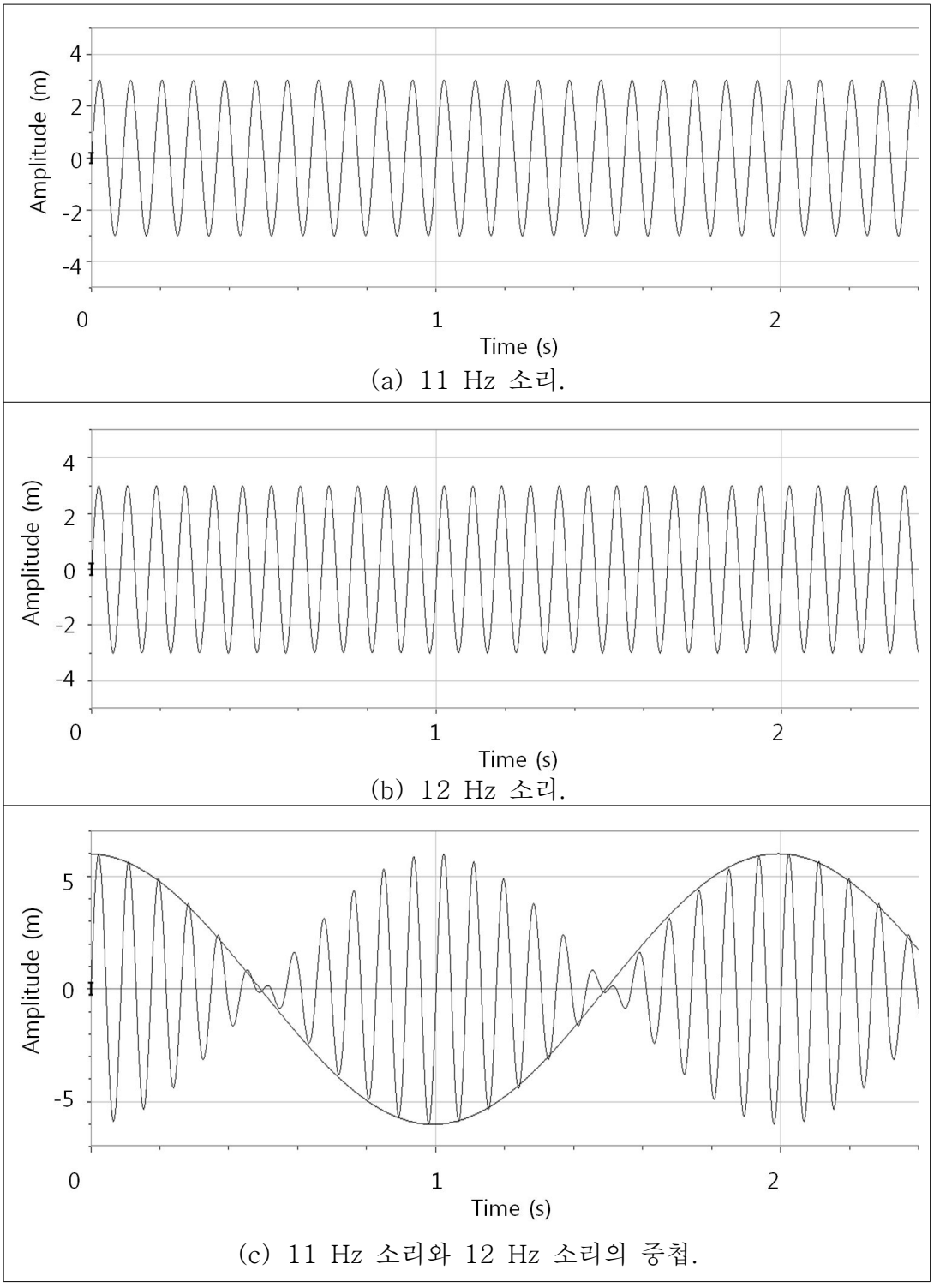
라 놓으면 $z(x,t)$은

$$z(x,t)=\left[2z_0\cos\left(\frac{\Delta k}{2}x-\frac{\Delta\omega}{2}t\right)\right]\sin(kx-\omega t) \tag{6}$$

이다. 이때, $\omega_1\approx\omega_2$ 이므로 $\Delta\omega\ll\omega$ 이다.

이 (6)식은 각진동수가 ω이고, 진폭이 $2z_0\cos\left(\frac{\Delta k}{2}x-\frac{\Delta\omega}{2}t\right)$인 sine 함수로 생각할 수 있다. 맥놀이의 최대 진폭은 $\cos\left(\frac{\Delta k}{2}x-\frac{\Delta\omega}{2}t\right)$ 가 $+1$. -1의 값을 가질 때이며, 이것은 sine 함수가 한 번 진행될 때마다 두 번 일어난다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



(a) 11 Hz 소리.

(b) 12 Hz 소리.

(c) 11 Hz 소리와 12 Hz 소리의 중첩.

그림 1. LoggerPro의 곡선추세선을 이용하여 맥놀이 현상 확인.
서로 다른 진동수를 갖는 두 파동은 중첩이 되어 맥놀이가 일어난다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림 1의 (a)와 (b)와 같이 수분 간격으로 진동수가 11 Hz와 12 Hz인 두 소리를 듣는다면 이들을 구별하기는 어렵다. 그러나 두 소리를 동시에 듣는다면 그림 2와 같이 두 진동수가 합성된 소리의 세기가 뚜렷하게 변하는 맥놀이, 즉 느리게 비틀거리듯이 소리의 세기가 증가하거나 감소하는 소리를 듣는다. 그림 1 (c)는 합성파를 나타낸 것으로 진동수 $\Delta\omega/2$인 파동과 ω의 파동의 곱으로 나타난다. 그림 2에서는 그림 1에서의 맥놀이 주기를 표시하였다.

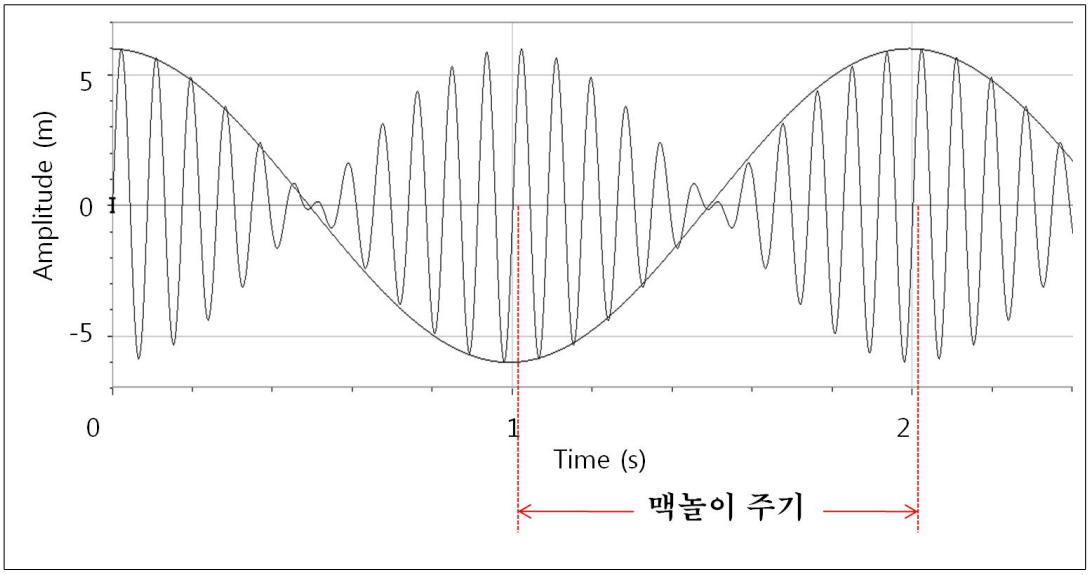


그림 2. 11 Hz와 12 Hz 의 맥놀이 주기.

사람의 귀는 소리의 세기, 즉 음파의 진폭의 제곱을 감지한다. 따라서 소리의 세기가 커졌다 작아졌다 하는 맥놀이의 주기는 진폭변조의 주기의 1/2이며 맥놀이 진동수 f 는 진폭변조 진동수 $\Delta\omega/2$의 2배인 $\Delta\omega$이다.

따라서 각진동수 $\omega = 2\pi f$의 관계에서 맥놀이 진동수(beat frequency) f 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \omega &= \Delta\omega = \omega_1 - \omega_2 \,, \\ 2\pi f &= 2\pi f_1 - 2\pi f_2 \,, \\ f &= f_1 - f_2 \,. \end{aligned} \qquad (7)$$

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

예를 들어, 진동수 $f_1 = 200$ Hz 인 소리굽쇠와 $f_2 = 198$ Hz인 소리굽쇠를 동시에 울려주면

$$f = f_1 - f_2$$
$$= 2 \quad \text{Hz}$$

맥놀이는 매초에 2번 일어나게 된다.

(2) 도플러 효과

1) 도플러 효과 (Doppler effect) [21]

사이렌을 울리면서 고속 도로변에 차가 정지하고 있다면 주위에 서서 듣는 사람은 같은 진동수의 소리를 듣게 된다. 또 사이렌을 울리면서 차가 다가올 때에는 소리가 높게 들리다가 차가 관측자 앞을 지나쳐 멀어지면 소리도 낮게 들린다.

일반적으로 파원과 관측자가 상대 운동하고 있을 때 서로 가까워지는 경우에는 파원의 실제 진동수보다 더 큰 진동수(고음)로 들리고, 서로 멀어지는 경우에는 실제 진동수보다 더 작은 진동수(저음)로 들린다. 이와 같이 음원과 관측자 사이에 상대적인 운동이 있을 때 관측자가 듣는 진동수는 서로 정지해 있는 경우와 다르다. 이 현상을 Doppler 효과라 하며 흔히 기차여행을 할 때 기적을 울리며 마주 오는 기차의 기적소리가 지나친 후 낮은 소리로 변하는 것으로도 경험 할 수 있다.

1842년 오스트리아의 물리학자 도플러(Johann Christian Doppler, 1803~1853)에 의해 이 현상의 제안되었는데, 도플러 효과는 음파뿐만 아니라 초단파, 가시광선을 포함한 전자기파 등 모든 파동에 대해서 성립한다. 이러한 Doppler 효과를 이용하면 움직이는 물체의 속도를 측정할 수 있어 과속차량 단속이나 야구경기에서 투구의 속도를 측정하는데 응용된다.

여기서는 음파에서 나타나는 Doppler 효과를 음원과 관측자 및 매질이 일직선상에서 이동하는 경우를 다룬다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

① 관측자는 정지해 있고 음원이 운동할 때

정지해 있는 음원 S가 진동수 f의 진행파를 방출하는 경우 음파의 매질에 대한 속도를 v라 하면 파장 $\lambda = v/f$ 가 된다. 파동의 전파속도는 매질의 특성에만 관계되므로 음원이 관측자를 향하여 V_s의 속도로 접근해 가는 경우의 음원의 속도 역시 v이다. 그림 3은 관측자 A, B는 정지하고 음원인 소방차가 V_s의 속력으로 운동하고 있을 때이다.

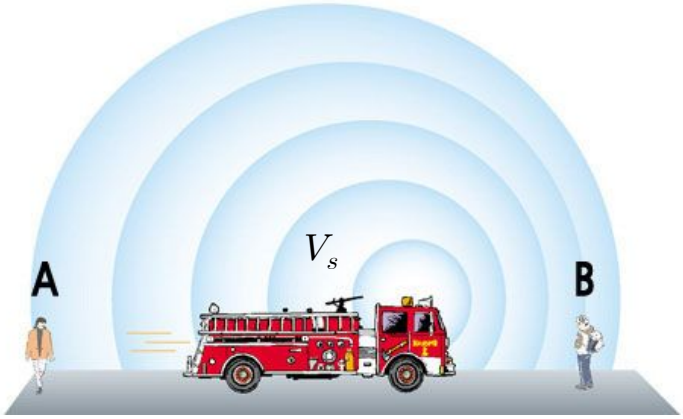


그림 3. 관측자는 정지해 있고 음원이 운동할 때.

이때 음원 앞에 있는 관측자는 파장이 수축된 것으로 느끼는데 이것은 그림과 같이 음원이 관측자를 향해 전파되어 가는 음파를 뒤따르기 때문이다. 음원이 정지해 있는 경우 파장이 $\lambda = v/f$ 이지만 매진동주기마다 음원이 $V_s T = V_s/f$ 의 거리를 이동하므로 이 거리만큼 파장이 짧아진다. 따라서 관측자가 듣는 음파의 파장은

$$\lambda' = \frac{v}{f} - \frac{V_s}{f} = \frac{v - V_s}{f} \qquad (8)$$

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

가 되고, 진동수는 증가하여 f'은

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = f\frac{v}{v - V_s} \tag{9}$$

로 주어진다.

만약 음원이 관측자로부터 멀어져 간다면 파장은 V_s/f만큼 길어지므로 진동수는 감소한다. 이 경우를 포함하면 f'은

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = f\frac{v}{v \mp V_s} \tag{10}$$

로 쓸 수 있다.

위 식에서 −부호는 접근할 때이고 +부호는 멀어질 때이다.

② 음원은 정지해 있고 관측자가 운동할 때

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림 4. 음원은 정지해 있고 관측자가 운동할 때.

정지해 있는 음원을 향해 접근하는 관측자는 단위시간당 더 많은 진동을 경험하게 되므로 정지해 있는 경우보다 더 높은 진동수를 관측하게 된다.

그림 4와 같이 관측자가 V_r의 속도로 음원에 접근할 때 파장은 관측자가 정지해 있는 경우와 같이 $\lambda = v/f$ 이나 정지해 있을 때보다 더 자주 마주 오는 소리의 진동을 접하게 된다.

더 듣게 되는 진동수는 단위시간당 접근한 거리/파장이므로 V_r/λ 로 쓸 수 있다.

따라서 f' 은

$$f' = \frac{v}{\lambda} + \frac{V_r}{\lambda} = \frac{v + V_r}{\lambda} = f\frac{v + V_r}{v} \qquad (11)$$

로 주어진다.

또 다른 방법으로는 관측자가 보는 음파의 속도가 $v' = v + V_r$ 이므로 f' 은

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + V_r}{\lambda} = f\frac{v + V_r}{v} \qquad (12)$$

가 된다.

관측자가 멀어져 가는 경우에는 진동수가 감소하므로 두 경우를 포함하면 f'은

$$f' = f\frac{v \pm V_r}{v} \qquad (13)$$

로 쓸 수 있다.

