

마이크 격자와 컴퓨터 제어를 이용한 소리의 간섭과 회절 측정

박성태¹, 전동렬^{2*}

¹배명고등학교, 서울특별시 138-841

^{2*}서울대학교 물리교육과, 서울특별시 151-742

Instrumentation for Sound Interference and Diffraction Measurement

S. T. Park¹ and D. Jeon^{2*}

¹Bae-Myeong High School, Seoul 138-841, Korea

^{2*}Department of Physics Education, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

요약

소리의 회절과 간섭은 중요한 파동 현상이나 빛의 간섭과 회절에 비해 실험 장치를 만들기가 불편하여 중고등학교 물리 교과에서 소홀히 다루어지고 있다. 이 연구에서는 소리 현상의 이해를 돕기 위해 마이크 격자와 컴퓨터를 이용하여 소리의 회절과 간섭을 측정하고 결과를 3차원 그래픽으로 나타내었다. 측정을 위해 256개의 마이크를 16×16 격자로 배열하고 16개의 아날로그 입력 채널을 사용했다. 회절 실험을 위해서는 한 개의 스피커와 방음벽을, 간섭 실험을 위해서는 2개의 스피커를 사용하였다. 컴퓨터 그래픽으로 나타낸 간섭무늬는 엑셀을 이용한 시뮬레이션 결과와도 잘 일치하였다. 이와 같은 장치는 컴퓨터를 이용하는 실험에 잘 적용될 수 있을 뿐 아니라, 시범 실험 장면을 동영상으로 만들어 학교에 보급하면 소리 현상 수업을 위한 시청각 교재로 활용할 수 있을 것이다.

주제어 : 소리 간섭, 소리 회절, 컴퓨터 제어 실험, MBL, 마이크 격자

서론

이 논문에서는 여러 개의 마이크를 격자 모양으로 설치하여 소리의 회절과 두 개의 스피커에서 나오는 음파의 간섭을 측정하고 회절 및 간섭무늬를 삼차원 그래픽으로 나타내는 실험에 대해 소개한다. 고등학교에서 파동의 간섭 실험은 실험 장치의 편의성 때문에 대부분 수면파와 빛에 한정되어 있으며 우리가 일상생활에서 늘 경험하는 소리의 간섭 실험은 학교에서 잘 수행하지 않는데, 그 이유는 음파 실험장치가 복잡하기 때문이다. 이 연구에서는 종파인 소리의 간섭과 회절 현상을 여러 개의 마이크와 컴퓨터 제어 장치로 측정하여 컴퓨터 그래픽으로 나타내 보았다. 본 논문에서는 이 절차를 소개하여 음향 실험에 관심이 있는 교사와 학생들에게 도움을 주고자 한다. 실험 수

행을 통해 학생들은 음파의 회절과 간섭을 가시적으로 이해할 수 있을 뿐만 아니라, 실험 설계, 증폭회로 제작, 컴퓨터를 이용한 데이터 수집과 처리 등의 실험과정을 통해 보다 심화되고 다양한 경험들을 할 수 있을 것이다.

장치 구성과 실험

전체 장치 구성

실험 장치는 그림 1과 같이 스피커, 장애물, 마이크, 음향 증폭기, 멀티플렉서 스위치, 아날로그/디지털 변환기, 컴퓨터 등으로 구성되었다. 음파는 장애물을 만나면 회절하거나 두 개 이상의 음원이 있을 때는 간섭을 하는데, 회절과 간섭에 의해 만들어진 소리 압력의 변화를 스피커에서 일정 거리에 있는 평면에 16행 16열의 격자 모양으로 배열된 256개의 마이크를 이

*교신저자: jeon@snu.ac.kr

•2008년 9월 23일 접수, 2009년 2월 3일 통과.