③ 음원도 운동하고 관측자도 운동할 때

앞에서 기술한 것과 같이 음원이 운동하면 파장이 변하고 관측자가 운동하면 음파의 속도가 변하므로 음원과 관측자가 동시에 운동할 때의 진동수 f'은

$$f' = \frac{v'}{\lambda'} = f\frac{v \pm V_r}{v \mp V_s} \qquad (14)$$

로 주어진다.

위 14식에서 쌍부호의 위쪽 부호(분자의 +, 분모의 −)는 음원과 관측자가 서로 접근할 때이고 아래 부호들은 서로 멀어질 때에 해당된다.

식 $f' = f\frac{v}{v \mp V_s}$ 과 $f' = f\frac{v \pm V_r}{v}$ 을 보면 관측자가 운동할 때와 음원이 운동할 때 설사 각각의 운동속도가 같더라도 Doppler 효과에 의한 진동수는 서로 다르게 나타난다.

따라서 만약 음원과 관측자의 상대속도를 알고 정지한 경우의 진동수와 Doppler 효과에 의한 진동수를 알면 음원과 관측자 중 어떤 것이 이동하는지를 알 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림 5. V_r 의 속도로 소방차에 접근하는 관측자와 경적을 울리면서 V_s 의 속도로 이동하는 소방차.

그림 5는 V_r 의 속도로 소방차에 접근하는 관측자와 경적을 울리면서 V_s의 속도로 이동하는 소방차이다.

V_s 와 V_r 이 v 보다 훨씬 작을 때(즉, $v \gg V_s$, $v \gg V_r$)는 식 $f' = f\frac{v}{v \mp V_s}$ 과 $f' = f\frac{v \pm V_r}{v}$ 의 표현이 같아져 음원의 운동과 관측자의 운동 각각에 의한 진동수는 다 같이 다음과 같은 식으로 표현된다. 즉 도플러 효과로 인해 관측자가 들리게 되는 진동수 f'은

$$f' \simeq f\left(1 \pm \frac{V}{v}\right) \tag{15}$$

로 쓸 수 있다. 단, 이때 $V = |V_s \pm V_r|$는 음원과 관측자 사이의 상대속도이며, + 부호는 접근할 때, − 부호는 멀어질 때에 해당한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 교과과정에 따른 파동과 입자 단원 비교

아래의 표 1을 참고 하여 제 7차 교육과정의 파동-소리 단원의 특성을 살펴본다. 고등학교의 공통과정에 있는 고등과학 1과 융합과학에서 파동-소리 단원의 특성을 살펴보면 표 1과 같이 11학년의 물리 I 교과 내 파동-소리 단원의 특성을 분류할 수 있다 [1].

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 1. 교과과정에 따른 파동과 입자 단원의 목차 비교.

교육과정	제7차 교육과정	
	2007 개정	2009 개정
교과목	물리 I	물리I
대상학년	11학년	11학년
대단원	III.파동과 입자	III.정보와 통신
중단원	01.파동의 발생과 전파 02.파동의 간섭과 회절	1.소리와 빛
소단원		01.소리와 초음파 02.공명과 화음
학습주제	파동의 전파-호이겐스의 원리이해 파동의 굴절과 반사 빛의 굴절과 반사 파동의 간선과 회절 소리의 3요소 소리의 정상파와 공명 소리의 맥놀이현상과 도플러효과	파동의 진행 파동의 굴절과 반사 빛의 굴절과 반사 파동의 간선과 회절 소리의 3요소 소리의 정상파와 공명 소리의 화음 초음파 원리와 응용 도플러효과

물리교과의 2007 개정과 2009 개정을 살펴보면 내용의 이해, 이론 중심의 교과과정 진행방식에서 교과 관련 이해를 통한 현대 과학의 이해와 응용으로 그 영역을 확장했다. 원리의 소개로 교과서 한 페이지 분량의 초음파의 원리탐구와 응용이 확대 편성 되어졌고, 소리의 정상파와 공명현상의 이해를 통해 소리의 화음, 악기에서의 화음에 대한 응용으로 전반적인 그 원리탐구에 의한 현대 과학의 응용 영역으로 학생들에게 첨단과학과 현대 과학과 사회, 환경 등 의 폭넓은 이해를 촉구하므로써 과학에 대한 흥미와 호기심을 유발하고, 과학기술사회의 상호 관련성을 이해시키려 하고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅲ. 연구 방법

그림 6은 맥놀이 현상과 도플러 효과 실험에서 사용되어진 마이크로폰센서의 사양이다.

	센서 사양

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

	– 측정범위 : 20 Hz ~ 16 000 Hz – 분해 능력 : 초당 10 000

그림 6. 마이크로폰센서.

그림 6의 마이크로폰센서는 사람의 청각 진동수 범위의 반응 회로로 구성된 전자 마이크로폰으로, 끝부분에센서가 설치되어 있다. OP-AMP 회로가 신호를 증폭시키고 인터페이스로 보낸다.

맥놀이 현상 실험에서는 가청 진동수 영역 때인 412 Hz 기준 진동수와 413 Hz ~ 416 Hz까지 1 Hz 단위로 진동수를 높이며 소리의 끊김과 이음의 정도를 듣고 마이크로폰센서를 통해 수집된 데이터로 현상의 가시화에 도움을 주도록 했다.

도플러 효과 실험에서 사용되는 진동수가 가청 진동수 대역이므로, 마이크로폰센서는 가청진동수를 측정할 수 있는 사양을 택하였다. 가청진동수 영역을 사용하므로써 전통적 실험에서 실험의 진행 여부를 확인 할 수 없었던 문제점을 보완하였다.

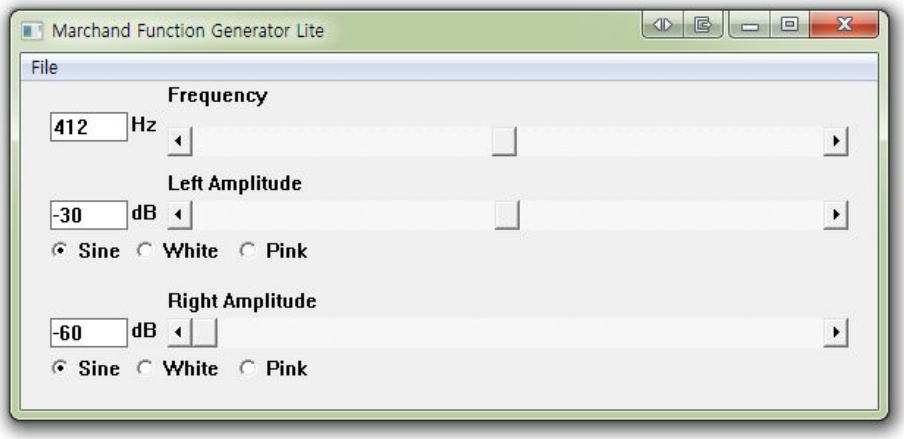


그림 7. 진동수발생 프로그램.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

전통적 실험에서와는 달리 여기서는 진동수발생기를 사용하지 않고, 컴퓨터 프로그래밍을 통해 만든 진동수발생 프로그램 된 소프트웨어를 사용하여 실험하였다.

그림 7은 실제 실험에서 사용된 진동수발생 프로그램이다. 진동수발생프로그램으로부터 발생하는 진동을 스피커에 연결하여 음원으로 사용하였다.

진동수발생 프로그램의 사양을 살펴보면 진동수는 10 ~ 20 000 Hz로 가청진동수 대역을 사용하도록 되어있으며, 진동수의 크기는 0 ~ 60 dB로 조절이 가능하다. 또한 스피커의 좌우 출력단자 조절이 가능하다.

1. MBL실험을 활용한 맥놀이 현상 탐구

(1) MBL실험을 활용한 맥놀이 현상 실험장치의 고안

다음과 그림 8은 맥놀이 현상 실험을 위한 실험 도구들이며, 실험도구는 MBL실험과 일반 실험의 도구로 그 구성을 나눌 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림 8. 맥놀이현상 실험장치 구성도.

맥놀이현상 실험을 하기 위한 MBL실험 준비물과 일반실험 준비물이다.

- MBL 실험 준비물 : 버니어 인터페이스, 버니어 마이크로폰센서, LoggerPro.
- 일반 실험 준비물 : 마이크로폰센서 고정대, 셀로판테이프, 스피커 2개, 컴퓨터 2대.

컴퓨터 1은 진동수발생 소프트웨어와 마이크로폰으로 수집되는 데이터를 분석을 하는데 사용되며, 컴퓨터 2는 진동수발생 소프트웨어를 작동시키는데 사용된다. 제작된 맥놀이현상 구현실험은 진동수발생에 사용되는 진동수발생기 2대와 마이크로폰으로 수집된 데이터를 확인할 수 있는 오실로스코프가 1대인 전통적 실험과 비교해 실험의 구성이 간단해 졌으며, 사용방법도 용이하다.

(2) 실험방법 및 프로그램의 제작

음파는 공기의 진동으로 이루어진다. 이때 마이크로폰의 막이 떨림을 압력 변화로 느껴 기록한다. 이것을 전기 신호로 바꾸어 기록하게 된다. 마이크로폰과

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

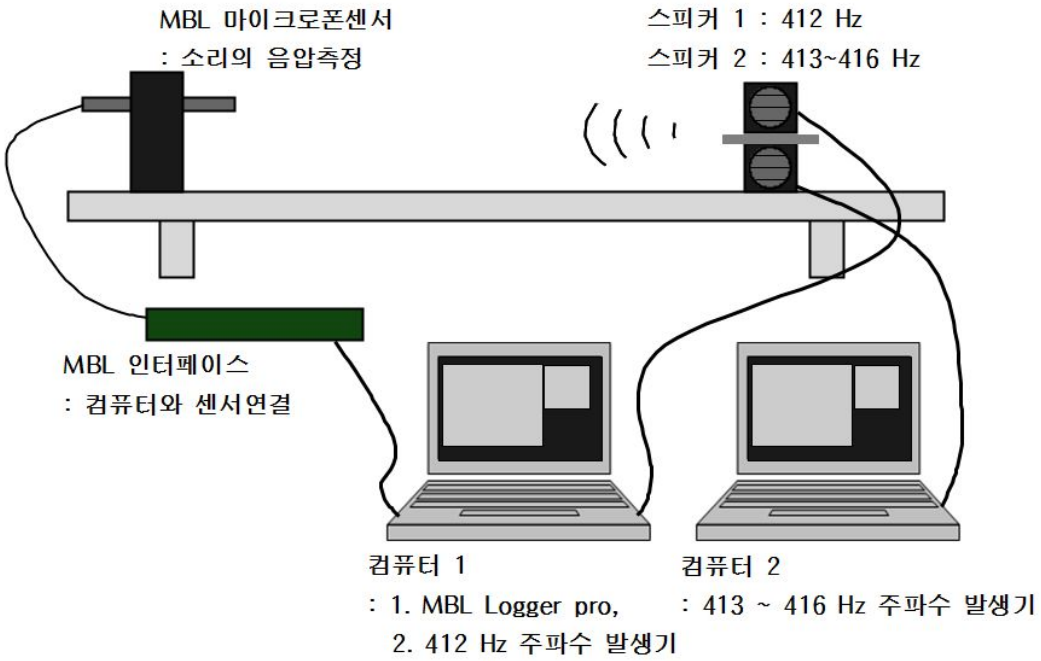


그림 9. 맥놀이 현상 실험 장치 모식도.

컴퓨터 인터페이스를 사용하여 맥놀이 현상을 탐구해 본다.

압력이 변화함에 따라 음파는 공간의 평균 압력보다 높아졌다 낮아졌다 한다. 시간에 따른 압력의 변화를 기록하여 그래프로 보여준다. 또한 진폭은 압력의 중간점에서 위 또는 아래에 존재하는 최대 변화량을 말하며 이것은 소리의 크기와 밀접한 관련이 있다. 이때 두 음파가 중첩되면 그들 기압의 변화량도 합성이 된다. 음파는 선형 중첩의 원리를 따르기 때문에 맥놀이는 중첩의 좋은 예가 된다.

그림 9는 맥놀이 현상 구현을 하기 위한 실험 모식도이다. 그림 9의 모식도를 토대로 맥놀이 현상 구현 실험을 구성한다.

① 스피커 1과 스피커 2는 상하로 놓는다. 이때 스피커 1과 스피커 2, 마이크로폰센서는 일직선으로 둔다. 이때, 스피커 1과 스피커 2가 떨어져 있다면 각 스피커로부터 마이크로폰까지의 거리는 동일해야 한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

② 스피커 1에 기준 진동수 412 Hz를 잡고, 스피커 2에는 413 Hz ~ 416 Hz 까지 진동수를 높여, 두 개의 음이 소리를 내는 동안 데이터를 수집한다.
소리의 진폭에 대한 시간에 따른 변화를 관찰할 수 있다.

③ 실험 메뉴에서 최신 실행 저장을 선택하여 데이터를 저장한다.

④ 보다 급격한 변화를 나타내는 최고점이 느린 진폭의 변화의 것보다 패턴이 매우 복잡하므로 보다 급격한 변화는 무시한다.
첫 번째 최고점 이후에 나타나는 진폭의 최고점 횟수를 세어보고 데이터 테이블에 기록한다.

⑤ 검사 버튼을 눌러 시간간격을 재고, 맥놀이의 주기(초 단위로)를 결정하기 위해 시간 간격을 진동수의 횟수로 나눈다.
맥놀이 진동수(Beat frequency)는 맥놀이가 일어난 주기데이터로부터 진동수 f를 계산하고 데이터 테이블에 기록한다.

2. MBL실험을 활용한 도플러 효과 탐구

(1) MBL실험을 활용한 도플러 효과 탐구 실험장치의 고안

도플러 효과를 실험하기 위해 그림 10과 같이 실험준비물을 준비한다. 정지된 관측자인 마이크로폰센서로부터 음원인 스피커가 가까워지거나 멀어질 때 마이크로폰으로 새로운 진동수를 갖는 소리의 음압이 수집이 된다. 이때 마이크로폰

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

센서로 수집된 데이터를 진동수로 환산하고 운동센서를 통해 수집된 관측자 스피커의 속력을 측정하여 도플러 효과의 여부를 확인한다. 또한 실험으로 얻어진 진동수 실험값과 도플러 효과 식으로 얻어진 진동수 이론값을 비교하기 위해 그래프로 나타낸다.

그림 10. 도플러 효과 실험 구성도.

그림 10은 도플러 효과의 실험 구성도이다. 실험 준비물은 MBL실험과 일반실험으로 나눌 수 있다.

- MBL 실험 준비물 : 버니어 인터페이스, 버니어 마이크로폰센서 2개, 버니어 운동센서, LoggerPro 데이터 분석 프로그램.
- 일반 실험 준비물 : 마이크로폰센서 고정대, 고무찰흙, 스피커, 컴퓨터, 가속구름판, 수레.

도플러 효과 실험에서는 마이크로폰센서 외에 그림 11의 운동센서가 필요하다.

그림 11은 수레의 속력을 측정하기 위한 운동센서의 사양이다. 전통적 실험에서 수동으로 수레의 움직임을 초시계를 통해 측정한다. 그러나 도플러 효과 제작실험에서는 수레의 속력을 시간당 이동거리를 초음파운동센서로 측정하여 이로부터 속력을 구하게 된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

	센서 사양 – 초음파 진동수 : 50 kHz – 분해능력 : 1 mm – 정확도 : 2 mm – 측정범위 : 0.15 m ~ 6 m – 피봇헤드 : 헤드를 원하는 각도로 접을 수 있어 경사면에서의 물체의 운동 측정을 쉽게 할 수 있다.

그림 11. 초음파운동센서.

그림 11의 초음파운동센서는 원형 금박에서 초음파 신호를 방출한다. 가운데를 기준으로 15° ~ 20° 정도의 원뿔 크기로 초음파 신호를 보내며 다시 되돌아오는 반사파를 감지하게 된다. 이때 모드는 두 가지가 있다. 일반모드의 경우 운동센서 앞에서의 사람의 걷기운동 같이 빛을 잘 반사시키지 못하는 물체의 운동상태를 측정하기 위해 사용한다. 트랙모드의 경우 트랙상의 카트운동, 센서 빔에 가까이 있는 물체의 반사미광을 제거하고자 할 때의 운동에 사용한다.

	센서 사양 – 측정범위: –40 ℃~135 ℃ – 최대 내성온도: 150 ℃ – 분해능력: 0.17 ℃ (–40 ℃~0 ℃) 0.03 ℃ (0 ℃~40 ℃) 0.1 ℃ (40 ℃~100 ℃) 0.25 ℃ (100 ℃~135 ℃)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림 12. 스테인리스 온도센서.

소리의 속력은 온도에 따라 달라진다. 그림 12는 도플러효과 실험에서 소리의 속력을 측정하기 위해 사용된 스테인리스 온도센서의 사양이다.

스테인리스 온도센서는 20 kΩ의 NCT 반도체 회로 소자를 이용하였으며, 회로 소자는 온도가 올라가면서 비직선방향으로 저항이 감소한다. 온도가 25 ℃일 때 저항은 온도 당 4.5 % 이다. 인터페이스는 저항을 측정하고, 측정된 저항을 Steinhart-Hart의 방정식을 이용해 온도로 변환시킨다.

(2) 실험 방법

1) 관측자 정지, 음원이 움직일 때

관측자(마이크로폰센서)가 정지한 상태에서 음원(수레에 실린 스피커)이 움직이는 MBL을 이용한 소리의 도플러 효과 구현 실험은 다음 그림 13와 같은 실험 모식도를 토대로 실험을 구성한다.

관측자인 마이크로폰센서가 고정되어 있고, 음원이 스피커가 관측자로 가까워지고 있을 때의 도플러 효과 실험 방법은 다음과 같다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

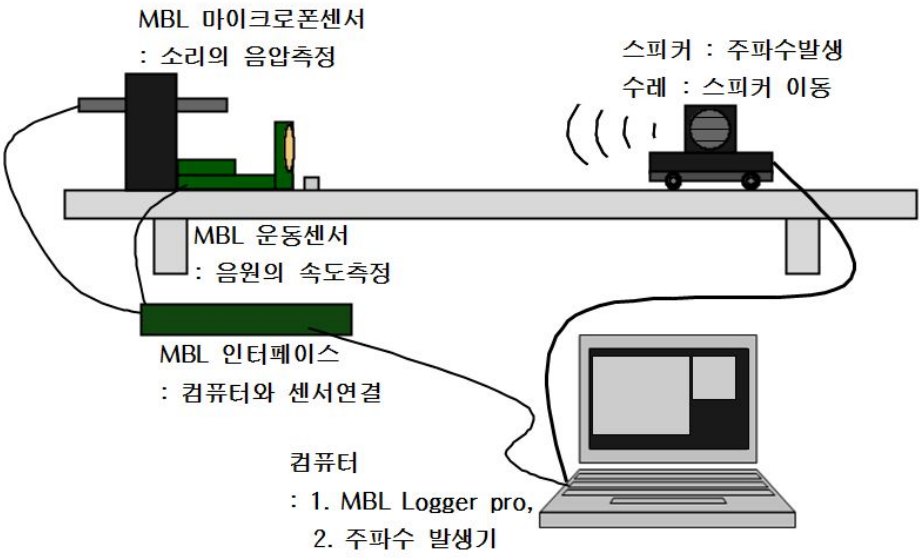


그림 13. 도플러 효과 실험 장치 모식도 1.

① PASCO사의 가속구름판을 사용하여 실험도와 같이 마이크로폰센서와 스피커, 컴퓨터를 연결한다.

② 스피커를 장착한 수레를 마이크로폰센서가 있는 곳으로 가속구름판을 따라 수차례 접근시킨다.

③ 실험메뉴에서 최근실행 저장을 눌러 데이터를 저장한다.

④ 주기를 세어보고 데이터 테이블에 기록한 후 수식 계산 열을 통해 주기로부터 실험에서 얻어진 진동수를 구한다.

⑤ 수식 계산 열을 통해 이론값을 계산한 후 실험값과 함께 그래프로 나타낸다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2) 음원 정지, 관측자가 움직일 때

정지한 음원(수레에 실린 스피커)과 움직이는 관측자(마이크로폰센서)로 MBL을 이용한 소리의 도플러 효과 구현 실험은 그림 14와 같은 실험 장치 모식도를 토대로 실험을 구성한다.

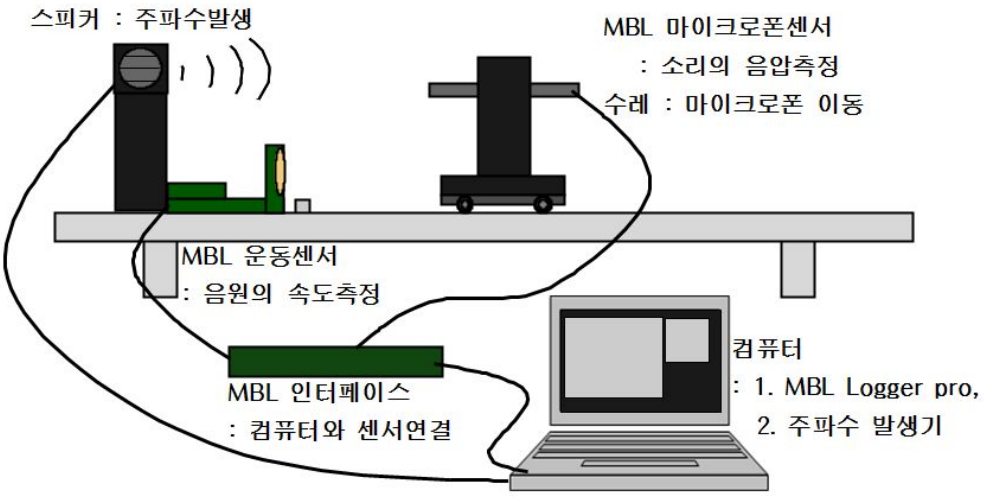


그림 14. 도플러 효과 실험 장치 모식도 2.

다음은 정지한 음원으로 관측자가 움직일 때의 도플러 효과의 실험 방법이다.

① PASCO사의 가속구름판을 사용하여 실험도와 같이 마이크로폰센서와 스피커, 컴퓨터를 연결한다.

② 마이크로폰센서를 장착한 수레를 스피커가 있는 곳으로 가속구름판을 따라 수차례 접근시킨다.

③ 실험메뉴에서 최근실행 저장을 눌러 데이터를 저장한다.

④ 주기를 세어보고 데이터 테이블에 기록한 후 수식 계산열을 통해 주기

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

로부터 실험에서 얻어진 진동수를 구한다.

⑤ 수식 계산열을 통해 이론값을 계산한 후 실험값과 함께 그래프로 나타낸다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅳ. 결과 및 고찰

도플러 효과 실험은 음원 또는 관측자가 서로에게서 멀어지거나 가까워지면서 새로이 들리는 진동수를 측정하게 된다. 이때 음원에서 발생되는 진동수와 실험실 벽면에서 발생하는 진동과의 간섭효과로 인하여 맥놀이 현상이 데이터에 같이 발생한다. 이에 맥놀이 현상 실험을 추가로 넣어 맥놀이에 대한 이해를 돕고자 한다.

1. 스피커 출력진동수와 마이크로폰센서 입력진동수 확인

진동수발생 프로그램에서 발생되고 있는 진동수가 스피커로 전달되면서 손실이 없는지 먼저 점검하기 위해 다음과 같이 412 Hz 기준 진동수 확인 실험을 한다. 그림 15는 진동수발생프로그램으로부터 출력주파수 412 Hz를 마이크로폰센서를 통해 얻은 파형그래프이다.

실험에 사용된 기준 진동수 412 Hz의 스피커 출력진동수와 마이크로폰센서를 통해 수집된 마이크로폰센서 입력진동수를 분석방법이다.

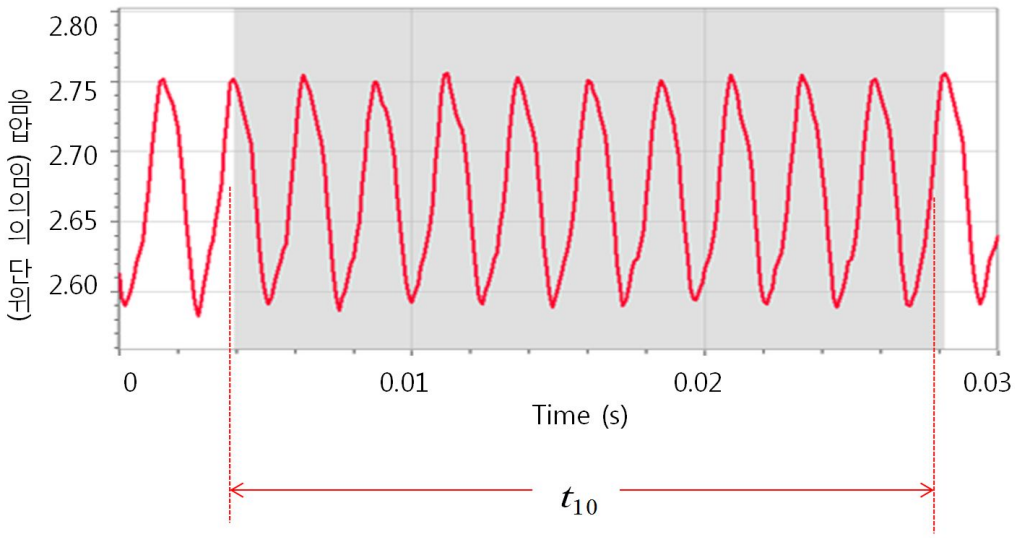


그림 15. 마이크로폰센서 입력진동수 412 Hz의 파형.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림 15는 진동수발생프로그램으로 생성한 412 Hz를 0.03 s 동안 마이크로폰으로 수집한 데이터의 파형이다.

412 Hz의 임의의 주기 10개를 주기 t_{10}이라 한다. 주기 t_{10}로부터 평균 주기 $\bar{t}$를 구한다. $t_{10} = 0.02427\,s$ 로 LoggerPro를 사용하여 시간변화량을 쉽게 구할 수 있다.

주기와 진동수 사이의 관계식을 이용하여 412 Hz 파형의 평균주기 $\bar{t}$로부터 진동수 f를 구하면

$$
\begin{aligned}
f &= \frac{1}{\bar{t}} \\
&= \frac{1}{t_{10}} \times 10 \\
&= \frac{1}{0.02427} \times 10 \\
&= 412.0011 \text{ Hz}
\end{aligned}
$$

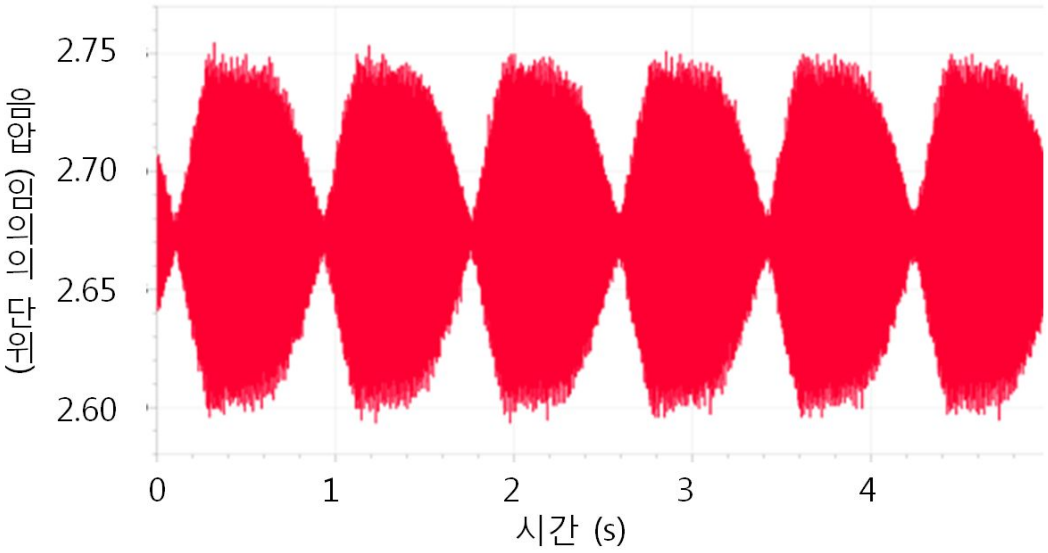
이다. 이때 주기 t_{10}는 소수점 다섯째자리까지 고려한다.

진동수 발생 프로그램에서 발생되는 출력 진동수 412 Hz와 스피커를 통해 마이크로폰으로 입력되는 진동수 412.0011 Hz로 계측되었다.