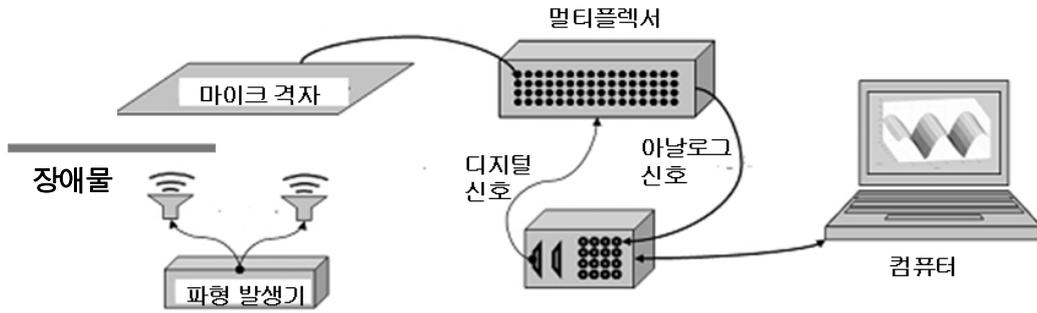


그림 1. 소리 간섭과 회절 측정을 위한 장치 모식도.

용하여 측정하였다. 마이크는 256개지만 컴퓨터의 입력 단자가 16개이므로, 멀티플렉서를 이용하여 한번에 16개의 마이크가 차례대로 컴퓨터에 연결되게 하였다. 아날로그/디지털 변환기는 마이크에서 나오는 아날로그 신호를 컴퓨터가 인식할 수 있도록 디지털 신호로 바꾸어 주고, 컴퓨터에서 내보내는 멀티플렉서 제어 신호를 전달하는 역할을 한다. 컴퓨터는 멀티플렉서를 제어하여 신호를 받아들일 마이크를 선택하고 마이크에서 들어오는 신호를 저장하여, 회절 및 간섭 데이터를 그래프로 나타낸다.

마이크 신호 증폭회로

소리 압력 측정을 위해 콘덴서 마이크를 사용하였다. 콘덴서 마이크는 글자 그대로 축전기의 원리를 이용하는 것으로, 공기의 진동이 한 전극 판을 누르면 두 전극 사이의 간격이 변하고 따라서 축전용량이 변하는 원리로 작동한다. 시중에서 파는 콘덴서 마이크에는 여러 종류가 있는데 이 실험과 같은 종류의 음향 실험을 위해 특별한 사양은 필요하지 않다. 참고로 이 실험에서 사용한 콘덴서 마이크를 소개하면 지름은 약 9 mm, 두

께는 약 6 mm, 지향성이 없으며 감도는 중간 정도, 가격은 개당 약 200원 정도였다. 콘덴서 마이크는 감도가 좋으나 출력 전압이 약하므로 각 마이크마다 출력 단자에 그림 2(a)의 증폭 회로를 만들었다. 회로에서 220 kΩ과 100 μF은 전원의 잡음을 제거하기 위한 필터이며, 여기서는 컬렉터 귀환 바이어스를 사용했고 가변저항으로 동작점을 조정했다. 그림 2(a)의 마이크 증폭회로에 대한 자세한 설명은 대부분의 기초 전자회로 교과서에서 찾을 수 있다(토마스 플로이드, 2002). 증폭회로는 직사각형의 수지 기판에 만들고 기판의 가장자리에 마이크를 납땀하여 부착했는데, 그림 2(b)는 기판에 실제로 설치된 콘덴서 마이크와 증폭회로의 사진이다. 256개의 증폭회로가 동일한 증폭률을 갖도록 미세 조정하는 것이 어려우므로 신호를 보정하였고 보정 방법은 아래에 별도로 설명하였다.

마이크 격자와 멀티플렉서

그림 3과 같이 바둑판 모양으로 배열된 256개의 마이크에서 나오는 출력은 오디오 단자를 통해 멀티플렉서 스위치에 연결된다. 마이크 사이의 간격은 실험에서 사용하는 소리의 진동수

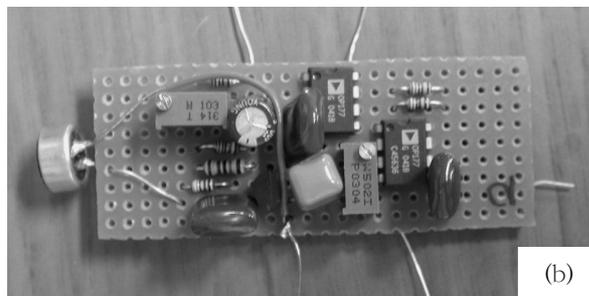
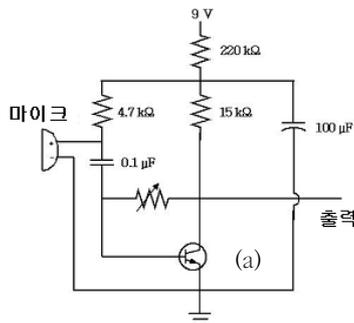


그림 2. (a) 마이크 증폭기 회로, (b)기판에 부착된 콘덴서 마이크와 증폭기.