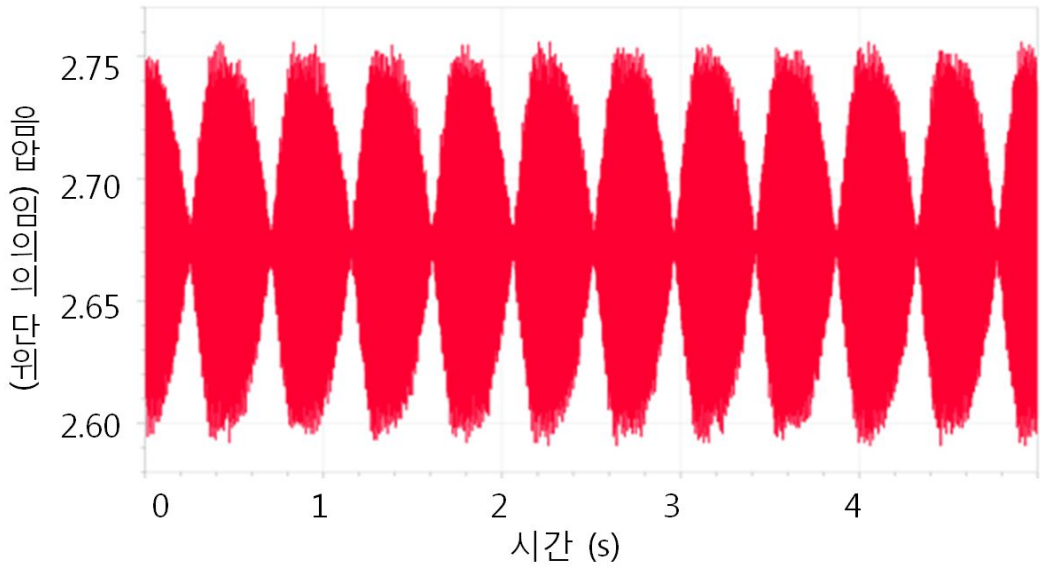
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 맥놀이현상 실험 결과 및 분석

그림 16은 412 Hz를 기준으로 하여 413 Hz부터 416 Hz까지 1 Hz씩 변화를 주어 측정한 맥놀이현상 파형그래프이다.

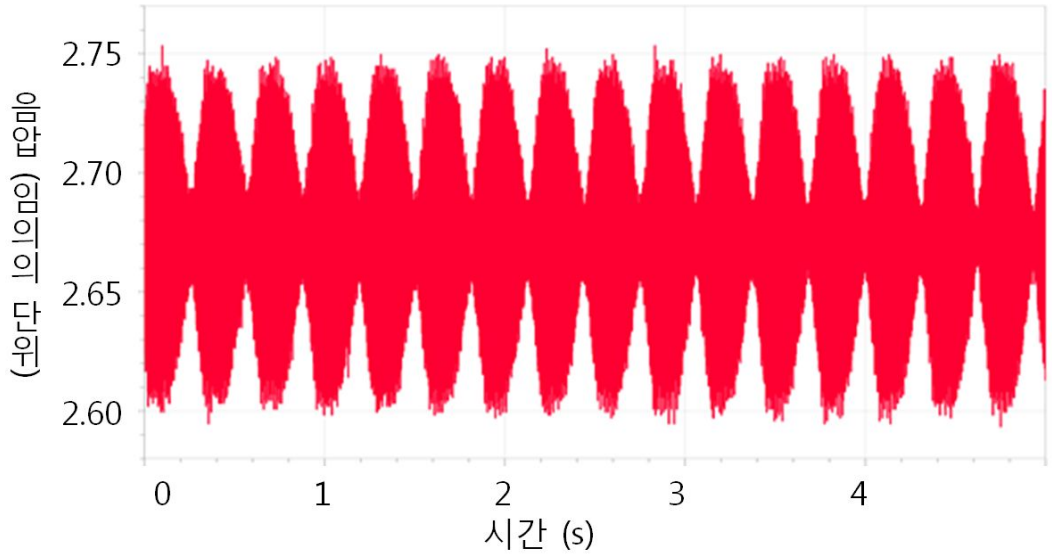


(a) 412 Hz와 413 Hz 의 중첩 파형.

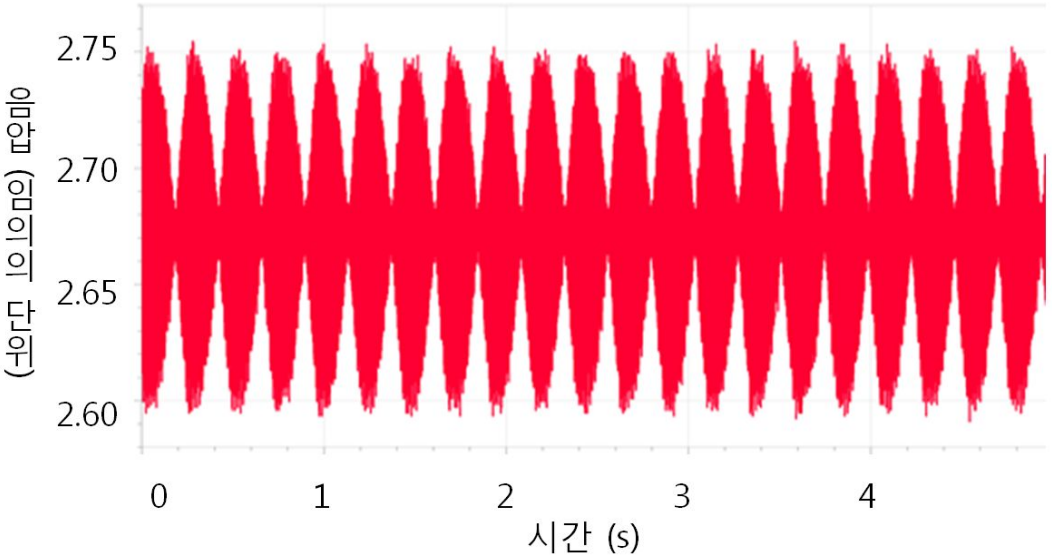


(b) 412 Hz와 414 Hz 의 중첩 파형.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



(c) 412 Hz와 414 Hz 의 중첩 파형.



(d) 412 Hz와 416 Hz 의 중첩 파형.

그림 16. 기준진동수 412 Hz와 실험진동수의 중첩 파형.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

맥놀이 진동수 f는 기준진동수 f_1와 실험진동수 f_2의 차로 계산된다. 기준진동수 412 Hz와 각 실험진동수의 차는 1 Hz, 2 Hz, 3 Hz, 4Hz가 되고 이를 맥놀이 진동수라고 한다.

그림 16에서 각 주기의 파형들은 살펴보면 맥놀이 진동수가 각각 1 Hz, 2 Hz, 3 Hz, 4 Hz로 나타난다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 도플러 효과 결과 및 분석

전통적인 방법의 도플러 효과 실험은 다음과 같은 장치를 사용하여 측정되어진다. 음원으로 사용된 진동수는 초음파 영역 때로 진동수 검출기 역시 초음파 영역 때 이다.

음원의 속력으로는 단위시간당 이동거리로 이동거리는 수레가 움직이게 될 레일을 길이를, 시간은 초시계로 측정을 하도록 구성되어져 있다.

이때, 초음파의 도플러 효과를 알아보기 위한 계측장비는 오실로스코프, 초음파센서, 초음파검출기 그리고 신호변환기가 사용되었다.

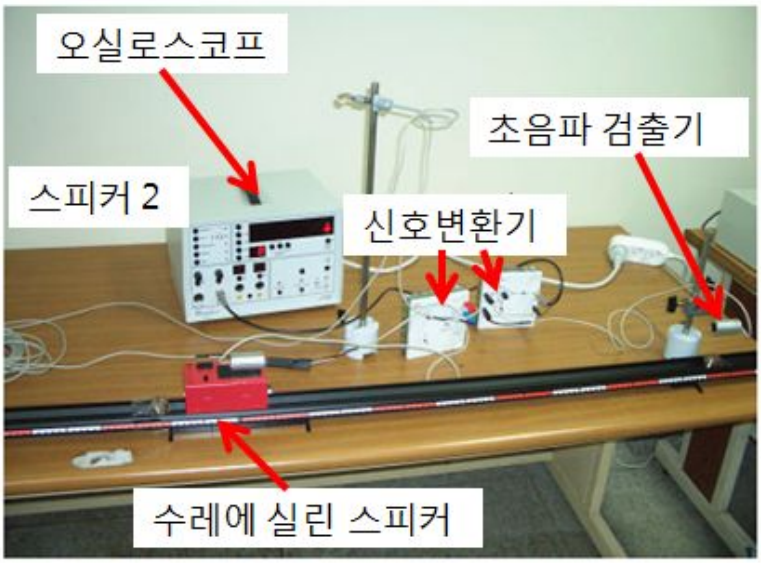


그림 17. 전통적인 방법의 도플러 효과 실험장치.

그림 17의 전통적인 실험방법의 도플러효과 실험에서는 초음파 음원을 사용한다. 초음파음원을 사용하는 경우 실험의 진행 여부를 확인하는데 어려움이 크다.

중학교, 고등학교 학생들에게 들리지 않는 소리를 통해 소리개념을 추상화 시키는 것은 매우 어렵다. 그러나 이때 가청진동수를 음원으로 사용할 경우 실험

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

과정에서 실험이 진행 여부와 도플러 현상을 직접 확인 할 수 있다는 장점을 지니게 된다.

도플러 효과 실험은 각 조건마다 20 ~ 30회 진행되었다. 이 때 음원인 스피커를 장착한 수레는 임의의 속력으로 가속구름판을 달리게 하였다. 이때 수레의 속력은 초음파센서가 달린 운동센서로 측정을 하였고, 마이크로폰은 관측자의 역할을 하게 된다.

도플러 효과 실험은 A 중학교 실험실에서 실시되었다. 이때 실내의 온도는 16.3 ℃ 이다. 인터페이스에는 소리의 속력측정에 필요한 온도센서와 음원의 속력측정에 필요한 초음파 운동센서 그리고 도플러 효과에 의한 음압의 변화를 측정 할 마이크로폰센서를 연결하여 실험을 하는 동안의 데이터 변화를 수집한다.

이때 소리의 속력 v는

$$v = 331.5 + 0.6\Delta T$$

로 온도 ΔT에 따라 그 값이 달라진다 [23].

실내 온도 16 ℃일 때 소리의 속력 v는

$$v = 341.28 \quad \mathrm{m/s}$$

이다.

초음파 운동센서를 통해 수집되는 음원의 속력 V_s은 도플러 효과가 보이는 구간의 평균 속력값을 이용하였다. 마이크로폰센서를 통해 수집된 음압의 평균주기 $\bar{t}$로 부터 환산하여 실험진동수 f'을 구한다.

소리의 속력 v는 소수점 네번째자리에서 반올림을 하여 나타낸다. 마이크로폰센서로 수집된 음원의 음압 주기데이터는 소수점 다섯번째짜리까지 고려하여 나타낸다. 이때 음원의 음압 주기 t는 LoggerPro 프로그램으로부터 시간의 변화량을 간단히 구할 수 있다. 초기 음원의 진동수는 800 Hz를 사용하였으며, 이를 고유진동수 f_0라 두었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1) 관측자는 정지하고 음원이 관측자로 가까워질 때

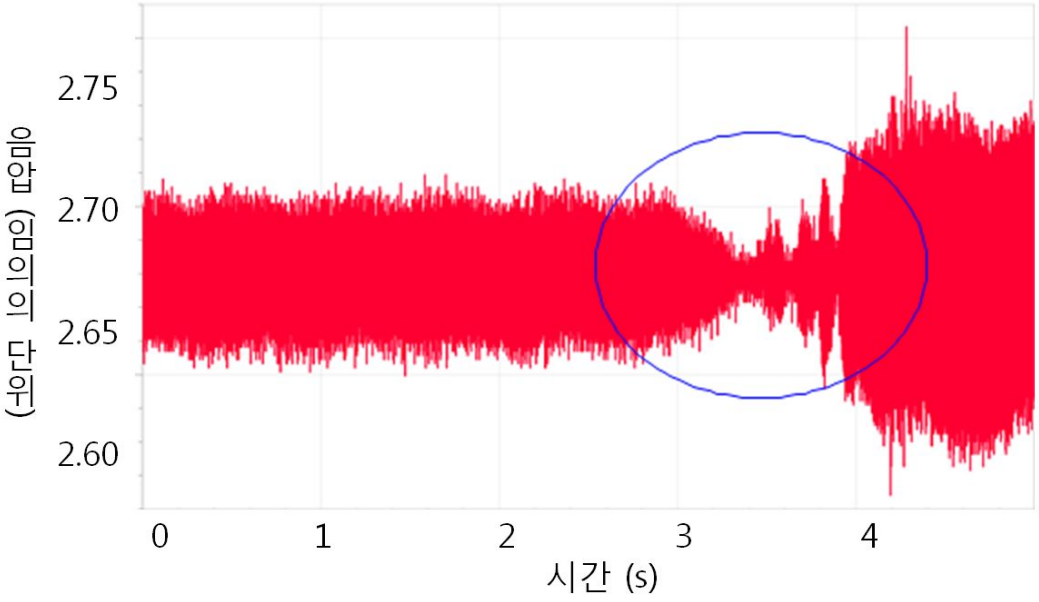


그림 18. 관측자는 정지하고 음원이 관측자로 가까워질 때 실험.

그림 18의 데이터는 정지한 관측자로 음원이 접근하고 있을 때 발생하는 주기의 파형 그래프이다. 3 s ~4 s일 때 음압의 변화를 살펴보면 왼쪽에서 오른쪽으로 데이터가 이동할수록 파장이 작아지고 진폭이 커지는 것을 볼 수 있다. 파장이 작아지는 것은 음원과 관측자의 사이가 가까워 졌음을 의미한다. 또한 소리의 세기를 담당하는 진폭 역시 커진 것을 통해 음원과 관측자의 위치변화를 예측해 볼 수가 있다. 이때 나타난 도플러 효과는 기준 진동수와 실험실 벽면에서 반사되어 나오는 진동수와 중첩되어 맥놀이 현상을 보인다.

도플러효과 확인을 위해 3 s ~4 s 구간의 데이터를 따로 분리하여 시간축의 간격을 조정한다.