그림 3. 골조에 부착된 16×16 마이크 격자.

에 따라 바꿀 수 있는데, 소리의 진동수와 스피커-마이크 격자면 사이의 거리로 미리 계산한 회절과 간섭무늬를 충분히 측정할 수 있도록 촘촘하게 마이크를 설치했다. 한 마이크에서 반사된 소리가 부근에 있는 다른 마이크에 들어가서 잡음을 초래할 가능성도 있지만, 격자 면의 모든 마이크가 음원을 직접 향하기 때문에 음원에서 바로 들어오는 소리가 인근 마이크에서 반사된 소리보다 훨씬 클 것이므로 마이크와 마이크 사이에는 방음 장치를 하지 않았다. 음원에서 나온 소리가 아날로그/디지털 변환기의 입력 단자와 컴퓨터가 한 번에 받아들일 수 있는 신호는 16개이므로, 멀티플렉서는 256개의 마이크를 한 그룹에 16개씩 16개의 그룹으로 나누어 각 그룹을 차례대로 아날로그/디지털 변환기를 거쳐 컴퓨터에 연결해주는 역할을 한다. 멀티플렉서가 어느 순간에 어느 마이크 그룹을 컴퓨터에 연결할 것인지는 측정 수행자의 의도에 따라 컴퓨터에 미리 입력해 둔 프로그램에 의해 제어된다. 프로그램에 대해서는 아래에 다시 언급한다.

이 연구에서는 16개의 16채널 멀티플렉서 칩인 MAXIM DG506A(부록 참조)를 사용했으며, 각 칩마다 16개의 마이크를 연결하고 아날로그/디지털 변환기의 디지털 제어 단자를 통해 각 칩을 제어했다. 이 실험에서 사용한 것 외에도 다양한 종류의 멀티플렉서 칩이 있으므로 장치 제작자는 용도에 맞게 구입하여 사용하면 될 것이다.

아날로그/디지털 변환기

스피커에서 나온 소리에 의한 공기 진동은 마이크에서 공기

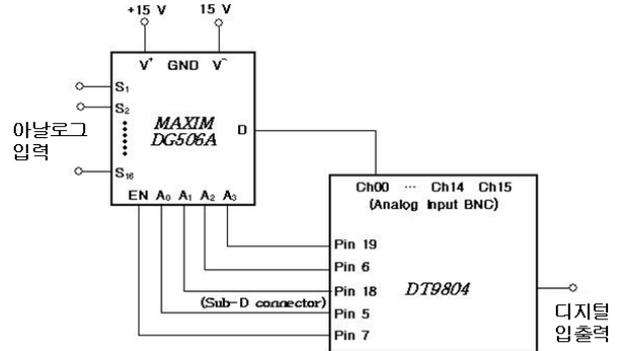


그림 4. 맥심 멀티플렉서 DG506A와 아날로그/디지털 변환기 DT9804의 연결도. S₁~S₁₆는 마이크에서 오는 아날로그 전압 신호를 받는 입력 단자, A₀, A₁, A₂, A₃와 EN는 아날로그 신호를 받을 채널을 선택하기 위해 사용하는 단자, D는 아날로그 전압 출력 단자이다.

의 압력으로 측정되어 아날로그 전압 신호로 바뀐다. 아날로그 신호를 컴퓨터에 넣기 위해서 디지털로 변환하는 장치가 아날로그/디지털 변환기이다. 여러 종류의 아날로그/디지털 변환기가 판매되고 있지만, 여기서는 데이터 트랜스레이션에서 제작한 DT9804를 사용하였다(부록 참조). 이 장치는 USB 단자로 컴퓨터와 연결되는 외장형이므로 사용이 간편하다는 장점이 있다. 컴퓨터는 마이크에서 나오는 신호를 받아들여 저장하는 일 외에도 어느 순간에 어느 마이크 그룹을 연결하라는 명령을 멀티플렉서에 보내는데, DT9804는 컴퓨터가 멀티플렉서를 제어하기 위해 내보내는 디지털 신호를 멀티플렉서로 전달하는 역할도 한다. 그림 4는 여기서 사용된 맥심 멀티플렉서 칩과 DT9804 아날로그/디지털 변환기의 연결을 보여주는 회로도이다.