도플러효과 실험에 사용된 물리량에 따른 표기는 다음과 같다. 음원의 속력은 V_s, 마이크로폰센서로 측정된 임의의 주기 t_{10}으로부터 계산된 평균주기는 $\bar{t}$, 도플러효과 공식에 측정한 음원의 속력 V_s를 넣어 계산한 이론진동수는 f, 음원과

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

관측자가 모두 정지하였을 때 관측자에게 들린 음원의 고유 진동수는 f_0 그리고 음원과 관측자의 상대운동에 의해 관측자가 듣는 실험진동수는 f'로 각각 표기하였다.

표 2. 관측자는 정지하고 음원이 관측자로 가까워질 때.

실내온도 16.3 ℃, 음원의 속력 $v = 341.28$ m/s, 고유진동수 $f_0 = 800$ Hz.

	실험값		이론값
음원의 속력 V_s (m/s)	평균주기 $\bar{t}$ (s)	실험진동수 f' (Hz)	이론진동수 f $f = \frac{v}{\lambda} = f_0 \frac{v}{v - V_s}$ (Hz)
0.802	0.012473	801.7317408	801.8844096
0.883	0.012465	802.2462896	802.0752239
0.927	0.012462	802.439416	802.1789142
0.969	0.012462	802.439416	802.2779164
0.968	0.012461	802.503812	802.2755589
1.043	0.012458	802.6970624	802.4524082
1.256	0.012455	802.8904056	802.9550855
1.467	0.012442	803.729304	803.4536642
1.562	0.012439	803.9231448	803.678345
1.959	0.012432	804.375804	804.6186355

마이크로폰센서에 수집된 음원의 음압주기데이터로부터 도플러 효과에 의해 달라진 음원의 실험진동수 f'와 도플러 효과 공식에 대입한 이론진동수 f 계산하여 표 2를 작성하였다. 표 2로부터 각 실험값과 이론값의 비를 다음의 그림 19와 같이 그래프로 확인한다. 이때 음압 평균주기 $\bar{t}$ 데이터는 소수점 여섯번째자리까지 고려한다. 이를 위해 마이크로폰센서로 수집된 음원의 임의의 음압 10개의 주기 t_{10}은 소수점 다섯 번째자리까지 유효한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

실험진동수 f'와 이론진동수 f는 각각 주기, 진동수 관계식과 도플러효과식에 넣어 소수점 일곱번째자리까지 계산한다.

그림 19에서 진동수비의 이론값은 고유진동수 f_0에 도플러 효과 공식에 음원의 속력 V_s를 넣어 계산된 이론진동수 f와 고유진동수 f_0 차의 절대값을 의미하며, 각 음원의 속력 v에 따른 이론값은 실선으로 표현된다. 실험값은 고유진동수 f_0에 실험시 얻어진 실험진동수 f'과 고유진동수 f_0 차의 절대값을 말하며, 실선의 이론값 주변에 점으로 분포하고 있다.

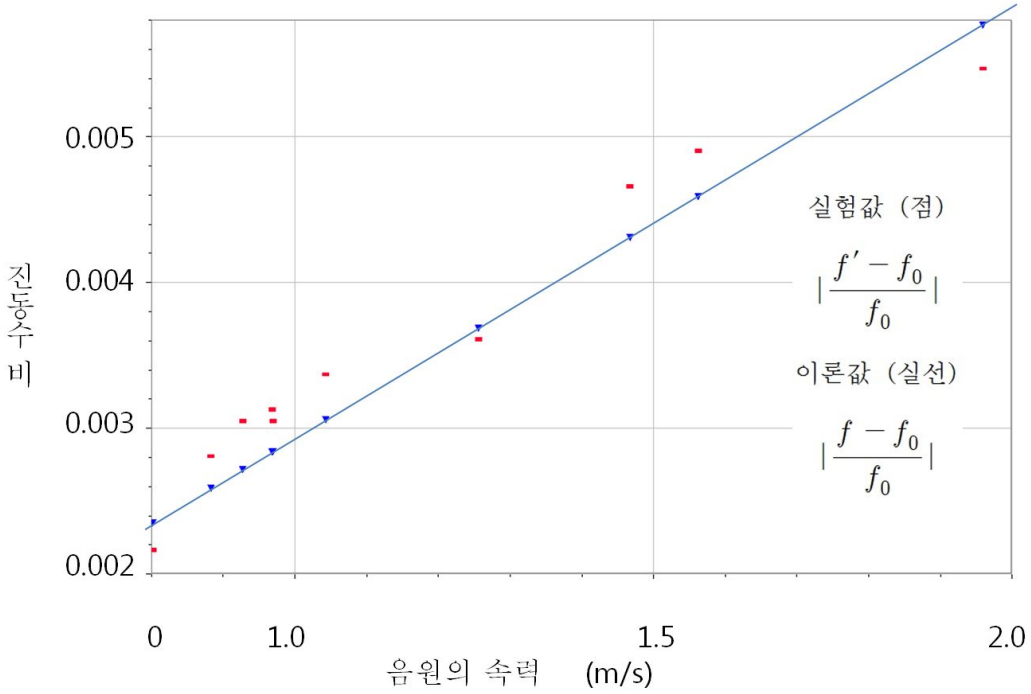


그림 19. 관측자는 정지하고 음원이 관측자로 가까워질 때의 진동수 비.

2) 관측자는 정지하고 음원이 관측자로부터 멀어질 때

그림 20는 정지한 관측자로부터 멀어지고 있는 음원에서 발생하는 음압 변화의 나타낸다. 그림 20에서 도플러 효과가 나타나고 있는 1초에서 2.5초 사이의 음압 데이터부분만을 나타내었다. 음원이 관측자로부터 멀어지고 있는 때 맥놀이 현상과 함께 진동수는 작아지고 진폭은 감소하고 있는 것을 확인할 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

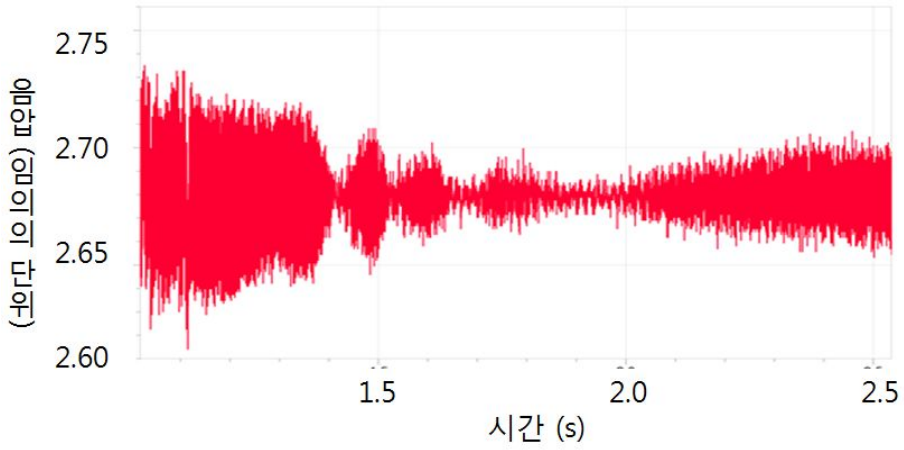


그림 20. 관측자는 정지하고 음원이 관측자로부터 멀어질 때.

표 3은 표 2에서와 같은 방법으로 각 데이터를 생성하여 구성한다.

표 3. 관측자는 정지하고 음원이 관측자로부터 멀어질 때.

실내온도 16.3 ℃, 음원의 속력 $v = 341.28$ m/s, 고유진동수 $f_0 = 800$ Hz.

	실험값		이론값
음원의 속력 V_s (m/s)	평균주기 $\bar{t}$ (s)	실험진동수 f' (Hz)	이론진동수 f $f = \frac{v}{\lambda} = f_0 \frac{v}{v+V_s}$ (Hz)
0.708	0.012523	798.5307035	798.3438015
0.798	0.012532	797.9572295	798.133759
0.811	0.012527	798.2757244	798.1034286
0.854	0.012536	797.7026165	798.0031216
0.933	0.012535	797.7662545	797.8189023
0.985	0.012534	797.8299027	797.6976904
1.076	0.012544	797.1938776	797.4856582
1.277	0.012544	797.1938776	797.0177226
1.389	0.012555	796.4954202	796.7572205
1.458	0.012561	796.114959	796.5968174

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림 21은 표 3에서 얻어진 데이터를 각각 이론값 = $|\frac{f-f_0}{f_0}|$,

실험값 = $|\frac{f'-f_0}{f_0}|$이라 두고, 진동수 비로 나타낸 것이다.

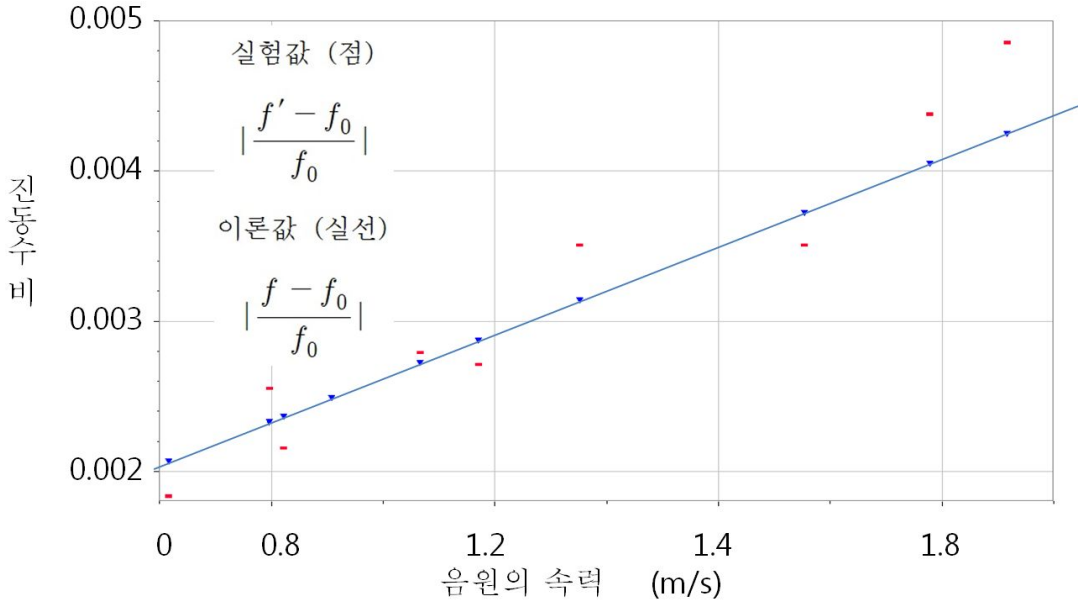


그림 21. 관측자는 정지하고 음원이 관측자로부터 멀어질 때 의 진동수 비.

3) 음원이 정지하고, 관측자가 음원으로 가까워질 때

그림 22는 정지한 음원에 관측자가 가까워지고 있을 때의 데이터이다.

그림 22의 데이터 역시 맥놀이 현상과 함께 진동수의 변화를 보이고 있다. 시간이 지날수록 진동수는 증가하고 진폭 또한 그 값이 커지는 것을 살펴볼 수 있다. 이러한 진동수와 진폭의 변화로 음원과 관측자 사이의 거리가 가까워지는 것을 예측해 볼 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

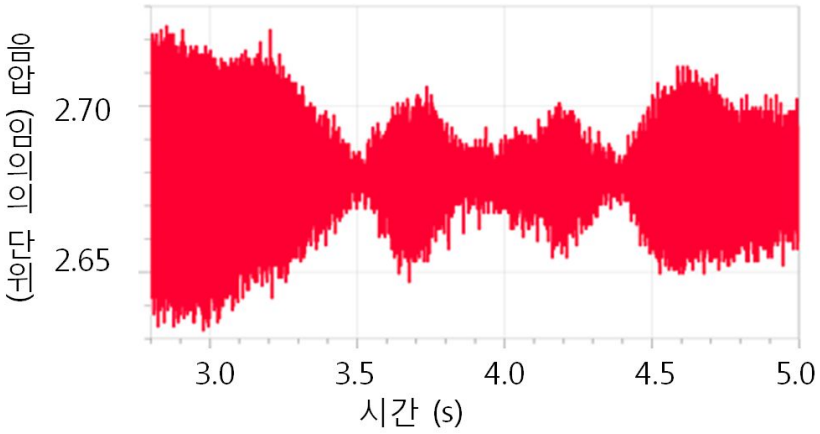


그림 22. 음원이 정지하고, 관측자가 음원으로 가까워질 때.

표 4는 그림 22에서 얻은 실험진동수 f'의 데이터를 표 2에서와 같은 방법으로 각 데이터를 생성하여 작성한다.

표 4. 음원이 정지하고, 관측자가 음원으로 가까워질 때.

실내온도 16.3 ℃, 음원의 속력 $v = 341.28$ m/s, 고유진동수 $f_0 = 800$ Hz.

	실험값		이론값
음원의 속력 V_s (m/s)	평균주기 $\bar{t}$ (s)	실험진동수 f' (Hz)	이론진동수 f $f = \frac{v}{\lambda} = f_0 \frac{v - V_s}{v}$ (Hz)
0.657	0.012481	801.2178511	801.5400844
0.687	0.012479	801.3462617	801.6104079
0.757	0.012475	801.6032064	801.774496
0.765	0.012474	801.6674683	801.7932489
0.856	0.012472	801.7960231	802.0065635
0.865	0.012469	801.9889326	802.0276606
0.875	0.012468	802.0532563	802.0511017
0.9	0.012466	802.1819349	802.1097046
0.91	0.012465	802.2462896	802.1331458
0.933	0.012463	802.3750301	802.1870605

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림 23은 표 4에서 얻은 실험진동수 f'과 이론진동수 f를 고유진동수 f_0에 대한 진동수 비로 표현하여 그래프로 나타냈다.

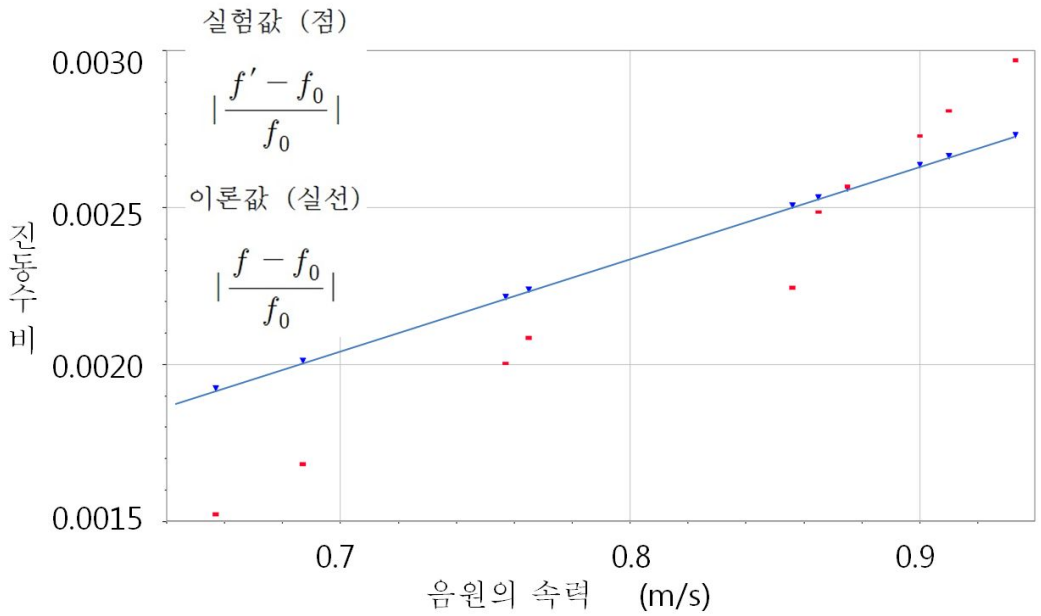


그림 23. 음원이 정지하고, 관측자가 음원으로 가까워질 때의 진동수 비.

4) 음원이 정지하고, 관측자가 음원으로 멀어질 때

그림 24는 정지하고 있는 음원으로부터 관측자가 멀어지고 있을 때의 시간에 따른 음압 데이터이다.

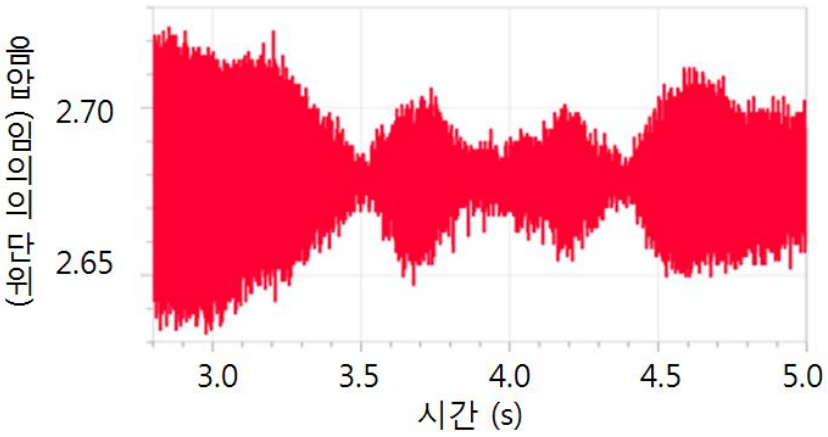


그림 24. 음원이 정지하고, 관측자가 음원으로 멀어질 때.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림 24 역시 실험 1, 2, 3 에 보여지 데이터와 같이 맥놀이 현상과 같이 진동수의 변화를 가져왔다. 실험 1, 2, 3 에 비해 대체적으로 도플러 효과로 인해 얻어진 데이터의 이론값과 실험값 사이에 대한 비가 가장 크다. 고정된 음원으로 관측자가 멀어지는 경우 유선 실험장치의 제약을 가장 많이 받게 되는 것을 알 수 있었다.

표 5는 그림 24에서 측정된 실험진동수 f'과 이론진동수 f를 나타낸다.

표 5. 음원이 정지하고, 관측자가 음원으로 멀어질 때.

실내온도 16.3 ℃, 음원의 속력 $v = 341.28$ m/s, 고유진동수 $f_0 = 800$ Hz.

	실험값		이론값
음원의 속력 V_s (m/s)	평균주기 $\bar{t}$ (s)	실험진동수 f' (Hz)	이론진동수 f $f = \frac{v}{\lambda} = f_0 \frac{v - V_s}{v}$ (Hz)
0.578	0.012524	798.4669435	798.6473916
0.598	0.012523	798.5307035	798.6006704
0.632	0.012521	798.6582541	798.5212569
0.643	0.012523	798.5307035	798.4955677
0.698	0.012523	798.5307035	798.3671464
0.754	0.01253	798.084597	798.2364326
0.798	0.012525	798.4031936	798.133759
0.834	0.012533	797.893561	798.0497729
0.897	0.012531	798.0209081	797.9028398
0.984	0.012534	797.8299027	797.700021

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

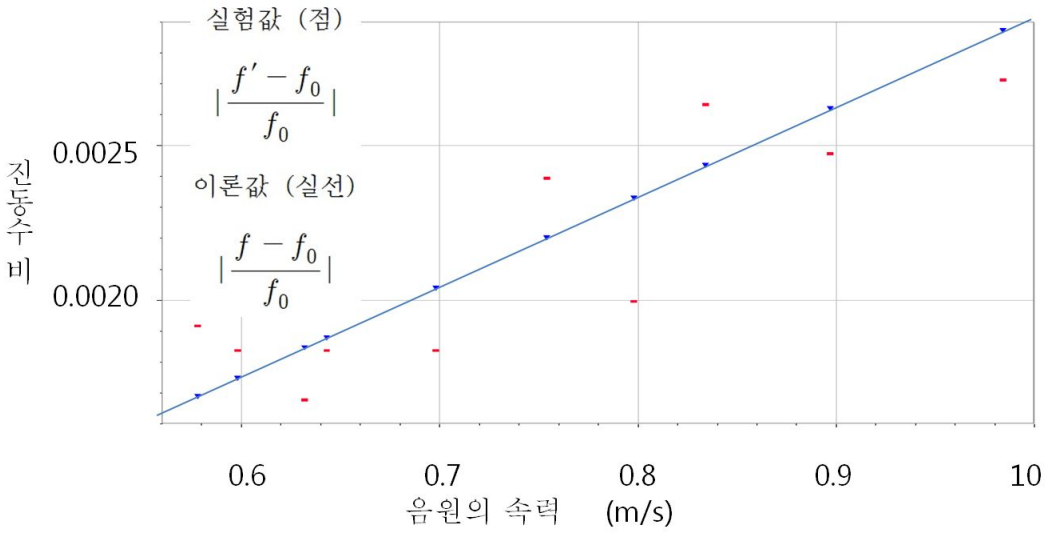


그림 25. 음원이 정지하고, 관측자가 음원으로 멀어질 때의 진동수 비.

그림 25는 표 5에서 얻은 측정된 실험진동수 f'과 이론진동수 f를 고유진동수 f_0에 대한 진동수 비로 표현하여 그래프로 나타내었다.

소리의 도플러효과 실험은 음원과 관측자 모두가 정지한 상태에서 초기 음원의 고유진동수 $f_0 = 800$ Hz를 사용하여 실험하였다.

음원의 속력 V_s는 소수점 네번째자리에서 반올림을 하여 소수점 셋째자리까지 나타냈으며, 마이크로폰센서로 수집된 음원의 음압 주기 t_{10}은 소수점 다섯번째 짜리까지 고려하여 나타었다. 이때 음원의 음압 주기 t_{10}은 LoggerPro 프로그램으로부터 시간의 변화량을 간단히 구할 수 있다. 음압 주기 t_{10}으로부터 음압의 평균주기 $\bar{t}$를 구하여 실험진동수 f'을 구한다.

고정된 관측자 마이크로폰센서로부터 음원인 스피커가 가까워지거나 멀어질 때의 실험진동수 f'은 음원 스피커가 정지하고 관측자 마이크로폰센서가 움직일 때의 실험진동수 f'보다 이론진동수 f에 더 근사한 값을 갖는다.

또한 음원과 관측자가 멀어질 때 보다 가까워 질 때의 측정 진동수 f'와 이론진동수 f의 값이 더 근사한 값을 갖는다.

이러한 마이크로폰센서와 컴퓨터 제어를 통한 도플러 효과와 맥놀이 현상 실

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

험은 과학 실험 기구가 준비된 과학 실험실 환경에서 모둠별 협동과제로 적합하지만, 과학 실험실 이용이 불가능 할 시에는 멀티미디어실에서 시범실험으로 진행 할 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅴ. 결　론

도플러 효과의 전통적 실험의 경우, 개개의 계측 장비들의 사용법을 모두 알고 있어야하며, 실험의 구성에 있어 매번 계측장비와센서의 구성 그리고 변환기의 사용여부를 학생 스스로가 설정을 하는 데 시간적, 공간적, 물질적 제약을 많이 가지고 있었다. 그러나 본 논문에서 제작된 도플러효과 실험장치는 GUI(Graphical User Interface)에 익숙한 학생들이 온도센서, 운동센서, 마이크로폰센서와 인터페이스 그리고 컴퓨터 제어를 통해 동시에 데이터를 얻고 분석하는 다양한 실험을 경험해 볼 수가 있다.

본 논문에서는 마이크로폰센서와 가청진동수의 이용한 컴퓨터기반실험을 제작해 도플러효과 실험장치 구성하고, 음원으로부터 관측자가 멀어지거나 가까워질 때 음원의 실험진동수와 음원과 관측자가 정지하였을 때 음원의 초기진동수 사이 관계를 측정하여 분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론 및 제언을 얻었다.

첫째, 초음파를 이용한 전통적 실험과는 달리 본 논문에서는 가청진동수 음원을 사용하여 MBL 도플러효과 실험을 하였다.

둘째, 음원과 마이크로폰센서가 가까워지거나 멀어지는 경우에 마이크로폰센서로 음압이 측정하여 실험진동수를 구하였다. 이 진동수는 이론으로 계산한 도플러 효과의 진동수와 일치하였다.

셋째, 이를 이용하여 일선학교 물리실험에 활용할 수 있는 도플러효과 실험의 교수-학습 자료를 제시하였다. 그리고 제작된 실험 장치를 통한 소리의 도플러 효과 이해는 빛의 도플러 효과 개념형성에 도움을 줄 수 있다.

넷째, 또한 시범 실험 장면을 동영상으로 제작하여 학교에 보급한다면 소리 현상 응용 수업을 위한 시청각 교재로 활용할 수 있을 것이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

참고문헌

[1] 교육과학기술부고시, 2009-41호, 제 7차 교육 과정 2009 개정 과학과 물리 I, 물리 II, (2009).

[2] Gangoli S G, A study of effective of a guided open-ended approach to physics experiments, International Journal Science, education 17(2), 233-241 (1995).

[3] 이동준, 고등학교 물리실험에서 동영상을 이용한 상호작용적 시범실험의 적용, 한국교원대학교 석사학위논문 (2001).

[4] 구혜원, 과학과 수업에 적용한 MBL실험 방식의 효과 연구, 이화여자대학교 박사 논문(1994).

[5] 권재술 · 김범기, 초-중학생들의 과학탐구능력 측정에 대한 도구의 개발, 한국과학교육학회지, 14(30),251-264 (1994).

[6] 이향미, 고등학생의 역학적 에너지 보존 학습에서 컴퓨터를 기반으로 하는 상호작용적 시범실험 수업의 효과, 한국교원대학교 석사학위논문, (2002).

[7] Ault C R, Interviews studies in Teacher Education : Examples from Extraordinary Contexts, Proceedings of the second international semina: misconceptions & educational strategies in Scinece & Mathematics, Novak, J (1987).

[8] 정희연, 컴퓨터 기반 과학 실험 수업의 효과, 대구교육대학교 교육대학원 석사학위논문 (2010).

[9] 구자춘, LED 를 광원으로 하는 MBL 활용 광전효과 실험장치 개발, 공주대학교 교육대학원 석사학위논문 (2007).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

[10] Watt D, & Russell, T Sound: Primary SPACE project research report, Liverpool University press (1990).

[11] 김한호, 빛과 소리에 대한 초등학교 학생들의 개념 조사, 한국교원대학교대학원 석사학위 논문 (1991).

[12] 김연일, 소리에 관한 아동들의 개념 변화에 미치는 구성주의적 수업전략의 학습 효과, 한국교원대학교 석사학위 논문 (1992),

[13] 김동춘, 오개념 교정 교수전략에 의한 아동의 소리 개념 변화, 한국교원대학교대학원 석사학위 논문 (1993),

[14] 곽경희, 초등학교 저학년 학생들의 소리에 대한 개념 조사 및 수업을 통한 개념 변화, 이화여자대학교 대학원 석사학위 논문 (1993).

[15] 김홍선, 초등학교 학생들의 소리에 대한 선개념 유형과 경험활동 학습을 통한 개념 변화에 대한 한·영 비교 연구, 이화여자대학교 대학원 석사학위 논문 (1993).

[16] 신완철, 소리의 발생, 전달, 수신에 대한 중학생들의 개념 조사, 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문 (1996).

[17] 이호길, 초등학교 교사들의 소리 개념, 한국교원대학교 대학원 석사학위논문 (1999).

[18] 양은숙, 역학적 파동에 대한 중학생들의 수업 전·후 개념 조사, 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문 (2002).

[19] 서원만, 중등학교 과학교사의 역학적 파동에 대한 이해도 조사, 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문 (2004).

[20] 이상국, 역학적 파동의 중첩 현상에 대한 고등학생의 이해도 조사, 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문 (2005).

[21] 고려대학교, 서강대학교 물리학과 공역, Halliday, Resnick, Walker 일반

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

물리학 2 개정 4판, 범한 서적 (1995).

[22] 류성주, 컴퓨터기반실험(MBL)을 적용한 흑체복사 실험장치의 제작, 공주대학교 교육대학원 석사학위 논문 (2007).

[23] 신근섭, 물리용어사전, (주)신원문화사 (2002).

[24] http://www.hanmacco.com/products/ed_pdf/page058.pdf

[25] http://www,sciencecube,com

[26] http://www,vernierkorea,com/

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

ABSTRACT

Development of teaching and learning resources for physics experiments by using a computer based microphone sensor.

In this paper, we study the experimental analysis of Doppler effect by using a Microcomputer-based Laboratory (MBL). The microphone sensor was used to detect the sound wave which is adopted for the wave source. While the source emits a sound wave with frequency f, the data of detected frequency f' were collected by the relative motion between the sound source and the detector sensor. From the obtained data, the detected frequency f' were analyzed by the intensity of sound wave. The experimental values are compared with the theoretical values of the calculated Doppler effect equation. The above mentioned the method for MBL analysis is expected to be used of the teaching and learning resources which is the experimental physics course of middle and high school about Doppler effect. On the basis of our study, it seems to help to have the concept of light wave in addition to the understanding for the sound wave of Doppler effect.