제어 프로그램

컴퓨터로 아날로그/디지털 변환기를 통해 멀티플렉서를 제어하고 데이터를 받아서 저장하려면 제어 프로그램을 만들어야 한다. 제어 프로그램은 사용하는 아날로그/디지털 변환기에 따라 달라지는데, 아날로그/디지털 변환기와 함께 프로그램 모듈이 제공되는 경우에는 설명서를 참고하여 제어 프로그램을 만들면 된다. 여기서는 잘 알려진 범용 인터페이스 프로그램인 랩뷰(Lab View)를 사용하였다. 랩뷰는 대부분의 아날로그/디지털 변환기에 적용이 가능하고 프로그램 모듈이 풍부하며 편집이 간편하므로 사용법을 익히면 대단히 유용하다.

이 실험 장치의 제어 프로그램은 데이터를 읽을 마이크 그룹을 선택하기 위한 멀티플렉서 제어, 데이터의 수집과 저장, 데

이터를 이용한 그래프 작성의 세부부분으로 나뉘어져 있다. 데이터를 받아들일 특정 마이크 그룹을 선택하기 위해서는 컴퓨터가 특정한 디지털 신호를 내보내도록 프로그램을 만든다. 예를 들면, 인터페이스 프로그램으로 디지털 신호 0000을 보내면 멀티플렉서 칩이 첫 번째 열에 있는 16개의 마이크를 아날로그/디지털 변환기에 연결시킨다. 음파는 사인파의 합성이므로 진동 주기보다 훨씬 빠른 속도로 데이터를 받아들여야 한다. 예를 들어 어떤 사인파의 주기가 1초라면 1초 동안 적어도 10개 이상의 데이터를 받아들여야 주기가 1초인 사인파의 모양을 제대로 그릴 수 있다. 컴퓨터의 속도가 충분히 빠르다면, 실제로 컴퓨터 인터페이스를 구성할 때는 1초 동안 받아들일 수 있는 데이터의 수가 사용하는 아날로그/디지털 변환기의 속도에 따라 정해진다. 저자들이 사용한 DT9804 아날로그/디지털 변환기의 속도는 최대 100,000 Hz, 즉 1초당 최대 십만개의 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꿀 수 있다. 그러나 이것은 채널을 한 개만 사용할 때이고, 여기에서는 16개의 마이크 그룹이 16개의 채널에 연결되어 있으므로 한 채널당 최대 변환 속도는 $100,000/16 \approx 6,000$ Hz 이다. 만일 한 진동 주기마다 최소 10개의 데이터가 있어야 음파의 모양을 재현할 수 있다고 가정한다면, $6,000 \text{ Hz}/10 = 600$ Hz가 측정이 가능한 최대 주파수가 된다.

마이크 증폭률 보정

정확한 측정을 위해 256개 마이크 증폭회로가 같은 증폭률을 가져야 한다. 이를 위해 가변 저항을 조정하여 모든 증폭회로의 증폭률을 조정했으나 각 마이크의 감도가 다르므로 증폭회로의 조정만으로는 불충분하다. 이 때문에 다음 방법으로 증폭률을 보정하였다. 먼저, 음원에서 소리가 나오지 않을 때 각 증폭회로의 출력 오프셋 신호를 측정했다. 그리고 각 마이크를 같은 크기와 주파수의 소리가 발생하는 음원에 대고 증폭회로의 출력을 측정했다. 이 자료로부터 식 1을 이용하여 보정된 데이터를 얻었다. 즉, 보정 데이터는 각 마이크의 실제 측정값에서 소리가 없을 때 출력 오프셋을 뺀 값과, 동일한 음원에서 나오는 소리에 의한 각 마이크의 출력에서 소리가 없을 때 출력 오프셋을 뺀 값의 비율이다.

$$\text{보정 데이터} = \frac{\text{실제 출력} - \text{소리가 없을 때 출력}}{\text{같은 음원에 의한 출력} - \text{소리가 없을 때 출력}} \quad (1)$$

음원

사인파 발생기를 스피커에 연결하여 음원으로 사용하였다. 파형 발생기의 출력 임피던스와 스피커의 입력 임피던스가 맞지 않으므로 임피던스를 맞추기 위해 오디오 앰프를 사용하다. 회절 실험을 위해서는 스피커 한 개를 있는 그대로 사용했으나, 간섭 실험에서는 음원이 크면 여러 위치에서 소리가 발생하므로 간섭 효과가 적을 것이 예상되어 음원을 작게 만들기 위해 각 스피커를 내부에 흡음제를 붙인 나무 상자에 넣고 상자 위쪽에 작은 구멍을 뚫어서 점 음원을 만들었다. 흡음제는 시중에서 구입이 가능할 수 있는 소리 흡수 스폰지를 사용했다.

시뮬레이션

엑셀 프로그램을 이용하여 두 개의 스피커에서 나오는 소리의 간섭현상을 시뮬레이션으로 구현하고, 실제 간섭 실험 결과와 비교했다. 빛의 간섭에서는 빛의 파장에 비해 회절격자에서부터 스크린까지의 거리가 매우 길기 때문에 간섭을 일으키는 두 빛이 서로 평행하다고 가정할 수 있다. 그러나 이 실험에서는 음원과 마이크 격자 사이의 거리(약 70cm)가 파장(약 12~45cm)에 비해 상대적으로 매우 짧아 두 음파가 평행하다고 가정할 수 없으므로, 마이크 격자 면에 있는 임의의 점에서 두 음원까지의 거리를 그림 5에서처럼 피타고라스 정리를 이용하여 거리를 구하고 위상 차이를 계산했다. 마이크와 음원 사이의 거리가 멀수록 마이크에 도달하는 소리의 압력은 거리의 제곱에 비례하여 작아지므로, 이 점을 보정하여 시뮬레이션에서는 위상 차이에 의한 간섭 효과만 나타나도록 했다.

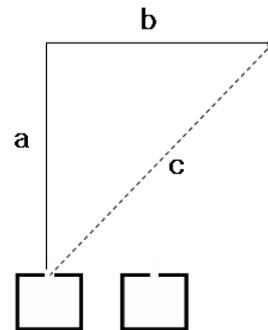


그림 5. a는 음원에서 마이크 격자 면까지의 높이, b는 음원에서 마이크 위치까지 수평 거리. a, b를 이용하여 음원에서 마이크까지의 거리를 계산할 수 있다.

실 험

소리의 회절

도로 가에 있는 건물에 도달하는 자동차 소음을 차단하기 위해 길 가장자리를 따라 방음벽을 설치한다. 그러나 회절 때문에 방음벽 뒤쪽의 보이지 않는 건물에도 소음이 도달한다. 이 현상을 실험으로 재현하기 위해 그림 6과 같이 스피커와 마이크 격자 사이에 두께가 35 cm인 스티로폼으로 만든 방음벽을 설치하였다. 마이크 격자와 방음벽, 방음벽과 스피커 사이의 거리는 각각 20 cm, 135 cm이다. 방음벽은 왼쪽의 1번에서 8번 줄까지의 마이크를 스피커로부터 가린다. 외부 소리를 차단하고 내부 소리의 반사를 방지하기 위해 철제 앵글로 만든 작은 방 안에 음향 실험 장치를 설치하고 상자의 벽은 시중에서 판매하는 흡음 스펀지로 가렸다. 스피커는 마이크 격자의 중앙에 두었으며, 사인파의 주파수를 500 에서 2750 Hz로 변화시키면서 마이크에 들어오는 소리 압력을 측정했다.

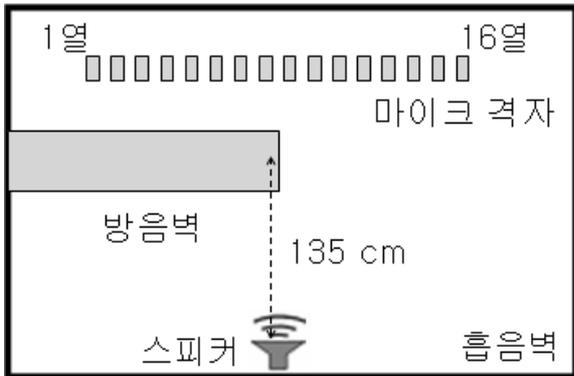


그림 6. 장애물 가장자리에 의한 소리 회절 실험 개략도. 스피커는 마이크 격자의 가운데에 있으며, 장애물이 왼쪽 8개의 마이크를 가리고 있다

소리의 간섭

두 개의 음원에서 나오는 소리의 간섭을 측정하기 위해 그림 7과 같은 장치를 설치했다. 두 개의 스피커를 각각 방음 상자에 넣고 상자의 윗면에 작은 구멍을 뚫어 점 음원을 만들었다. 스피커와 마이크 격자 사이의 거리는 70 cm이고, 두 스피커 사이의 간격은 음원에서 나오는 소리의 파장을 고려하여 40, 70, 100 cm로 바꾸어 가면서 측정했다. 사인파의 주파수는 1500 에서 5000 Hz를 사용했으며, 두 음원의 위상을 갖게 하기 위해

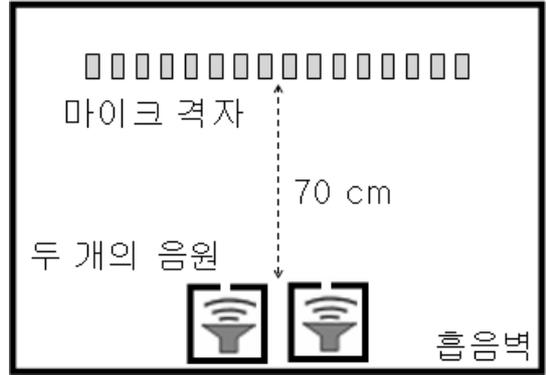


그림 7. 소리의 간섭을 측정하기 위한 장치. 스피커를 작은 구멍이 뚫린 상자에 넣어 점 음원을 구현했다.

하나의 파형 발생기로 두 스피커를 구동했다.

결과 및 논의

소리의 회절

그림 8은 음원의 주파수가 750 Hz와 2750 Hz일 때 측정된 소리의 회절 그래프이다. 방음벽으로 가려진 1~8열의 마이크에 측정된 소리를 비교하면, 크기는 가장자리로 갈수록 작아지지만 방음벽으로 가려진 마이크에도 소리가 도달하는 것을 보여 준다. 750 Hz의 소리가 2750 Hz보다 중심에서 먼 쪽의 마이크에 더 많이 도달하는 사실로부터 주파수가 낮을수록 회절이 잘 일어나는 것을 확인할 수 있다. 표 1은 주파수를 증가시키면서 방음벽에 가려진 2~5열에 있는 마이크에 측정된 소리의 평균값을 상대적 비율로 나타낸 것이다. 주파수가 낮을수록 방음벽

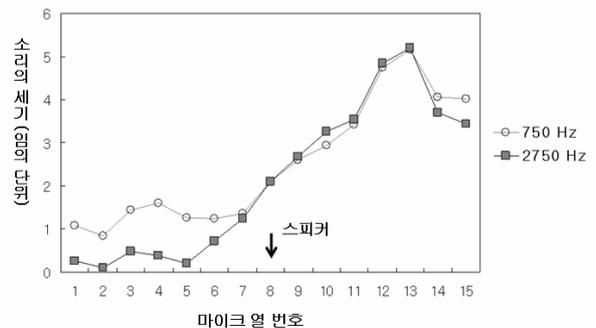


그림 8. 마이크의 위치에 대해 방음벽의 가장자리에서 회절된 소리의 압력. 주파수가 작을수록 방음벽의 뒤 쪽으로 소리가 더 잘 전달되는, 즉 회절이 더 잘 일어남을 알 수 있다. 음파의 파장은 750과 2750 Hz에 대해 각각 45, 12 cm이다.

표 1. 주파수와 회절된 소리의 크기. 소리의 크기는 왼쪽에서 2, 3, 4, 5열에 위치한 마이크에 측정된 값의 평균값이며 상대적인 값이므로 단위는 없다.

주파수 (Hz)	소리 크기 (상대값)	주파수 (Hz)	소리 크기 (상대값)
750	1.38	2000	0.93
1000	1.35	2250	0.77
1250	1.32	2500	0.42
1500	1.04	2750	0.45

뒤 쪽으로 잘 회절 되어 퍼지는 것을 보여준다.

그림 8은 스피커 바로 위에 있는 중앙의 마이크가 아니라 오른쪽으로 비스듬히 위치한 13열의 마이크에 가장 큰 소리가 측정되었음을 보여주는데, 이것도 회절 때문이다. 다시 말해, 오른쪽 절반인 9~16열의 마이크에 들어가는 소리는 스피커에서 직접 나가는 소리와 방음벽의 가장자리에서 회절 되는 소리의 중첩인데, 그림 8은 13열의 위치에서 중첩되는 소리가 가장 큰 것을 보여준다.

소리의 간섭

그림 9는 음원 사이의 간격이 40 cm일 때 두 개의 음원에 의한 소리의 간섭을 측정한 데이터를 3차원 그래프로 나타낸

것이다. 각 주파수마다 오른쪽은 측정값을 이용하여 그린 것이고 왼쪽은 컴퓨터 시뮬레이션 결과인데, 측정값의 잡음을 제외하면 두 그래프의 마루와 배가 잘 일치하는 것을 보여준다. 시뮬레이션을 위해 스피커에서 나오는 평면파가 상자의 작은 구멍을 지나갈 때 프레넬 회절을 한다고 가정했고, 음원에서 마이크까지의 실제 거리를 파동의 중첩 원리 이론에 대입하였다.

그림 10은 음원의 주파수를 3000 Hz로 고정하고 두 음원 사이의 간격을 40, 70, 100 cm로 변화시키며 마이크 격자로 측정 한 소리를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 8과 같은 방법으로 시뮬레이션을 했으며, 측정값과 시뮬레이션 결과가 잘 일치하는 것을 보여준다.

제 언

이 논문에서는, 빛이나 수면파에 비해 잘 다루어지지 않는, 소리의 회절과 간섭을 측정하고 그래프로 나타내기 위한 장치 제작과 실험 수행 과정에 대해 기술했다. 장치 제작이 간단하지 않아 일반 교실 수업에서 구현하는 것은 어렵지만 중고등학교 과학반 학생을 위한 방학 중 활동으로는 적합하다고 생각한다. 여기서는 측정 속도를 빠르게 하기 위해 256개의 마이크

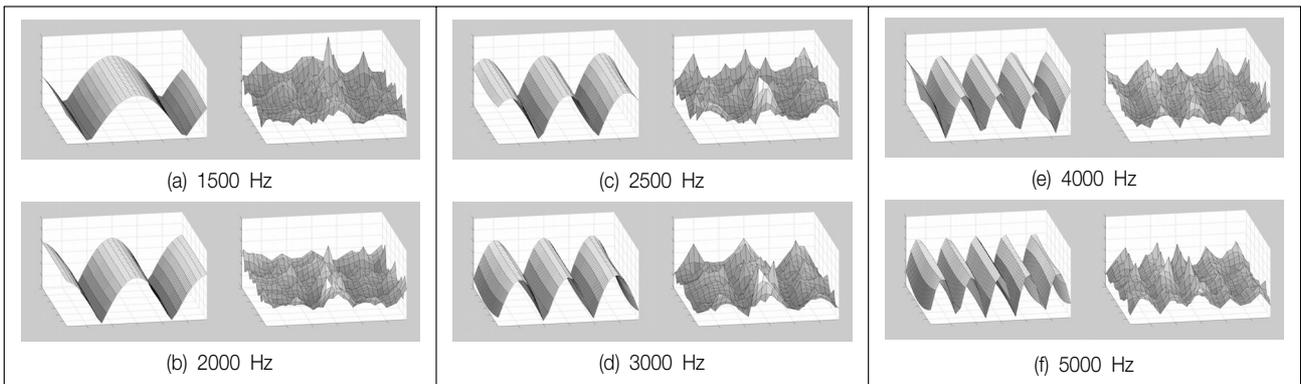


그림 9. 두 개의 음원에서 나오는 소리의 간섭무늬. 각 주파수마다 오른쪽은 측정값이고 왼쪽은 컴퓨터 시뮬레이션 결과다. 주파수가 클수록 마루 사이의 간격이 좁다.

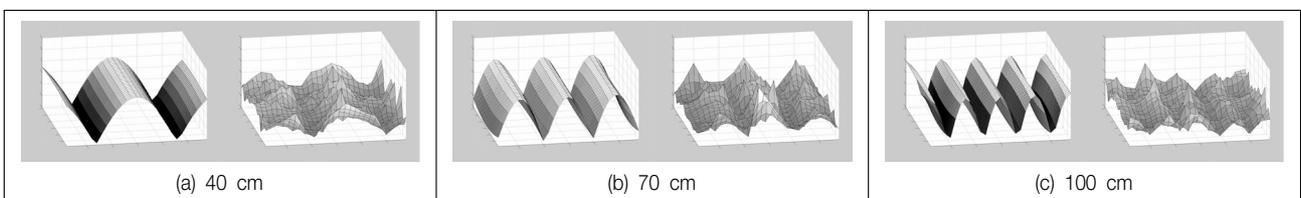


그림 10. 주파수가 3000 Hz일 때 두 음원 사이의 간격에 따른 간섭무늬. 간격이 멀어질수록 간섭무늬의 마루 사이의 간격이 줄어들다. 각 간격에서 오른쪽은 측정값이고 왼쪽은 컴퓨터 시뮬레이션이다.

를 사용하여 동시에 소리를 측정했기 때문에 멀티플렉서가 필요했지만, 일반 학교에서 실험할 때는 16개의 마이크를 설치하고, 수동으로 마이크를 옮기면서 측정하면 마이크 설치도 훨씬 간단하고 비용도 절약되며 멀티플렉서를 제작하는 수고도 없을 것이다. 또한, 본 연구에서는 사용법을 익히는데 시간이 많이 걸리는 랩뷰를 이용하여 인터페이스 프로그램을 만들었지만, 일반 학교에 많이 구비되어 있는 MBL 장치를 이용하거나 저렴한 범용 인터페이스 키트를 구입해서 사용하면 실험이 더욱 용이할 것이다. MBL은 사용이 편리하다는 장점은 있으나 MBL이 어떻게 만들어졌는지 모르고 무조건 사용만 하게 되면 실험 원리가 무엇이고, 어떤 방법으로 측정이 되는지, 측정값이 맞는지 확인할 수 없는 암흑상자가 되어 버린다. 그러므로 맹목적으로 MBL에 의존하는 것보다 사용이 쉽고 저렴한 인터페이스 키트를 구입하여 연습하는 것이 과학반 학생에게 더욱 바람직하고 교육 효과도 클 것이라고 생각된다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 학생들은 회절과 간섭에 관련된 이론을 이해하고 엑셀 프로그램 사용법을 익히게 될 뿐만 아니라 측정과 이론을 동원한 측정 검증을 수행함으로써, 학생들은 과학자들의 연구를 답습하는 진정한 탐구 활동을 하는 기회를 갖게 된다.

ABSTRACT

Sound interference and diffraction is an important part of wave phenomena. Compared to the experiment on the light interference and diffraction, sound experiment is not widely performed at high schools because of the cumbersome equipment. In this

experiment, we assembled an array of 256 microphones to measure the sound interference and diffraction. The sound intensity at each microphone was measured using a computer with a multiplexer and 16 analog/digital converting channels. The data were processed using MATLAB software and presented as a 3-dimensional graphic. The diffraction experiment was done using one speaker and a wall and the interference experiment was done using two speakers. The measurement agreed with the simulation using Excel program. We hope our apparatus can be adopted for a microcomputer-based experiment at high school physics activity.

Key words: sound interference, sound diffraction, an array of microphones, a microcomputer-based experiment, MBL

참고문헌

전자회로 5판, 토머스 플로이드 지음, 손장희 외 번역, 피어슨 에듀케이션 코리아 (2002).

부 록

맥심 반도체의 멀티플렉서 칩. 전자 전문 상가에서 구입할 수 있음. 칩의 자세한 사용 방법은 사용자 설명서를 참고하면 됨. 데이터 트랜스레이션 (Data Translation) 사용자 설명서 RTF-18904A.