Keywords : Microphone sensor, Microcomputer-based Laboratory (MBL), Doppler effect

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

부록 A. 소리의 맥놀이 현상 탐구

실험 · 탐구보고서	소리의 맥놀이 현상 탐구	학생용
년 월 일	학년 반 번 이름	

소리는 공기의 진동에 의해 전달이 된다.

마이크로폰의 얇은 박이 이 공기의 진동을 압력변화로 변환하여 이것을 전기신호의 데이터로 바꾼다.

마이크로폰 센서와 컴퓨터 인터페이스를 사용하여 소리의 맥놀이현상을 탐구해보자.

<table>
<tr><td>탐구 목적</td><td colspan="2">1. 소리굽쇠의 소리의 주기를 측정하여 이로부터 진동수를 구하여 보자.
2. 스피커에서 나오는 2개의 이웃하는 진동수를 마이크로폰으로 측정하여 맥놀이 현상을 실험해 보자.
3. 미지의 진동수(소리굽쇠 또는 전자키보드)를 맥놀이 현상을 이용하여 구하여 보자.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">준비물</td><td>일반 실험 준비물</td><td>소리굽쇠(또는 전자키보드), 마이크로폰센서 고정대, 셀로판테이프, 스피커 2개, 컴퓨터 2대, 진동수발생기</td></tr>
<tr><td>MBL 실험 준비물</td><td>버니어 인터페이스, 버니어 마이크로폰센서, LoggerPro 한글전용 프로그램</td></tr>
<tr><td colspan="2">
그림 1. 소리의 맥놀이 현상 측정 실험시 준비물</td></tr>
<tr><td>알고 있나요?

탐구에 들어가기 전에</td><td colspan="2">1. 소리의 주기는 공기가 한번 진동하는데 걸리는 시간으로 단위는 s(초) 이며, 시간당 측정량으로 보통 T 라고 표기한다.
주기의 역수는 진동수라고 하며, 초당 진동한 횟수를 의미한다. 진동수의 단위는 $Hz=1s^{-1}$ 이다.</td></tr>
</table>

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

	2. 소리의 진폭은 압력이 변화함에 따라 소리는 공간의 평균 압력보다 높아졌다 낮아졌다 한다. 진폭은 압력의 중간점에서 위 또는 아래에 존재하는 최대 변화량을 말한다. 이것은 소리의 크기와 밀접한 관련이 있다. 3. 소리의 중첩 현상은 두 소리가 중첩이 되면 그 압력 또한 중첩이 되어 들리게 된다. 소리의 중첩성에 의한 현상을 소리의 간섭현상이라 하며, 보강간섭과 상쇄간섭이 있다. 소리의 중첩성은 선형 중첩의 원리를 따른다. 이때 비슷한 진동수를 갖는 소리가 만나서 독특한 진동수의 변화를 만들어 내는데 이것을 맥놀이라고 한다.
질문하기	1. 오케스트라의 여러 악기들이 합주를 하기 전에 조율 하게 됩니다. 어떠한 방법으로 조율을 하는지 알아봅시다. 2. 소리는 공기의 진동에 의해 전달이 됩니다. 이때 두 개의 각기 다른 소리가 임의의 한 점에서 어떻게 측정이 되어 질까?
탐구방법	<실험 1> 1. 소리굽쇠의 소리의 주기를 측정하여 이로부터 진동수를 구하여 보자. ① 마이크로폰을 1번 채널에 연결한다. ② 소리굽쇠 또는 전자 키보드를 이용하여 소리를 내고, 마이크로폰을 가까이 가져간 뒤 수집버튼을 누른다. 이때, 사인파 형으로 발생하는 데이터를 기록한다. ③ 주기측정하기 검사버튼을 누르고 마우스를 드래그하여 x축 상에 나타나는 시간간격 Δt 를 읽는다. ④ 진동수 계산하기 데이터시트에 수동계산열 생성을 추가하여 주기와 진동수의 관계가 역수임을 이용하여 진동수를 계산한다. ⑤ 각 진동수(주파주) 발생장치의 이론값를 확인해 본다. 소리굽쇠를 이용하였다면, 소리굽쇠의 진동수를 확인한다. 이때 소리굽쇠가 아닌 전자기보드를 이용하였다면, 전자기보드의 진동수를 확인한다. 음계에 따른 주파수를 확인해 본다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

<table>
<tr><td></td><td>⑥ 보고서에 그래프와 표를 삽입하여 실험보고서를 완성하여본다.

<실험 2>
2. 스피커에서 나오는 2개의 이웃하는 진동수를 마이크로폰으로 측정하여 맥놀이 현상을 실험해 보자.
① 마이크로폰을 1번 채널에 연결한다.
② 한 개 주파수 발생장치로부터 들리는 첫 번째 소리의 데이터를 수집한다.
③ 다른 한 개의 주파수 발생장치를 진동수를 변화시키며 두 번째 소리의 데이터를 수집한다.
④ 첫 번째와 두 번째의 주파수 발생기로부터 발생하는 소리의 변화를 들을 수 있다. 이때 데이터 수집버튼을 눌러 데이터를 수집한다.
⑤ 합성된 파형으로부터 검사버튼을 눌러 시간간격을 재고, 맥놀이의 주기를 결정한다. 이로부터 진동수를 구하여 본다.
⑥ 두 번째 소리의 주파수를 변화시켜 여러 개의 데이터를 수집하여 본다.
⑦ 보고서에 그래프와 표를 삽입하여 실험보고서를 완성하여본다.

<실험 3>
3. 미지의 진동수(소리굽쇠 또는 전자키보드)의 진동수를 맥놀이 현상을 이용하여 구하여 보자.
① 마이크로폰을 1번 채널에 연결한다.
② 한 개의 주파수 발생기로부터 소리를 발생시킨다.
③ 다른 한 개의 주파수 발생기의 주파수를 변화시켜가며 맥놀이 현상이 일어나지 않는 주파수를 찾는다.
④ 이것은 조율의 원리와도 같다.</td></tr>
<tr><td>탐구 결과</td><td><실험 1>
1. 소리굽쇠의 소리의 주기를 측정하여 이로부터 진동수를 구하여 보자.
<table><tr><td>실험
횟수</td><td>그래프</td><td>계산된
주파수</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
</table>

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

<실험 2>

2. 스피커에서 나오는 2개의 이웃하는 진동수를 마이크로폰으로 측정하여 맥놀이 현상을 실험해 보자.

사용된 진동수	그래프	맥놀이 진동수

<실험 3>

3. 미지의 진동수(소리굽쇠 또는 전자키보드)의 진동수를 맥놀이 현상을 이용하여 구하여 보자.

기본 진동수	맥놀이 진동수

실생활의 이용	1. 맥놀이 현상을 이용하면 어떠한 점이 좋은가 이야기해 보자. 2. 맥놀이 현상을 이용한 실생활의 이용의 예를 들어보자.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

실험 · 탐구보고서	소리의 맥놀이 현상 탐구	교사용

1. 소리굽쇠의 소리의 주기를 측정하여 이로부터 진동수를 구하여 보자.
2. 스피커에서 나오는 2개의 이웃하는 진동수를 마이크로폰으로 측정하여 맥놀이 현상을 실험해 보자.
3. 미지의 진동수(소리굽쇠 또는 전자키보드)의 진동수를 맥놀이 현상을 이용하여 구하여 보자.

1. 탐구 내용 분석

이 활동은 다음 그림과 같이 실험 기구를 설치하고, LoggerPro 프로그램을 사용하여 실험한다.

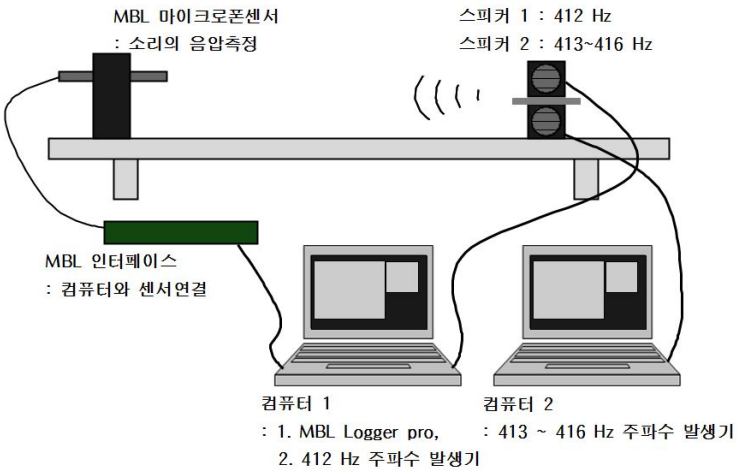


그림 2-1. 맥놀이현상탐구 실험도

2. 진행 방법

본 활동은 2시간 정도 시간이 걸리며, 3명이 1조로 실험하는 것이 적당하다. 교사가 먼저 시범을 보이고 학생들이 실험을 하도록 지도하는 것이 필요하다.

학생들이 LoggerPro 프로그램의 사용에 익숙해지는 것이 필요하다.

3. 학생용 탐구지 예시

<실험 1>

1. 소리굽쇠의 소리의 주기를 측정하여 이로부터 진동수를 구하여 보자.

<소리의 주기를 측정하여 이로부터 진동수구하기 예시>

다음은 스피커에서 나오는 미지의 주파수를 마이크로폰으로 음압을 측정한 데이터이다.

활동의 성격

컴퓨터를 이용한 활동이다.

지도상 유의점

센서, 컴퓨터 등 전기적으로 민감한 실험 기구들을 다루는 실험이므로 장치들의 연결 시 학생들에게 주의 사항을 설명할 필요가 있다.

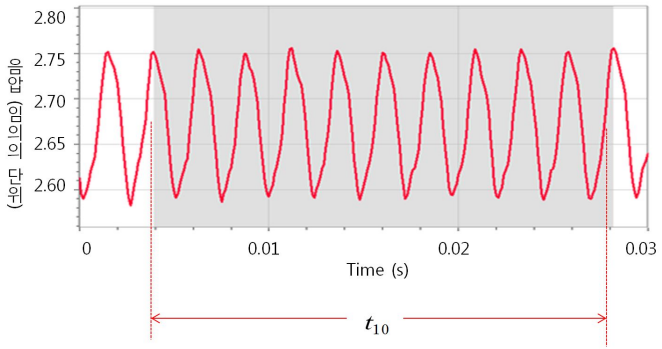
실험시 유의점

테스터의 사양을 제공되는 메뉴얼을 통해서 정확하게 알 필요가 있다.

참고

제공된 프로그램의

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



미지의 주파수를 구하기 위해 10회의 주기로부터 평균 주기를 구한다.

$$f = \frac{1}{0.02427\,\mathrm{sec} \times 10} = 412.0011$$

실험횟수	t_{10}	주기	진동수
	0.02427	0.002426	412.0011

Tip. 주파수를 구할 때 에는 하나의 주기만을 측정하지 않도록 주의한다. 파형은 일정하게 나온다. 그러나 주파수가 클수록 주기가 짧기 때문에 주기 측정이 그래프에서 주기측정이 쉽지 않다. 마우스 드래그의 정확도에 따라 시간의 차가 생기므로 주의하자.

<실험 2>

2. 스피커에서 나오는 2개의 이웃하는 진동수를 마이크로폰으로 측정하여 맥놀이 현상을 실험해 보자.

사용된 진동수	그래프	맥놀이 진동수

시트에도 실험 결과를 정리할 수 있다. 프린터가 연결되었다면, 출력물을 보고서에 첨부할 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

<실험 3>

3. 미지의 진동수(소리굽쇠 또는 전자키보드)의 진동수를 맥놀이 현상을 이용하여 구하여 보자.

기본 진동수	맥놀이 진동수

<토의 활동>

1. 소음 제거기라 불리는, 실생활에 사용되는 제품이 있다. 마이크, 헤드 셋 등에 들어가며, 시끄러운 장소에서 더 잘 들을 수 있도록 고안된 제품이다. 이것은 단순이 헤드폰의 방음기능만이 아니라, 실제로 소음을 줄여준다. 어떤 원리로 작동할까?

2. 맥놀이에 집중하는 것은, 우리가 듣는 세기의 패턴이다. 분석 도구를 이용하여 패턴 속에 놓인 다양한 주파수를 결정해 보자. 진동을 발생하는 개개의 주파수와 이 주파수는 어떤 관계에 있는가?

3. 두 개의 인접한 음을 키보드에서 칠 때, 패턴을 확인해 보자. 두 음이 점점 멀어질수록 어떻게 변하는가?

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

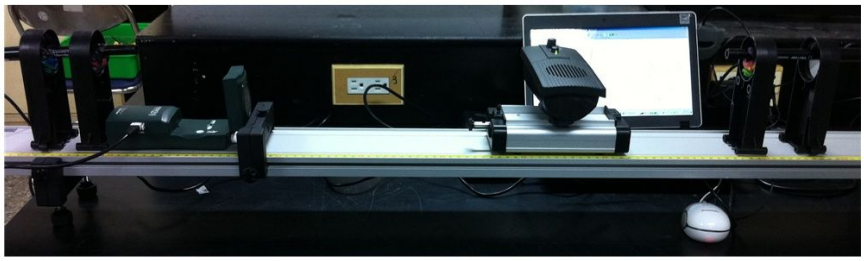
부록 B. 소리의 도플러 효과 탐구

실험 · 탐구보고서	소리의 도플러 효과 탐구	학생용
년 월 일	학년 반 번 이름	

사이렌을 울리며 움직이는 엠블런스가 접근할 때와 멀어질 때 우리는 엠블런스를 보지 않아도 알 수가 있다. 왜 그럴까 ?

마이크로폰의 얇은 박이 이 공기의 진동을 압력변화로 변환하여 이것을 전기신호의 데이터로 바꾼다.

마이크로폰 센서와 컴퓨터 인터페이스를 사용하여 소리의 도플러 효과를 탐구해보자.

<table>
<tr><td>탐구 목적</td><td colspan="2">1. 공기 중에서 소리의 속도 v 에 의한 진동수의 변화를 측정해 보자.
2. 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 가까워질 때와 멀어질 때 각각의 경우에 진동수를 측정해 보자.
3. 소리의 속도 v 와 측정된 실험진동수 f'와 초기 고유진동수 f_0 사이의 진동수의 비 $\frac{f'}{f_0}$, 계산된 이론진동수 f 와 초기 고유진동수 f_0 사이의 진동수의 비 $\frac{f}{f_0}$ 관계를 아래의 각 경우에 대해 그래프를 그려본다.
- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 가까워질 때
- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 멀어질 때</td></tr>
<tr><td rowspan="3">준비물</td><td>일반 실험 준비물</td><td>마이크로폰센서 고정대, 고무찰흙, 스피커, 컴퓨터, 가속구름판, 수레</td></tr>
<tr><td>MBL 실험 준비물</td><td>버니어 인터페이스, 버니어 운동센서, 버니어 온도센서, 버니어 마이크로폰센서 2개, LoggerPro 한글전용 프로그램</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
그림 1. 소리의 도플러 효과 측정 실험 시 준비물</td></tr>
</table>

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

알고 있나요? 탐구에 들어가기 전에	1. 공기 중에서의 소리의 속도 v 는 온도에 따라 달라진다. $v = 331.5 + 0.6\Delta t$ (v: 소리의 속도, t: 온도) 2. 소리의 도플러 효과 실험에는 다음의 도플러 식이 이용된다. $f' = f_0 \frac{v \pm V_r}{v \mp V_s}$ f': 측정된 진동수, v : 소리의 속력 V_r : 관찰자의 속력, V_s: 음원의 속력 위 식에서 쌍부호의 위쪽 부호(분자의 +, 분모의 −)는 음원과 관측자가 서로 접근할 때이고 아래 부호들은 서로 멀어질 때에 해당된다.
질문하기	1. 역차 안으로 들어오고 있는 기차가 있다. 눈을 감고 역차 안으로 들어오고 있는 기차를 상상해 봅니다. 어떤 소리가 들리나요? 2. 투수가 던진 야구공의 속도를 측정하는 장치를 스피드건이라 한다. 스피드건의 속력 측정 원리는 어떤 것일까요? 그 원리를 탐구해 봅니다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

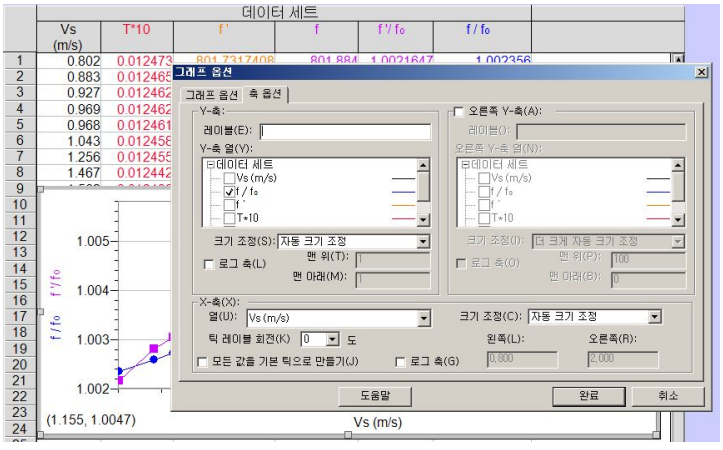
탐구방법	<실험 1> 1. 공기 중에서 소리의 속도 v 에 의한 진동수의 변화를 측정해 보자. 소리의 속도는 온도에 따라 달라진다. $v = 331.5 + 0.6\,\Delta T$ (v: 소리의 속도, ΔT: 섭씨온도) ① 인터페이스에 온도 프로브를 연결하여 실내 온도를 측정한다. ② 실내 온도측정 후 소리의 속도식에 넣어 소리의 속도를 구한다. $ex >\ v = 331.5 + 0.6\,\Delta T$ $= 331.5 + 0.6 \times 18$ $= 342.3$ <실험 2> 2. 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 가까워질 때와 멀어질 때 각각의 경우에 진동수를 측정해 보자. ① 마이크로폰을 1번 채널에 연결한다. ② 음원을 설치한 수레를 멀리서부터 관찰자(마이크로폰 센서)로 가까기 이동시키며 이때 발생되는 진동수 데이터를 수집한다. ③ 음원을 설치한 수레를 관찰자(마이크로폰 센서)로부터 멀어지게 이동시키며 이때 발생되는 진동수 데이터를 수집한다. ④ 이로부터 진동수를 구하여 본다. ⑥ 보고서에 그래프와 표를 삽입하여 실험보고서를 완성하여본다. <실험 3> 3. 소리의 속도 v 와 측정된 실험진동수 f'와 초기 고유진동수 f_0 사이의 진동수의 비 $\frac{f'}{f_0}$, 계산된 이론진동수 f 와 초기 고유진동수 f_0 사이의 진동수의 비 $\frac{f}{f_0}$ 관계를 아래의 각 경우에 대해 그래프를 그려본다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 가까워질 때

- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 멀어질 때

① LoggerPro의 계산 프로그램과 그래프 그리기를 이용하여 표와 그래프를 만들어 본다.



② 보고서에 그래프와 표를 삽입하여 실험보고서를 완성하여본다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

탐구 결과

<실험 1>

1. 공기 중에서 소리의 속도 v 에 의한 진동수의 변화를 측정해 보자.

① 온도에 따른 소리의 속도

항 목	측정값 및 계산값
실내 온도	℃
소리의 속도 $v = 331.5 + 0.6\Delta t$	m/s

② 스피커에서 나오는 기준 진동수 확인하기

횟수	진동수발생 프로그램에서 출력진동수	입력진동수
1		
2		
평균		

<실험 2>

2. 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 가까워질 때와 멀어질 때 각각의 경우에 진동수를 측정해 보자.

- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 가까워질 때

① 주기 측정하기

실험 횟수	속력	측정값 주기
1		
2		
3		
4		
5		

② 주기를 진동수로 환산하기

실험 횟수	실험진동수 f'	이론진동수 $f = \frac{v}{\lambda} = f_0\frac{v}{v - V_s}$
1		
2		
3		
4		
5		

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 멀어질 때

① 주기 측정하기

실험 횟수	속력	측정값 주기
1		
2		
3		
4		
5		

② 주기를 진동수로 환산하기

실험 횟수	실험진동수 f'	이론진동수 $f=\frac{v}{\lambda}=f_0\frac{v}{v+V_s}$
1		
2		
3		
4		
5		

<실험 3>

3. 소리의 속도 v 와 측정된 실험진동수 f'와 초기 고유진동수 f_0 사이의 진동수의 비 $\frac{f'}{f_0}$, 계산된 실험진동수 f 와 초기 고유진동수 f_0 사이의 진동수의 비 $\frac{f}{f_0}$ 관계를 아래의 각 경우에 대해 그래프를 그려 본다.

- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 가까워질 때

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

	- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 멀어질 때
실생활의 이용	1. 실생활에서 소리의 도플러 효과를 경험해 보았다면 그 예를 들어 보자. 2. 도플러 효과를 이용한 다른 예나 응용법은 없을까?

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

실험 · 탐구보고서	소리의 도플러효과 현상 탐구	교사용

1. 탐구 내용 분석

이 활동은 다음 그림과 같이 실험 기구를 설치하고, LoggerPro 프로그램을 사용하여 실험한다.
제시된 실험도를 바탕으로 실험을 진행하도록 한다.

- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 가까워지거나 멀어질 때

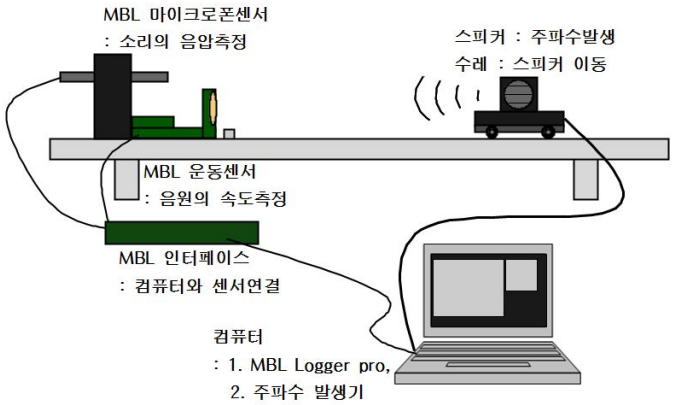


그림 2-1. 도플러 효과 탐구 실험도

2. 진행 방법

본 활동은 2시간 정도 시간이 걸리며, 3명이 1조로 실험하는 것이 적당하다. 교사가 먼저 시범을 보이고 학생들이 실험을 하도록 지도하는 것이 필요하다.
학생들이 LoggerPro 프로그램의 사용에 익숙해지는 것이 필요하다.

3. 학생용 탐구지 예시

- 사이렌을 울리는 자동차
사이렌을 울리면서 고속 도로변에 차가 정지하고 있다면 주위에 서서 듣는 사람은 같은 진동수의 소리를 듣게 된다. 또 사이렌을 울리면서 차가 다가올 때에는 소리가 높게 들리다가 차가 관측자 앞을 지나쳐 멀어지면 소리도 낮게 들린다.

활동의 성격
컴퓨터를 이용한 활동이다.

지도상 유의점
센서, 컴퓨터 등 전기적으로 민감한 실험 기구들을 다루는 실험이므로 장치들의 연결 시 학생들에게 주의 사항을 설명할 필요가 있다.

실험시 유의점
테스터의 사양을 제공되는 메뉴얼을 통해서 정확하게 알 필요가 있다.

참고
제공된 프로그램의 시트에도 실험 결과를 정리할 수 있다. 프린터가 연결되었다면, 출력물을 보고서에 첨부할 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

- 스피드건의 원리

도플러 효과로 움직이는 물체의 속도를 측정 할 수 있다. 야구공 속도를 측정하는 스피드건으로 다가오는 물체를 향해 레이더파를 발사하면 물체에 맞고 반사되어 돌아오는데 이때 도플러 효과 때문에 처음 발사 했을 때보다 파장은 짧아지고 진동수는 더 많아져서 되돌아온다.

스피드건은 이 변화를 측정해서 물체의 속도를 계산해 낸다.

- 초음파 탐지의 원리

수중 초음파 탐지기를 이용해 배 밑 바닥에서 초음파를 발사하고 반사되어 오는 시간을 재서 해서 지형을 알 수 있다. 어선에서 같은 원리로 물고기떼를 탐지한다.

<실험 1>

1. 공기 중에서 소리의 속도 v 에 의한 진동수의 변화를 측정해 보자.

① 온도에 따른 소리의 속도

항 목	측정값
실내 온도	℃
소리의 속도 $v = 331.5 + 0.6\Delta t$ m/s	m/s

② 스피커에서 나오는 기준 진동수 확인하기

횟수	진동수발생 프로그램에서 출력진동수	입력진동수
1		
2		
평균		

Tip. 주파수를 구할 때 에는 하나의 주기만을 측정하지 않도록 주의한다. 파형은 일정하게 나온다. 그러나 주파수가 클수록 주기가 짧기 때문에 주기 측정이 그래프에서 주기측정이 쉽지 않다. 마우스 드래그의 정확도에 따라 시간의 차가 생기므로 주의하자.

<실험 2>

2. 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 가까워질 때와 멀어질 때 각각의 경우에 진동수를 측정해 보자.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 가까워질 때

① 주기 측정하기

실험횟수	속력	측정값 주기
1	0.802	0.012473
2	0.883	0.012465

② 주기를 진동수로 환산하기

실험횟수	실험진동수 f'	이론진동수 $f=\frac{v}{\lambda}=f_0\frac{v}{v-V_s}$
1	801.7317408	801.8844096
2	802.2462896	802.0752239

- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 멀어질 때

① 주기 측정하기

실험횟수	속력	측정값 주기
1	0.708	0.012523
2	0.798	0.012532

② 주기를 진동수로 환산하기

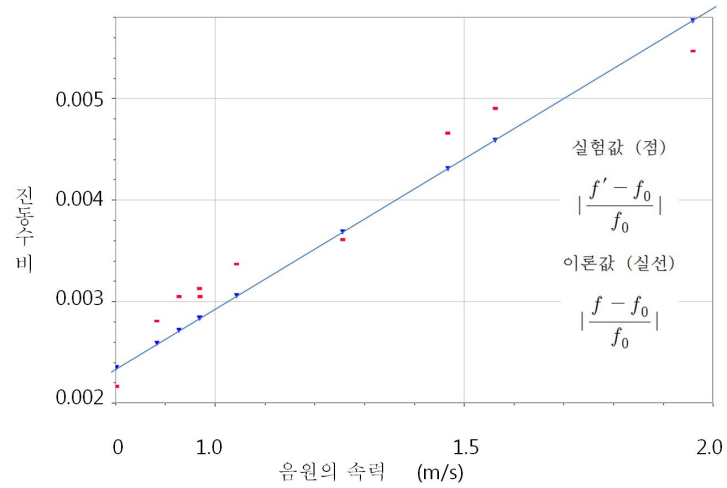
실험횟수	실험진동수 f'	이론진동수 $f=\frac{v}{\lambda}=f_0\frac{v}{v+V_s}$
1	798.5307035	798.3438015
2	797.9572295	798.133759

<실험 3>

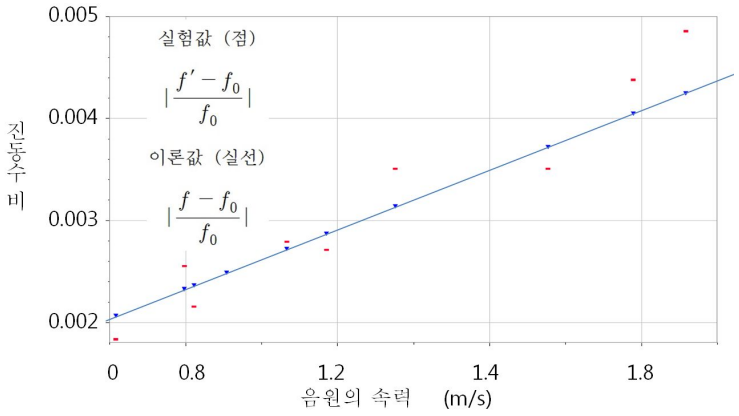
3. 소리의 속도 v 와 측정된 진동수 f'와 초기 진동수 f_0 사이의 진동수의 비 $\frac{f'}{f_0}$, 계산된 진동수 f 와 초기 진동수 f_0 사이의 진동수의 비 $\frac{f}{f_0}$ 관계를 아래의 각 경우에 대해 그래프를 그려본다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 가까워질 때



- 관찰자는 정지하고 음원이 관찰자로 멀어질 때



<심화 학습>

1. 빛의 도플러 효과에 대해 알아보자.

2. 우주 팽창과 빛의 도플러 효과는 어떤 관계에 있는가?

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY