

출품번호

3030

제45회 전국학생과학발명품경진대회

컵의 크기에 상관없이 가득 따라주는 똑똑한 AI 정수기

2024. 7. 2.

출품학생	
지도교원	
출품분야	

목 차

1. 발명의 필요성 및 발명 동기	1
2. 발명의 개요 및 발전 과정	2
3. 선행 기술 분석	3
가. 선행 특허와의 차별점	3
나. 선행 기술과의 차별점	4
4. 발명에 사용된 이론 및 기술	5
가. 본 발명을 구현하는 데 필요한(사용한) 이론 및 기술	5
나. 이론 및 기술 설명	5
5. 작품 제작 및 발전 과정	8
가. 정수기 모형 제작	8
나. ‘또르륵’ 소리로부터 컵의 잔여 높이 측정 시도	9
다. 1차 작품	16
라. 2차 작품	18
마. 놀라운 발견	19
바. 더 놀라운 발견	21
사. 향후 발전 목표	22
6. 발명 결과 및 활용 방안	23
가. 발명 결과	23
나. 활용 방안	23
7. 참고 문헌	23

<그림 차례>

그림 1 시각장애인을 위한 물 높이 감지기	1
그림 2 정수기로 텀블러에 물 따르는 모습	1
그림 12 선행 특허의 대표도	3
그림 13 변기 수위 조절 장치(불탑)	4
그림 14 아두이노 수위 센서	4
그림 15 초음파 SONAR의 원리 모식도	4
그림 16 기주공명의 배수에 따른 진동수와 파장의 길이	5
그림 17 mess cylinder spectrogram	6
그림 18 최소자승법(LSM)	7
그림 19 아두이노 우노	7
그림 20 릴레이 모듈	7
그림 21 저압 솔밸브	7
그림 22 정수기 모형과 컴퓨터 개요 사진	8
그림 23 정수기 모형 구성 요소 설명	8
그림 24 정수기 모형 물 따르기 실험	9
그림 25 실험에 사용된 용기 3종류 머그컵, 비커, 메스실린더	9
그림 26 푸리에 변환 실행 python code (1)	10
그림 27 푸리에 변환 실행 python code (2)	11
그림 28 머그컵 파워 스펙트럼	11
그림 29 비커 파워 스펙트럼	11
그림 30 메스실린더 파워 스펙트럼	11
그림 31 spectrogram python code	12
그림 32 머그컵 spectrogram	13
그림 33 비커 spectrogram	13
그림 34 메스실린더 spectrogram	13
그림 35 기주 공명 1배음 진동수 추출에 실패한 모습	14
그림 36 LPC 알고리즘으로 컵의 기주 공명 제1배 진동수를 정확히 추출한 모습	14

그림 37 LPC로 추출한 기주 공명 진동수 변화의 추세선	15
그림 39 컵의 남은 높이에 따른 정상파	15
그림 40 ‘또르륵’ 소리를 이용해 자동으로 물 멈추기 테스트 장면	16
그림 41 스텐 텀블러	16
그림 42 1자 머그컵	16
그림 43 실험용 비커	16
그림 44 1자 긴 컵	17
그림 45 1자 중간 컵	17
그림 46 1자 작은 컵	17
그림 47 원뿔형 컵	17
그림 48 항아리형 머그컵	17
그림 49 항아리형 유리컵	17
그림 50 1자 작은 컵 관구 보정 전	18
그림 51 1자 작은 컵 관구 보정 후	18
그림 52 항아리형 유리컵 관구 보정 전	19
그림 53 항아리형 유리컵 관구 보정 후	19
그림 54 아래 너비와 윗 너비가 다른 원뿔형 컵	19
그림 55 임의의 단면 변화를 갖는 컵을 원뿔형 컵의 연결로 근사한 모습	20
그림 56 액체 상태로 보관, 사용하는 가스 공정에서 액체 재료의 잔량 체크 가능 예시 이미지	21
그림 57 유류 탱크	21
그림 58 물 탱크	21
그림 59 싱크홀	21

1. 발명의 필요성 및 발명 동기

시각장애인은 물을 따를 때 시각적으로 물의 양을 파악할 수 없어 여러 불편이 따른다.

물을 따르다가 양 조절을 하지 못하여 넘치거나, 너무 적게 따라 여러 번 양을 가늠해가야 하는데, 뜨거운 물을 따를 경우 그 위험은 배가 되어 돌아온다. 물이 가득 찼는지 모르고, 컵을 들었을 때, 또는 물이 어느 정도 찼는지 가늠하려 용기를 흔들어보다가 뜨거운 물이 흘러 손에 화상을 입을 수도 있다. 이런 불편을 해소하기 위해 접촉식으로 물이 일정량 차오르면 소리로 알려주는 수위 센서 등이 있지만, 이런 기기는 접촉식이기 때문에 비위생적이며 국내에서는 구하기 힘들고, 가격이 비싸다는 단점이 있다.



그림 1 시각장애인을 위한 물 높이 감지기



그림 2 정수기로 텀블러에 물 따르는 모습

이런 불편은 비장애인에게서도 나타날 수 있다.

차를 마시기 위해 정수기로 텀블러에 뜨거운 물을 담던 중, 뜨거운 물이 넘쳐 손을 데인 적이 있다. 텀블러의 입구가 좁아서 물이 얼마나 차올랐는지 가늠하기 어려웠고, 그 결과 물이 넘치면서 손을 데는 사고가 발생했다.

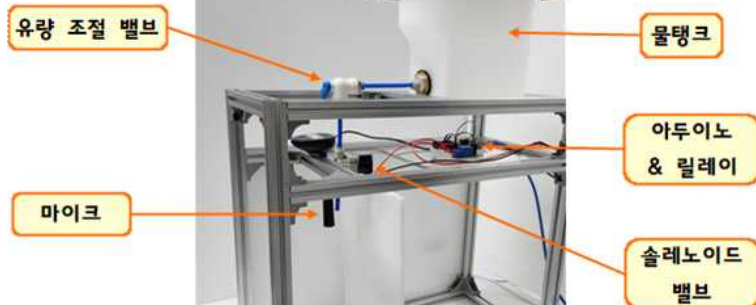
이런 경험이 있었던 나는 물리 시간에 기주 공명에 대하여 배우며 흥미로운 사실을 알게 되었다. **관의 길이만 알면 기주 공명의 주파수 값을 구할 수 있고, 역으로 주파수 값을 알면 관의 길이를 유추할 수 있다**는 것이었다. 이때 문득 이를 이용해 물이 떨어지는 소리로 물컵의 잔여 높이를 추정할 수 있다면 물이 넘치기 전에 물을 자동으로 꺼주는 장치를 제작해볼 수 있지 않을까? 하는 의문이 들었다. 실제로 소리에 예민한 사람은 정수기로 텀블러나 페트병에 물을 따를 때 나는 ‘포르륵’ 소리가 여러졌을 때 물이 어느 정도 차오르는지 감을 잡으면 소리만으로 물 양의 조절을 할 수 있다. 그러나 대부분의 사람은 이런 소리에 익숙해져 있지 않기 때문에 감을 한 번에 잡기가 쉽지 않으며 정확도를 맞추기 쉽지 않다. 따라서 **기계가 사람처럼 ‘포르륵’의 소리만으로 물의 양을 파악할 수 있다면** 보다 정확하게 양을 조절할 수 있지 않을까? 하는 생각에 본 발명을 시작하게 되었다.

2. 발명의 개요 및 발전 과정

발명 초기 목적

물 떨어질 때 나는 ‘**또르륵**’ 소리를 이용해
물이 넘치기 전에 **자동으로 멈춰주는** 정수기

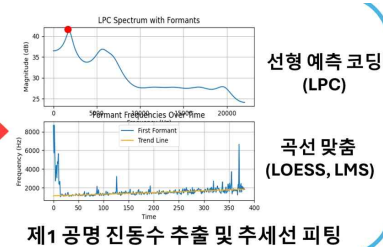
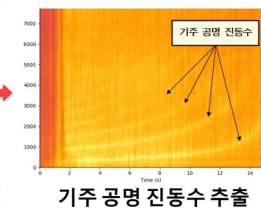
정수기 모형 제작



‘또르륵’ 소리의 공명 진동수 추출 성공!

발명에 사용된 과학적 원리 및 기술

기주공명 $f = \frac{c}{4L}$



제1 공명 진동수 추출 및 추세선 피팅

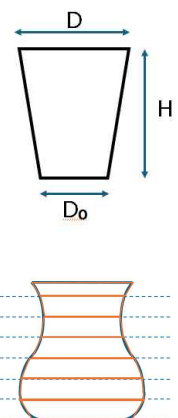
발명 초기 목적 달성!



재질과 크기와 모양이 다른 9개의 컵에서 모두
2cm 남았을 때 자동으로 물이 멈추도록 하는데 성공!

더 놀라운 발명 속의 발명 및 확장 가능성 발견!

- 물 한 컵을 따르면 컵의 모양과 크기를 알 수 있다.
- 즉, 소리를 이용해 미지의 공동(Cavity)의 모양과 크기를 알 수 있다.
- 화학약품 잔량 체크 등 다양한 산업적 활용이 가능하다.



3. 선행 기술 분석

가. 선행 특허와의 차별점

[등록번호 : 1015620190000 물 낙하 소리를 이용하여 용기의 수위를 자동으로 조절하는 정수기]

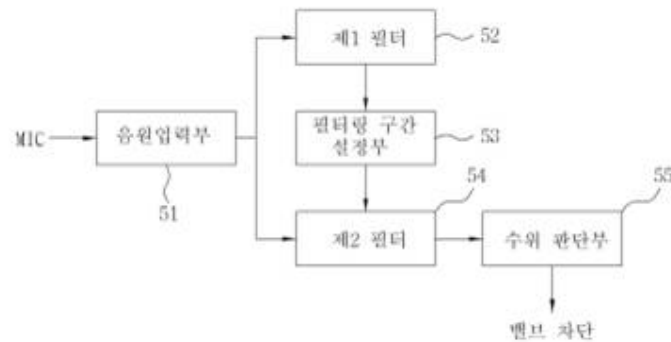


그림 12 선행 특허의 대표도

선행 특허는 정수기에 적용되어 떨어지는 물의 **소리의 데시벨을 측정**하여 용기의 수위를 제어하는 시스템에 대한 특허이다. 위 시스템은 오디오 센서로부터 물의 낙하 소리를 감지하고, 그 소리를 분석해 용기의 수위를 자동으로 조절한다는 면에서 본 발명과 매우 유사해 보인다.

그러나 가장 핵심 원리인 수위를 판단하는 원리에서 본 발명과 확실한 차이가 있다.

위 특허는 급수가 시작된 초기 구간 동안 수집된 소리에서 주파수 대역을 설정하고, 이후 구간에서 필터링된 소리를 이용하여 물의 수위를 판단한다. 조금 더 구체적으로는 수집된 음원을 푸리에 변환하여 가장 크게 잡히는 메인 주파수를 기준으로 잡아, 해당 주파수가 **일정 데시벨을 넘으면 급수를 차단**하는 시스템이다. 푸리에 변환을 한다는 점까지 본 발명과 비슷하지만 설정된 주파수의 변화를 추적한 것이 아니라 단지 수집된 음원 중 가장 크게 잡히는 주파수에 해당하는 **소리의 크기(데시벨) 만으로 물의 수위를 판단**하는 점에서 **기주 공명 주파수 변화를 추적한 우리 기술과 확실히 다르다.**

단순히 다른 기술일 뿐 아니라 위 특허는 수면이 올라올수록 소리가 커진다는 원리에 기반하고 있는데, 마이크와 컵의 위치 관계(마이크 위치, 컵의 높낮이, 컵의 크기 등)에 따라 소리의 크기가 다를 것이므로 **매 번 데시벨 기준을 다르게 설정해 주지 않으면 제대로 작동할 수 없음이 자명하다.** 게다가 실제로 컵에 물을 따라보면 물이 차오름에 따라 소리가 커지기보다는 작아지는 경우가 많은데(낙차가 작아져서 물줄기가 수면을 때리는 속도가 작아지기 때문) 이 때문에 실제로는 매우 제한적인 조건에서만 작동했을 것이며, 제품으로서 구현되기 어려웠을 것이다.

반면 **본 발명은** 단순히 소리의 크기로 물의 높이를 어림하는 것이 아닌, 물이 떨어질 때 발생하는 소리 주파수 중에서 물이 차오르고 남은 용기의 내부 길이, 즉 **기주(공기 기둥)의 길이에 따른 공명 주파수를 찾아내고 그 변화 양상을 추적**해 남은 용기의 내부 길이를 기준으로 수위를 판단한다. 따라서 주변 소음에도 강하고, 컵의 크기, 마이크의 위치에도 관계없이 작동할 수 있다는 점에서 선행 특허와의 확실한 차별점을 갖는다.

나. 선행 기술과의 차별점

자동으로 수위를 조절해 주는 기술은 매우 다양하다. 화장실 변기 물통의 수위를 조절하는 부력 탱크 방식부터, 전기 전도도를 측정해 수위를 판단하는 접촉식 수위 센서, 초음파 소나 방식까지 상황에 맞는 다양한 수위 조절 기술이 사용되고 있다.



그림 13 변기 수위 조절 장치(볼탑)



그림 14 아두이노 수위 센서

그중에서 부력 탱크 방식과 접촉식 센서 방식은 컵에 미리 센서를 장착해야 하고 위생 문제가 있을 수 있어 정수기에는 사용할 수 없다. 반면 초음파 소나 방식은 비접촉으로 수위를 측정할 수 있는 기술이기 때문에 정수기에서도 사용될 가능성은 있다.

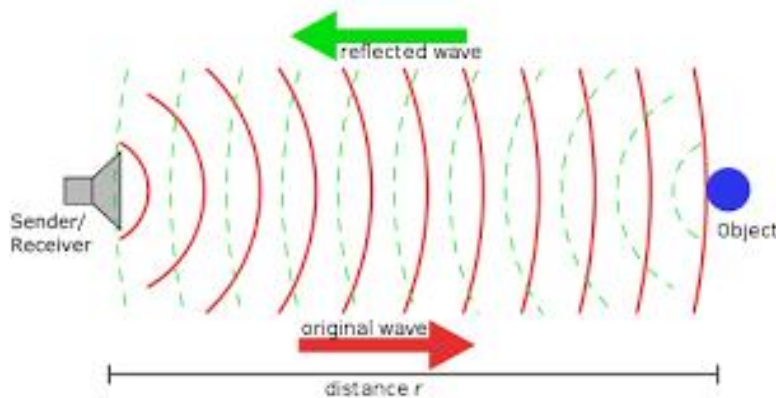


그림 15 초음파 SONAR의 원리 모식도

초음파 소나 방식은 초음파를 송신한 뒤, 물체에 반사되어 돌아오는 메아리를 수신하여 그 시간차를 측정해 센서와 물체 사이의 거리를 계산하는 방식이다. 정수기에 적용할 경우 센서로부터 수면까지의 거리를 측정할 수 있는 기술인데, 본 발명의 목적은 다양한 컵에 대해 물이 넘치기 전에 멈추는 것이므로 절대적인 수위가 아니라 컵의 윗면을 기준으로하는 수위가 필요하기 때문에 이 방식은 본 발명에 사용할 수 없다. 반면 본 발명에서 개발한 수위 측정 방식은 기주 공명 진동수를 이용해 컵의 남은 높이(컵 윗면으로부터 수면까지의 거리)를 측정하기 때문에 컵의 크기나 위치에 관계없이 넘치기 전에 물을 멈출 수 있다는 확실한 차별점을 갖는다. 또한, 송신부와 수신부 두 부분이 필요한 초음파 소나 방식에 비해 마이크 하나만 있으면 된다는 점에서 경제성, 활용성 면에서 더 유리하다.

4. 발명에 사용된 이론 및 기술

가. 본 발명을 구현하는 데 필요한(사용한) 이론 및 기술

1) 물의 낙하 소리 분석 및 수위 판단

- 물의 낙하 음원 수집 - 일반 usb 마이크
- 수집된 음원 데이터 주파수 분리 - 푸리에 변환(FFT), 스펙트로그램(Spectrogram)
- 주파수 중에서 닫힌관 기주 공명의 1배 공명음을 추출 - 선형 예측 코딩(LPC),
- 기주 공명 진동수의 변화 추적 - 곡선 맞춤(Curve fitting), LOESS, 최소자승법(LMS)
- 공명 진동수로부터 컵의 잔여 높이 계산 - 기주 공명 이론(Air column resonance)
- 입구의 너비가 공명 진동수에 미치는 영향 계산 - 관구 효과(End correction)

2) 출수부의 조절

- 특정 조건에서 밸브를 열고 닫는 제어 - 아두이노, 릴레이 모듈, 솔레노이드 밸브

나. 이론 및 기술 설명

1) 기주 공명(air column resonance) 이론 및 관구 효과(End correction)

소리는 공기가 압축과 이완을 반복하면서 발생하는 압력변화가 전파해 가는 역학적 파동이다. 한쪽 끝이 열려있는, 즉 소한 매질에서 진행하는 음파가 끝이 닫혀있는 밀한 매질의 경계면에서 반사될 경우, 반사되는 음파는 180° 의 위상차를 가지게 되며 열려있는 관의 입구는 진폭이 최대인 배 (anti-node)가 되며 닫혀있는 관의 끝은 고정단의 진동과 같이 진폭이 최소인 마디 (node)가 된다.

한쪽 끝이 막혀있는 관을 닫힌관(폐관)이라 한다. 이 폐관 내부의 공기를 소리가 진동시키면 관 내부에는 방향이 반대이고 서로 $\frac{\lambda}{2}$ (반파장)의 위상차를 가진 입사파와 반사파의 간섭이 일어나게 되며, 폐관의 길이가 $\frac{\lambda}{4} + n\lambda$ (n은 정수)일 때 공명이 일어나게 된다.

위 식을 이용하여 1배 진동일 때의 주파수를 구하는 공식을 정리하면 아래와 같다.

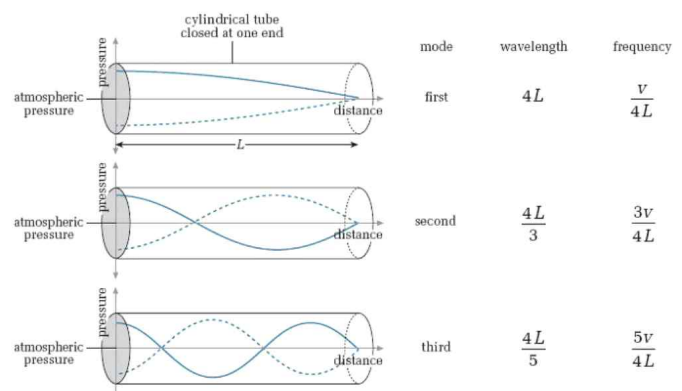


그림 16 기주공명의 배수에 따른 진동수와 파장의 길이

$$f = \frac{c}{4L}$$

(f: 진동수, L: 관의 길이, c: 음속)

관구 효과(End correction)란 폐관에서 공명이 일어날 때 관의 내부와 외부의 압력 차로 인한 저항의 차이로 파동의 배가 관구의 위쪽에 생기는 현상이다. 이에 대한 보정이 이루어진 기주의 길이를 실제 진동 기주라 하고, 그 길이는 일반적으로 폐관에서 원통의 길이에 관구 너비의 0.3배를 더한 값이다. 따라서 관의 너비가 클수록 관구 효과의 영향을 많이 받는다.

$$L_{correction} = L_0 + 0.3D$$

2) 푸리에 변환(FFT) 및 Spectrogram

푸리에 변환은 신호를 복소수의 가중치 합을 이용해 주파수의 합 형태로 변환하는 수학적 기법이다. 일반적인 푸리에 변환은 연속적인 신호에 대하여 무한 적분을 한다.

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega \cdot t} dt$$

그러나 컴퓨터 등의 디지털 기기를 이용해 푸리에 변환을 계산하기 위해서는 연속적인 값이 아닌 이산적인 방법을 사용하여야 한다. 이때 사용하는 방법을 이산 푸리에 변환(DFT)라 한다. DFT는 무한적분을 유한합으로 대체하여 계산한다. DFT를 빠르게 수행하기 위해 나온 알고리즘이 고속푸리에 변환(FFT)이다. FFT는 기함수와 우함수의 특징을 적용하여 $O(n \log n)$ 의 연산으로 푸리에 변환을 진행한다. 가장 대중적으로 알려진 알고리즘은 쿨리-튜키 알고리즘이다. 입력 신호를 홀수번째 항과 짝수번째 항 두 개로 나누어 부분 신호들의 푸리에 변환을 계산하고 이를 결합하는 과정을 거친다.

푸리에 변환은 신호를 주파수의 합으로 나타내며 wave form의 time domain을 frequency domain으로 변환하여 보여준다. 그러나 이 경우 시간에 대한 정보가 사라져 해석이 어렵다. 또한 주파수가 계속 변하는 데이터의 경우 순간의 주파수의 값을 계속해서 구해주어야 한다. 따라서 연속적인 데이터를 이산적인 방법으로 처리하며 시간에 대한 정보도 살리기 위해 Short Time Furier Tramsform (STFT)를 진행한다. STFT는 20~40ms 정도의 시간 동안엔 변화가 없다고 가정하고 이를 한 frame으로 나누어 frame마다 푸리에 변환을 한 것이다. 이 짧은 frame들을 연속해서 보여주면 주파수의 변화를 관찰할 수 있으며, 이를 보여주는 그래프를 power spectrum이라 한다. 시간에 따른 전체적인 주파수의 변화를 관찰하고 싶다면 log 스펙트럼의 frame을 쌓아 time domain이 살아난 specrogram으로 표현할 수 있다. spectrogram은 x축은 시간, y축은 주파수, dB의 크기는 색으로 표현한 그래프이다.

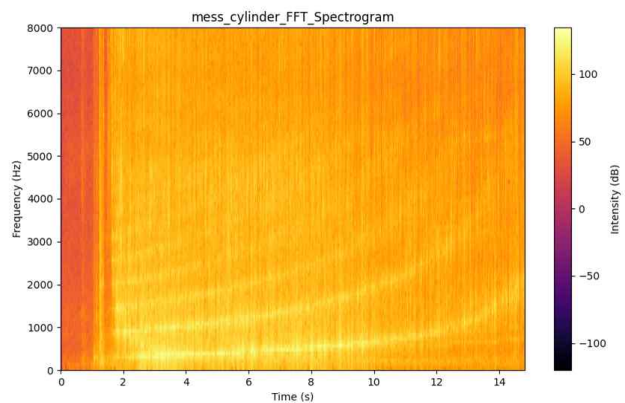


그림 17 mess cylinder spectrogram

3) 선형 예측 코딩(LPC)

선형 예측 부호화(Linear predictive coding, LPC)는 선형 예측 모델의 정보를 사용하여 음성의 디지털 신호의 스펙트럼 포락선을 압축된 형태로 표현하기 위해 오디오 신호 처리 및 음성 처리에 주로 사용되는 방법이다. LPC는 음성 부호화 및 음성 합성에서 가장 널리 사용되는 방식

이다. LPC는 음성 분석 과정에서 포먼트(formant, 성도의 공명 진동수)를 추정하고, 음성 신호에서 해당 효과를 제거하고, 남아 있는 버즈의 강도와 빈도를 추정하여 음성 신호를 분석한다.

본 발명에서는 LPC가 성도의 공명 진동수를 찾아 줄 수 있다는 점에 착안하여 기주 공명 진동수를 찾는 데에도 사용할 수 있을 것이라는 기대를 가지고 시도하였고, 많은 공명 진동수가 섞여 있는 소리 중에서 기주 공명 진동수를 추출해 내는 데 성공하였다.

4) 곡선 맞춤(Curve Fitting), 최소자승법(LSM)

Curve Fitting(곡선 맞춤)은 일련의 데이터 점에 가장 잘 맞는 곡선, 즉 수학적 함수를 구성하는 과정이다. 비슷한 의미로 회귀 분석이 있다. 회귀 분석은 임의 오류가 관찰된 데이터에 적합한 곡선을 찾고 데이터에 불확실성이 얼마나 존재하는지 알 수 있게 해준다. 회귀 분석을 통해 찾은 적합 곡선의 식을 보면 실험 데이터 두 개 이상의 변수 간의 관계를 알 수 있다. 본 발명에서는 시간에 따른 공명 진동수 변화 데이터를 수집한 후 LOESS 방법으로 평활화 하고 최소자승법(LMS)을 이용해 회귀 분석을 함으로써 컵의 모양에 관련된 변수(컵의 직경, 높이 등)를 알아내는 데 성공하였다.

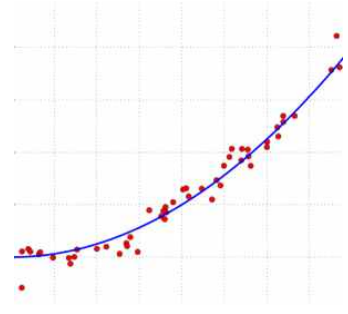


그림 18 최소자승법(LSM)

5) 아두이노, 릴레이, 솔레노이드 밸브

가) 아두이노(Arduino)

아두이노는 오픈 소스 전자 플랫폼으로, 다양한 센서와 액추에이터를 제어할 수 있는 마이크로컨트롤러 보드와 이를 프로그래밍할 수 있는 소프트웨어(IDE)를 포함한다. 본 발명에서는 컴퓨터에서 시리얼 통신으로 신호를 받아 솔레노이드 밸브를 조작함으로써 급수를 제어하는데 사용하였다.



그림 19 아두이노 우노

나) 릴레이(Relay)

릴레이는 전기 스위치로, 작은 전류로 큰 전류를 제어할 수 있게 해준다. 주요 구성 요소는 코일과 스위치(접점)로 이루어져 있으며, 코일에 전류가 흐르면 자장이 발생하여 스위치를 닫거나 연다. 본 발명에서는 아두이노의 5V 신호로 솔레노이드 밸브에 전원(12V)을 제어하기 위해 사용하였다.



그림 20 릴레이 모듈

다) 솔레노이드 밸브(Solenoid Valve)

솔레노이드 밸브는 전기적 신호를 받아 유체(액체나 가스)의 흐름을 제어하는 장치이다. 기본적으로 솔레노이드(전자석)와 밸브 본체로 구성되어 있으며, 솔레노이드에 전류가 흐르면 전자석이 자화되어 밸브를 열거나 닫는다. 본 발명에서는 물탱크에 연결하여 자동으로 급수를 제어하기 위해 사용하였다.



그림 21 저압 솔밸브

5. 작품 제작 및 발전 과정

가. 정수기 모형 제작

물탱크, 솔레노이드 밸브, 아두이노, 마이크, 컴퓨터를 이용해 정수기 모형을 제작하였다.



그림 22 정수기 모형과 컴퓨터 개요 사진

마이크로 소리를 받아들여 컴퓨터에서 파이썬 프로그램을 통해 공명 진동수를 추출하고 수위를 판단하도록 하였으며, 컴퓨터에서 아두이노에 신호를 보내 아두이노에서 솔레노이드 밸브를 조작하여 열거나 닫도록 구성하였다.

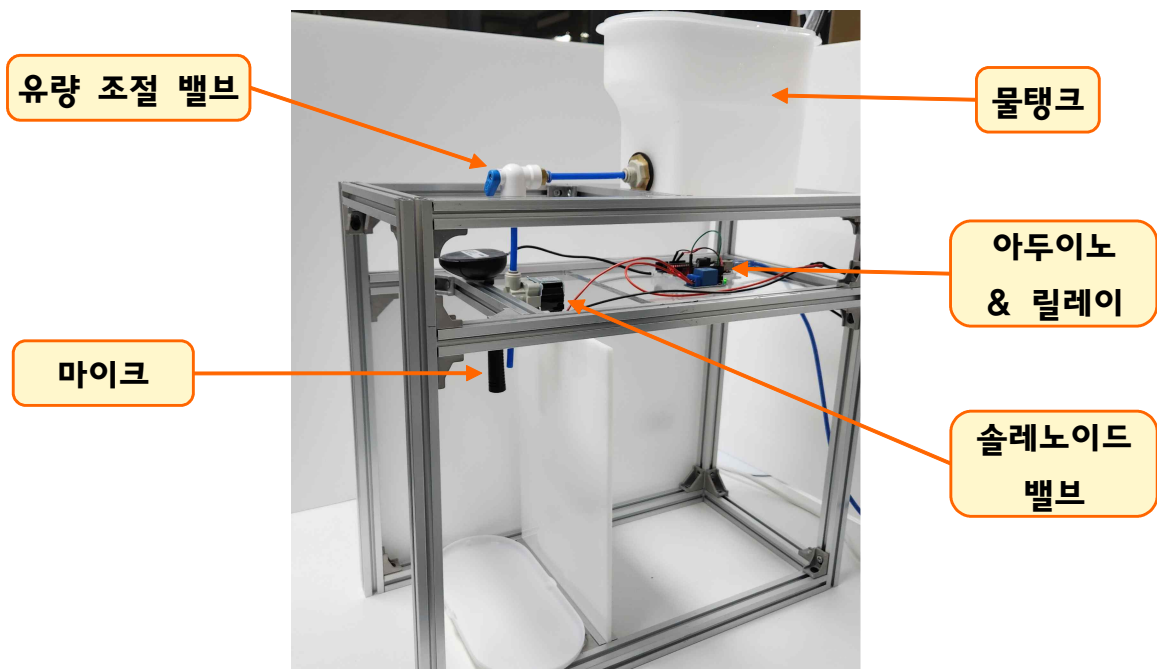


그림 23 정수기 모형 구성 요소 설명

나. ‘또르륵’ 소리로부터 컵의 잔여 높이 측정 시도

직접 작성한 파이썬 프로그램으로 ‘또르륵’ 소리를 분석하여 컵의 잔여 높이(수위)를 측정하였다.

구체적인 분석 과정은 다음과 같다.

- 물의 낙하 음원 수집 - 일반 usb 마이크
- 수집된 음원 데이터 주파수 분석 - 푸리에 변환(FFT) 및 Spectrogram
- 주파수 중에서 기주 공명의 진동수 추출 - 선형 예측 코딩(LPC) 및 추세 추적
- 공명 진동수 변화로부터 컵의 잔여 높이 계산 - 기주 공명 이론 식 적용

1) 물의 낙하 음원 수집

250ml 머그컵, 300ml 비커, 250ml 메스실린더를 이용해 컵에 물을 따를 때 나는 소리를 녹음하여 음원 데이터를 수집하고 분석함으로써 컵의 재질과 모양에 따라 소리가 어떻게 다른지, 공명 진동수는 시간에 따라 어떻게 달라지는지 알아보고자 하였다.

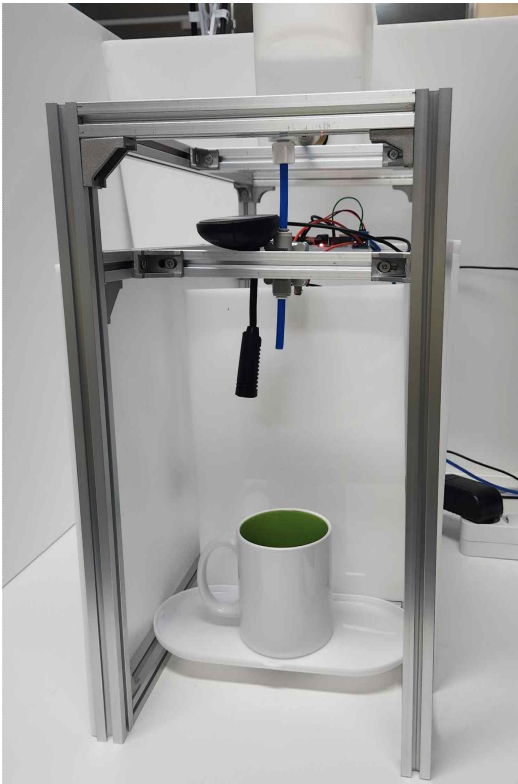


그림 24 정수기 모형 물 따르기 실험



그림 25 실험에 사용된 용기 3종류 머그컵, 비커, 메스실린더

2) 수집된 음원 데이터 주파수 분석 - 푸리에 변환(FFT), Spectrogram

물을 따른 직후(1초 후)와 물이 거의 가득 찼을 때(13초 후)의 스펙트럼을 비교하여 물이 차오름에 따라 소리가 어떻게 달라지는지 알아보고자 하였다.

실험에 앞서 세 종류 용기의 크기에 따른 기주 공명 진동수를 이론 식을 이용해 예상해 본 값은 다음 표 10과 같다.

표 10 용기의 크기에 따른 기주 공명 진동수 변화 예상

용기의 종류	머그컵		비커		메스실린더	
시간	1초	13초	1초	13초	1초	13초
공기 기둥(기주)의 높이 L (m)	0.095	0.01	0.09	0.01	0.295	0.07
용기의 너비 D (m)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.038	0.038
관구 효과를 적용한 기주의 높이 $L_{correct} = L + 0.3D$ (m)	0.116	0.031	0.111	0.031	0.306	0.081
기주 공명 주파수 $f = \frac{c}{4L_{correct}}$ (Hz)	741	2774	774	2774	280	1056

머그컵과 비커는 크기가 비슷하여 처음에는 약 700Hz, 물이 거의 가득 찼을 때(컵의 잔여 높이가 1cm 일 때) 약 2800Hz의 기주공명 진동수가 있을 것으로 예상하였고 메스실린더는 길이가 길어 더 낮은 진동수인 약 300Hz에서 약 1100Hz로 기주 공명 진동수가 변화할 것으로 예상하였다.

수집된 소리를 푸리에 변환하여 주파수 분석된 파워 스펙트럼을 보여주는 코드를 다음과 같이 파이선을 이용해 작성하였다.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pydub
import pydub.playback
from scipy.fft import fft
import matplotlib.animation as animation
import threading

# mp3 파일 로드
pydub.AudioSegment.converter = "C:/ProgramData/chocolatey/bin/ffmpeg.exe"
sound = pydub.AudioSegment.from_mp3("C:/Users/psh86/Desktop/s.mp3")
```

그림 26 푸리에 변환 실행 python code (1)

```

# 샘플링 주파수 파악
sample_rate = sound.frame_rate

# chunk_size 설정
chunk_size = int(sample_rate * 20 / len(sound)) # 재생 시간에 맞게 데이터 크기 조정

# matplotlib로 그래프 설정 (시각화)
fig, ax = plt.subplots()
ax.set_xlim((0, 10000))
ax.set_ylim((0, 6000))
line, = ax.plot([], [], c='k', lw=1)

# 실시간으로 주파수 스펙트럼 업데이트를 위한 함수
def update_plot(i):
    global sound
    data = np.array(sound[i*chunk_size:(i+1)*chunk_size].get_array_of_samples())
    n = len(data)
    y = fft(data) / n
    y = np.abs(y)[:n // 2]
    x = np.linspace(0, sample_rate / 2, n // 2)
    line.set_data(x, y)
    # 소리 재생이 끝나면 애니메이션 중지
    if i >= len(sound)//chunk_size - 1:
        animation.event_source.stop()
    return line,

# mp3 파일 재생 함수
def play_sound():
    pydub.playback.play(sound)

# 실시간 주파수 스펙트럼 표시
def show_realtime_fft():
    fig.canvas.draw()
    ani = animation.FuncAnimation(fig, update_plot, frames=len(sound)//chunk_size, interval=100,
    blit=True)
    plt.show()

# 메인 함수 실행
if __name__ == "__main__":
    sound_thread = threading.Thread(target=play_sound)
    sound_thread.start() # 소리 재생 스레드 시작
    show_realtime_fft() # 그래프 표시

```

그림 27 푸리에 변환 실행 python code (2)

작성한 프로그램으로 실제 수집된 음원을 푸리에 변환하여 살펴보았더니 예상과 비슷한 진동수 피크를 볼 수 있었다. 다음 그림은 1초일 때 세 용기에서 나는 소리를 주파수 분석한 파워 스펙트럼이다.

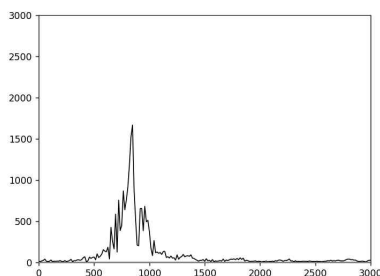


그림 28 머그컵 파워 스펙트럼

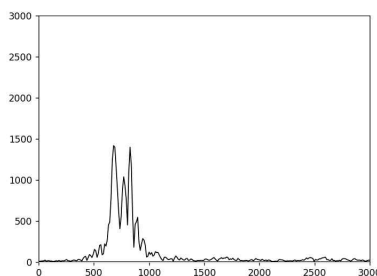


그림 29 비커 파워 스펙트럼

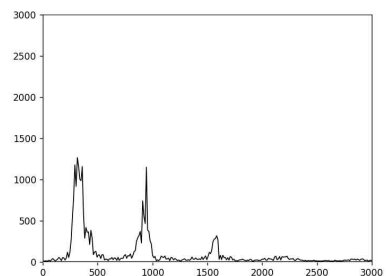


그림 30 메스실린더 파워 스펙트럼

그러나 잡음과 시간에 따른 흔들림이 커서 1초와 13초의 파워 스펙트럼을 비교하는 것만으로는 기주 공명 진동수의 변화를 명확히 알아보기 힘들었다. 그래서 시간에 따른 파워 스펙트럼

의 변화를 한 눈에 볼 수 있는 스펙트로그램(Spectrogram)을 그려 살펴보았다.

파워 스펙트럼은 주파수의 변화를 값으로 보기에는 좋지만, 시간에 따른 정보가 없어 시간에 따라 변화하는 현상에 대한 해석이 어렵다. 반면 스펙트로그램은 x축은 시간, y축은 주파수, dB의 크기는 색으로 표현한 그래프로, 시간에 따른 주파수 변화를 쉽게 관찰할 수 있다.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pydub
from scipy.fftpack import fft

# mp3 파일 로드
pydub.AudioSegment.converter = "C:/ProgramData/chocolatey/bin/ffmpeg.exe"
sound = pydub.AudioSegment.from_mp3("C:/Users/psh86/Desktop/mess_cylinder.mp3")

# 샘플링 주파수 파악
sample_rate = sound.frame_rate

# chunk_size 설정
chunk_size = int(sample_rate * 5 / len(sound)) # 재생 시간에 맞게 데이터 크기 조정

# FFT 파라미터 설정
nfft = 512 # FFT 크기

# 스펙트로그램 초기화
spectrogram = []

# chunk 단위로 FFT 계산
for i in range(0, len(sound), chunk_size):
    chunk = sound[i:i+chunk_size]
    samples = chunk.get_array_of_samples()
    Zxx = fft(samples, n=nfft)
    Zxx = 20 * np.log10(np.abs(Zxx) + 1e-6) # dB로 변환 (음수 값 방지)
    spectrogram.append(Zxx.reshape(-1, 1)) # 1D 배열을 2D 배열로 reshape하여 추가

# 스펙트로그램 이어붙이기
full_spectrogram = np.concatenate(spectrogram, axis=1)

# 스펙트로그램의 일부만 선택
freq_min = 0
freq_max = 8000
freq_min_index = int(freq_min / (sample_rate / 2) * (nfft // 2))
freq_max_index = int(freq_max / (sample_rate / 2) * (nfft // 2))
selected_spectrogram = full_spectrogram[freq_min_index:freq_max_index]

# 스펙트로그램 플롯
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.imshow(selected_spectrogram, aspect='auto', cmap='inferno', extent=[0, len(sound) / 1000, freq_min, freq_max], origin='lower')
plt.xlabel('Time (s)')
plt.ylabel('Frequency (Hz)')
plt.title('mess_cylinder_FFT_Spectrogram')
plt.colorbar(label='Intensity (dB)')
plt.show()
```

그림 31 spectrogram python code

작성한 프로그램으로 세 용기에서 나는 소리의 스펙트로그램을 그린 결과는 다음과 같다.

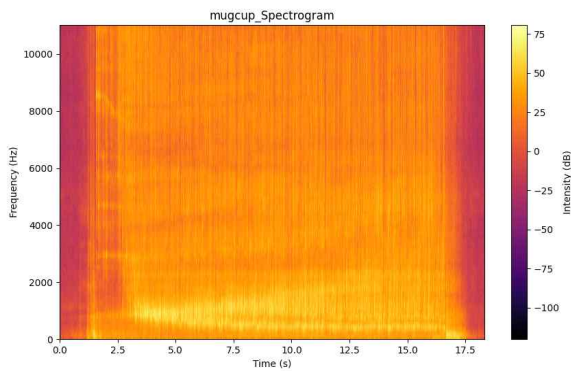


그림 32 머그컵 spectrogram

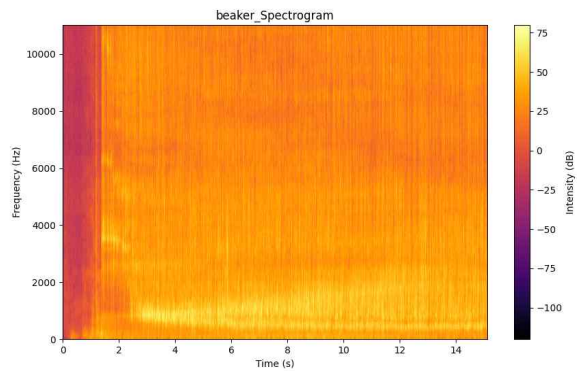


그림 33 비커 spectrogram

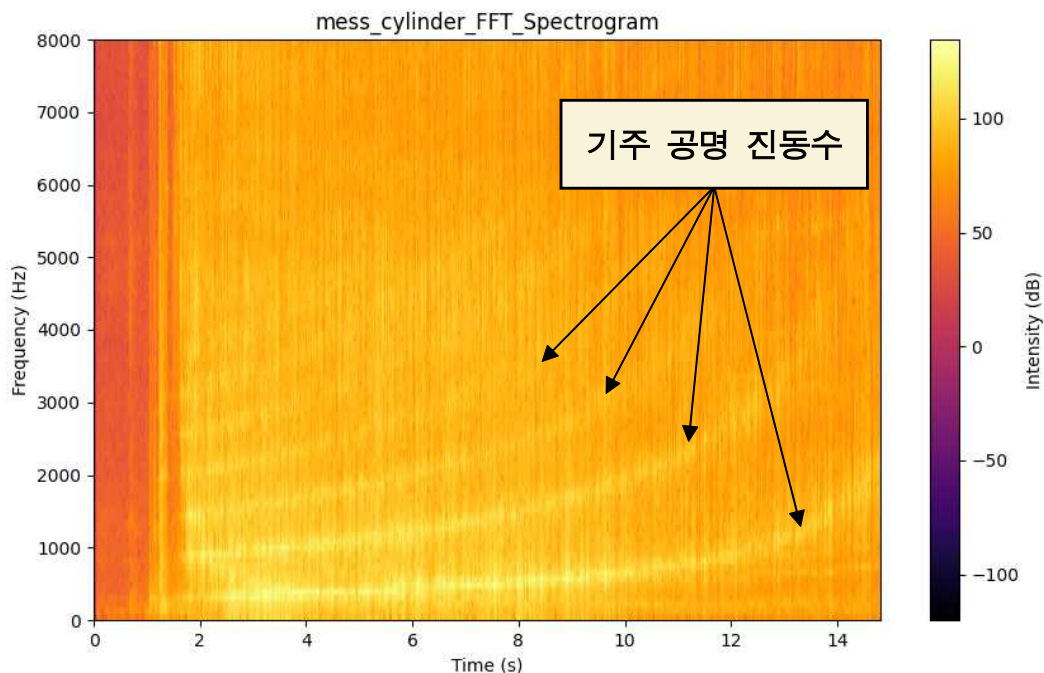


그림 34 메스실린더 spectrogram

세 용기 모두 초기에 매우 높은 진동수에서 급격히 낮아진 후 점점 높아지는 진동수가 있음이 관찰되었으나 머그컵과 비커의 경우 공명 진동수가 명확하게 보이지는 않았다. 반면 메스실린더의 경우 여러 가지 공명 진동수가 매우 깨끗하게 보였다.

처음에 매우 높았다가 급격히 낮아져서 작게 유지되는 진동은 컵 자체의 진동수로 추정된다. 컵 자체의 진동은 물이 쌓이면서 질량이 커지는 효과로 인해 점점 낮은 소리가 나게 된다. 대표적 예시로, 와인잔에 물 높이를 다르게 해 음악을 연주하는 것이 이 진동을 이용한 것이다.

위 그림 34에서 정확히 1, 3, 5, 7배의 비율을 가지면서 증가하는 진동수는 닫힌 관에서의 기주 공명 진동수임이 명확하다. 진동수의 값도 앞서 표 10에서 이론식으로 예측한 값과 비슷한 값이 나와서 이를 이용해 본 발명의 목적을 달성할 수 있겠다는 확신을 갖게 되었다.

한편 본 발명은 기주 공명 진동수의 1배음을 이용하는 것이 메인 아이디어 이므로 1배음 만을 확실하게 추적하고자 시도하였다. 그래프에서 극대값 찾기 등의 알고리즘을 이용해 기주 공명의 1배 진동수 변화를 추적하고자 하였으나 컵의 진동이나 헬름홀츠 공명 진동수 등 다른 여러 진동수가 섞여 있어 단순한 극대값 찾기 종류의 알고리즘으로는 기주 공명 진동수를 확실하게 추출할 수 없었다.

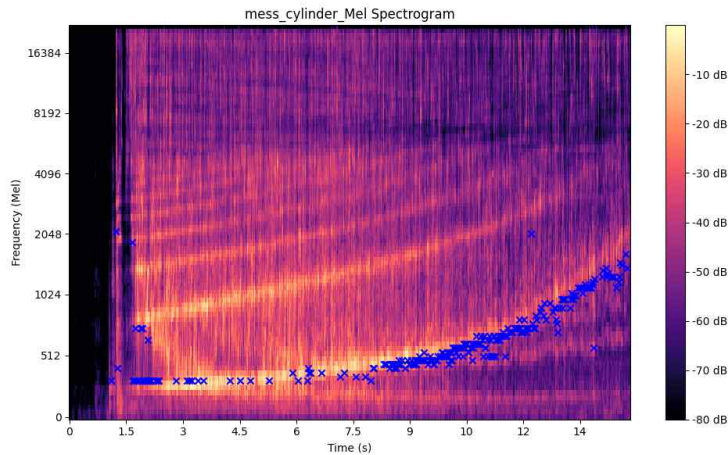


그림 35 기주 공명 1배음 진동수 추출에 실패한 모습

3) 선형 예측 코드(LPC) 및 추세선을 통한 기주 공명 진동수 추출

어떻게 하면 여러 진동수가 섞여 있는 상황에서 기주 공명 진동수만 깨끗하게 추출할 수 있을까 고민하며 다양한 필터들을 적용해 보던 중 음성 연구에서 포먼트(Formant, 성도의 공명 진동수)를 추출하는 데 LPC(Linear Predictive Code, 선형 예측 부호화)라는 알고리즘이 주로 사용된다는 사실을 알게 되었다. 본 발명도 컵에서의 공명 진동수를 추출하고자 한다는 점에서 LPC를 사용할 수 있겠다는 생각이 들어 LPC를 이용해 컵의 기주 공명 진동수를 찾는 파이선 코드를 작성해 보았고, 이전의 다른 알고리즘보다 확실하게 기주 공명의 1배 진동수를 추출할 수 있었다.

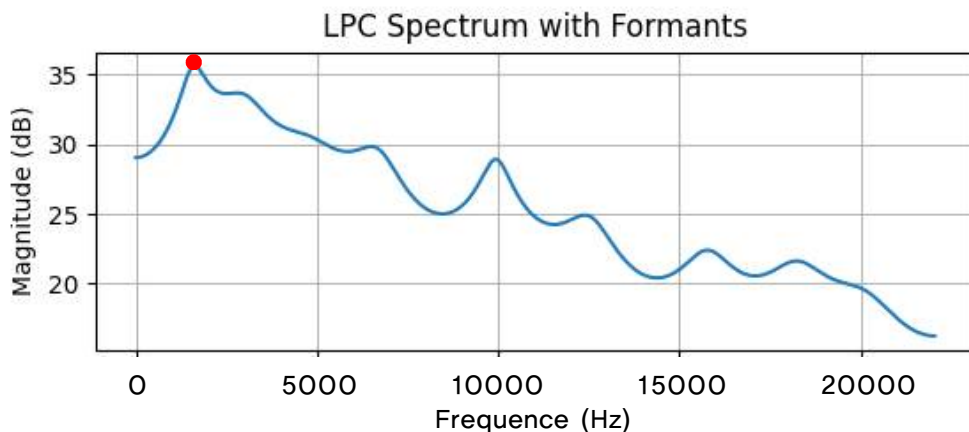


그림 36 LPC 알고리즘으로 컵의 기주 공명 제1배 진동수를 정확히 추출한 모습

그러나 실제 컵에 물이 떨어지면서 발생하는 소리는 물방울이 튀는 소리, 수면이 흔들리는 현

상 등의 영향으로 기주 공명 진동수가 시간에 따라 많이 흔들리고 잡음이 끼어들기도 해 분석에 어려움이 있었다. 기주 공명 진동수만을 정확히 따라가기 위해 기주 공명 진동수의 변화 추세선(Trend Line)을 그리는 방식으로 잡음이나 흔들림의 효과를 제거하고자 하였다. 잡음을 제거하기 위해 LOESS 알고리즘을 적용해 다항식으로 평활화한 후(아래 그림의 노란색 추세선), 다시 한번 최소자승법(LSM)을 이용해 직선 형태의 추세선을 구하였다. (아래 그림의 빨간색 추세선) 그 결과 잡음에도 영향을 받지 않으면서 이론과 비슷하게 변화하는 기주 공명 진동수 변화 추세선 식을 얻어낼 수 있었고 이를 이용해 실시간으로 안정적인 기주 공명 진동수 값을 수집할 수 있었다.

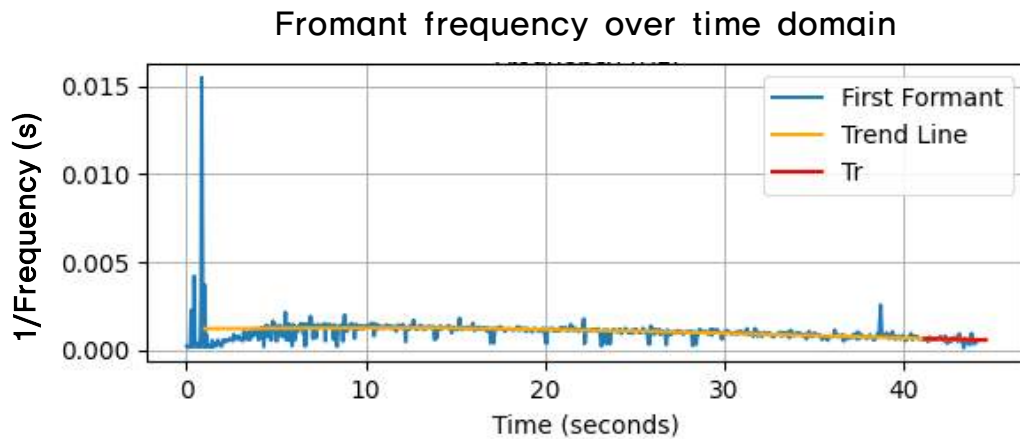


그림 37 LPC로 추출한 기주 공명 진동수 변화의 추세선

4) 공명 진동수로부터 컵의 잔여 높이 계산 - 기주 공명 이론 적용

이렇게 수집한 기주 공명 진동수로부터 컵의 잔여 높이를 계산하였다.

오른쪽 그림처럼 너비가 D , 높이가 H 인 컵에 h 만큼 물이 차오르고 남은 높이를 L 이라 하면 컵의 남은 공간은 한쪽이 닫힌 공기 기둥(기주)으로 작용하여 빨간색 그림과 같은 정상파가 만들어진다. 이 정상파의 진동수는 $f = \frac{c}{4L}$ 로 구할 수 있다(여기서 c 는 음속, 22°C에서 약 344m/s). 관의 너비에 따라 길이가 늘어난 효과를 가지는 관구 효과를 적용하면 $f = \frac{c}{4(L+kD)}$ 의 형태가 되는데 여기서 k 는 관구의 형태에 따라 달라지며 보통 한쪽이 닫힌 폐관의 경우 $k=0.3$ 정도이다. 본 발명에는 기주 공명 진동수로부터 컵의 남은 높이를 구하는 것이 필요하므로 식을 바꾸어 정리하면 다음과 같다.

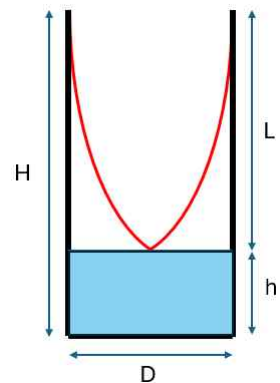


그림 39 컵의 남은 높이에 따른 정상파

$$L = \frac{c}{4f} - kD$$

이 식을 이용하면 실시간으로 수집되는 기주 공명 진동수 값으로부터 컵의 남은 높이 L 을 알 수 있다.

다. 1차 작품

‘포르륵’ 소리만으로 컵이 넘치기 전에 자동으로 물 멈추기 성공

이처럼 소리를 분석해 구한 컵의 남은 높이 L 이 특정 값이 되면 물을 멈춰주도록 아두이노와 솔레노이드 밸브를 이용해 정수기 모형을 구성하였다.

컵의 너비 D 와 관구 효과 계수 k 값에 따라 물의 높이가 조금씩 다르겠지만 관구 효과에 의한 높이 차이는 그리 크지 않으므로, 보통 컵의 너비와 선행 자료에서 알려진 값을 적용해 $D=7\text{cm}$, $k=0.3$ 으로 가정하고 물을 멈추는 목표 진동수를 구하였다. 테스트이기 때문에 물이 넘치는 사고를 최소화하고자 목표 높이를 3cm로 설정하였다. 이렇게 구한 목표 진동수는

$f = \frac{344}{4(0.03 + 0.3 \times 0.07)} = 1686 \approx 1700\text{Hz}$ 이다. 즉, 기주 공명 진동수가 1700Hz 가 되면 물을 멈추도록 코딩 하였다.

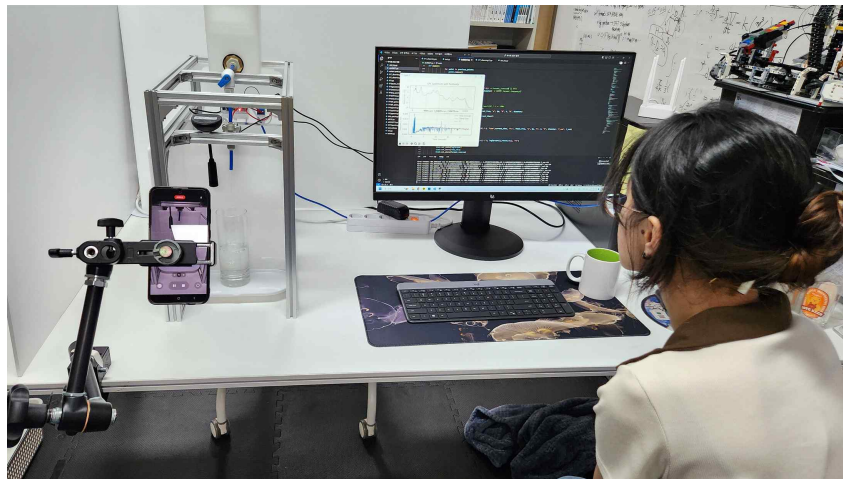


그림 40 ‘포르륵’ 소리를 이용해 자동으로 물 멈추기 테스트 장면

테스트 과정에서 오작동을 최소화 하도록 여러 번의 코드 수정을 거쳐 결국에는 재질과 모양이 다른 9개의 컵에서 모두 자동으로 물을 멈추는 데 성공하였다.



그림 41 스텐 텀블러

그림 42 1차 머그컵

그림 43 실험용 비커



그림 44 1자 긴 컵



그림 45 1자 중간 컵



그림 46 1자 작은 컵



그림 47 원뿔형 컵



그림 48 향아리형 머그컵



그림 49 향아리형 유리컵

그림 41~43을 보면 스테인리스, 도자기, 유리 등 컵의 재질에 관계 없이 자동으로 물이 잘 멈춘 모습을 확인할 수 있고, 그림 44~46을 보면 높낮이와 너비가 다른 컵에서도 잘 작동함을 볼 수 있다. 그림 47~49를 보면 1자 원통형 컵 뿐만 아니라 위로 갈수록 단면적이 넓어지는 원뿔형 컵이나 위로 갈수록 단면적이 좁아지는 향아리형 컵에서도 잘 작동함을 알 수 있다.

그런데 자세히 살펴보면 컵의 남은 높이가 조금씩 다르다는 점이 보인다. 남은 높이가 제일 큰 것은 그림 46 1자 작은 컵으로 약 3.5cm 남았을 때 물이 멈췄고, 남은 높이가 제일 작은 것은 그림 48 향아리형 머그컵으로 약 1.5cm 남았을 때 물이 멈췄다. 다른 컵에서도 대체로 컵의 너비가 넓은 컵에서는 남은 높이가 작게, 컵의 너비가 좁은 컵에서는 남은 높이가 크게 물이 멈추는 경향을 볼 수 있다. 이는 앞에서 설명한 관구 효과 때문인 것으로 보인다. 그래서 관구 효과를 보정하여 관구의 너비에 상관 없이 일정한 높이에서 멈추도록 하는 것을 다음 과제로 삼았다.

라. 2차 작품

컵의 너비에 상관없이 같은 높이가 남았을 때 자동으로 물 멈추기 성공

관구 효과를 보정하기 위해서는 컵의 너비 D 를 알아야 한다. 어떻게 하면 컵의 너비를 알 수 있을까?

처음에는 기주의 높이에 반비례하는 기주 공명의 진동수 외에 기주의 부피의 제곱근에 반비례하는 헬름홀츠 공명을 측정해서 연립 방정식을 풀면 기주의 너비를 알 수 있을 것이라는 아이디어를 떠올리고 헬름홀츠 공명을 추출하기 위한 시도를 하였다. 그러나 헬름홀츠 공명은 기주 공명에 비해 매우 작은 세기로 나타나서 진동수를 추출할 수 없었다.

그러다가 추세선 식의 변수를 이용해 컵의 너비를 구할 수 있음을 발견하였다. 유레카!

컵의 너비 D 와 컵의 남은 높이 L 에 의해 결정되는 기주 공명 진동수는 다음과 같다.

$$f = \frac{c}{4(L+kD)} = \frac{c}{4(H-h)+kD} = \frac{c}{4(H-\frac{4Qt}{\pi D^2}+kD)}$$

여기서 Q 는 단위 시간당 출수되는 물의 부피 즉, 초당 유량이다. 이 식을 직선으로 곡선 맞춤하기 위해 분모 분자를 뒤집고 시간 t 에 대해 정리 하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{f} = \frac{4(H-\frac{4Qt}{\pi D^2}+kD)}{c} = -\frac{4}{c} \frac{4Q}{\pi D^2} t + \frac{4}{c} H + \frac{4}{c} kD = at + b$$

$$\therefore a = -\frac{4}{c} \frac{4Q}{\pi D^2}$$

추세선을 구했다는 것은 여기서 a , b 상수 값을 얻었다는 것인데 a 안에 D 항이 들어가 있으므로 Q 를 알면 D 를 알 수 있다.

본 발명은 정수기에 관한 것으로 정수기에서 나오는 단위 시간당 유량 Q 는 일정하다고 볼 수 있다. 따라서 추세선을 구하는 과정에서 얻은 a 값과 정수기에서 얻은 Q 값을 이용해 D 값을 구하고 $f = \frac{c}{4(L+kD)}$ 식에 대입하여 컵의 너비에 따라 물을 멈추는 목표 진동수를 다르게 설정하도록 프로그램을 수정하였다. 목표 높이는 $L=2.5\text{cm}$ 로 설정하였으며 실험을 통해 $Q=6.1\text{mL/s}$, $k=0.4$ 값을 찾아 적용하였다.

이렇게 관구 효과에 따라 목표 진동수를 다르게 설정하여 테스트 한 결과 이전과는 다르게 너비가 작은 컵과 큰 컵에서 거의 비슷하게 2.5cm를 남겨두고 물을 멈추는 데 성공하였다.



그림 50 1자 작은 컵 관구 보정 전



그림 51 1자 작은 컵 관구 보정 후

너비가 5.3cm인 작은 컵은 관구 보정 전보다 더 높은 높이에서 물이 멈췄고, 입구 너비가 8cm인 항아리 컵은 관구 보정 전보다 더 낮은 높이에서 물이 멈춰서 결과적으로 컵의 너비에 관계없이 목표 높이인 약 2.5cm 남았을 때 잘 멈추는 결과를 보였다.



그림 52 항아리형 유리컵 관구 보정 전



그림 53 항아리형 유리컵 관구 보정 후

이 결과는 단순히 컵의 너비와 상관없이 일정한 높이에서 멈추는 것에 성공한 것 이상의 가치가 있다.

컵에 떨어지는 ‘포르륵’ 소리 분석만으로 컵의 남은 높이뿐만 아니라 컵의 직경까지도 알 수 있는 계산 방법을 찾아낸 것이기 때문이다. 이 발견을 발전시켜 계속 생각해 보았다.

마. 놀라운 발견

소리 분석만으로 컵의 모양(단면적 변화)까지 알 수 있다.

앞에서 컵의 너비를 알아낸 방법은 컵의 너비가 변하지 않는다는 가정이 숨어 있다. 그래서 아래와 같은 원뿔형 컵은 현재 수위의 직경보다 관구의 직경이 커서 관구 보정에 오차가 조금 더 크게 발생했다. 그래서 원뿔형 컵에서도 관구 보정을 정확하게 할 수는 없을까? 계산을 해 보았다.

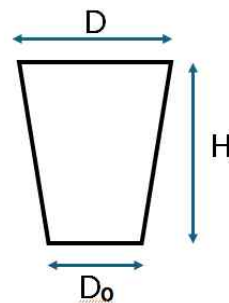


그림 54 아래 너비와 위 너비가 다른 원뿔형 컵

그림 54와 같은 원뿔형 컵에서 단위 시간당 일정한 유량 Q 로 물이 차오를 때는 단면적이 점점 넓어지므로 수면 상승 속도가 느려진다. 이를 적용한 기주 공명 진동수의 시간 변화 식을 구하는 과정은 다음과 같다.

먼저 높이 h 에 따른 너비 $D(h) = D_0 + (\frac{D-D_0}{H})h$ 이다.

시간 t 에 따른 채워진 물의 부피 $V(t) = Q \cdot t$ 이다.

원뿔형 컵에서 아래 h 만큼 물이 차 있을 때 물의 부피는 단면적을 높이에 대해 적분하여 구할 수 있다.

$$V(t) = \int_0^{h(t)} \pi \left(\frac{D(h)}{2} \right)^2 dh = \int_0^{h(t)} \frac{\pi}{4} \left(D_0 + \left(\frac{D-D_0}{H} \right) h \right)^2 dh$$

적분하면 다음 식을 얻는다.

$$V(t) = \left[\frac{\pi H}{12(D-D_0)} D_0 + \left(\frac{D-D_0}{H} \right) h \right]^3 \Big|_0^{h(t)} = \frac{\pi}{12} \frac{H}{D-D_0} \left\{ \left(D_0 + \left(\frac{D-D_0}{H} \right) h(t) \right)^3 - D_0^3 \right\} = Q \cdot t$$

$h(t)$ 에 관해 정리하면 다음과 같다.

$$h(t) = \frac{H}{D-D_0} \left\{ \left(\frac{12(D-D_0)Qt}{\pi H} + D_0^3 \right)^{\frac{1}{3}} - D_0 \right\}$$

이렇게 구한 $h(t)$ 를 관구 효과를 고려한 기주 공명 진동수 식에 넣으면 다음과 같다.

$$f(t) = \frac{c}{4(H-h(t)) + k \left(D_0 + \left(\frac{D-D_0}{H} \right) h(t) \right)}$$

이로서 기주 공명 진동수의 시간에 따른 변화 식을 구해 내었다. 별다른 미분이나 적분, 연립 방정식 등이 필요하지 않고 단지 H, D, D_0, k, Q 값을 단순 대입 하는 것으로 $f(t)$ 를 구할 수 있다. 이는 역으로 $(f(t), t)$ 데이터를 이용해 이 함수 형태로 곡선 맞춤 하면 H, D, D_0, k, Q 파라미터 값을 알아낼 수 있다는 뜻이다.

앞서 원통형 1자 컵의 관구 보정을 하는 과정에서는 실험을 통해 얻은 k, Q 값을 적용해 D 를 구했지만 아랫 너비와 윗 너비가 다른 원뿔형 컵에서는 단면적의 변화라는 하나의 요인이 더 들어가기 때문에 유량 Q 와 관구 보정 상수 k 까지도 추세를 통해 구할 수 있게 되는 것이다. 나에게 이 점은 정말 놀라운 발견이었다.

더 나아가 임의의 단면적 변화를 갖는 컵도 구분구적법 하듯이 구간을 나누어 원뿔형 컵의 연결로 생각하면 각 구간의 형상을 구해 낼 수 있을 것이고, 이는 본 발명에서 발견한 기주 공명 진동수의 추세를 이용한 컵의 형상 추정 방법이 원통형, 원뿔형 컵 뿐만 아니라 임의의 단면적 변화를 갖는 컵에서도 적용될 수 있음을 뜻한다.

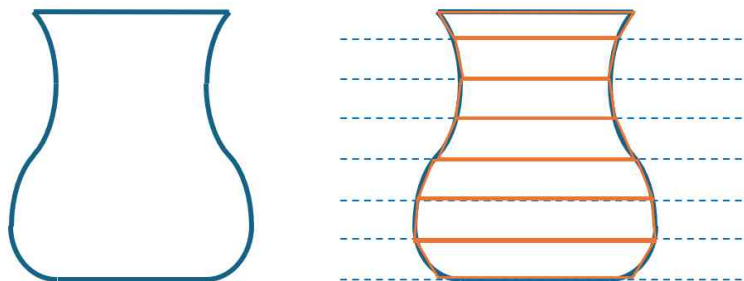


그림 55 임의의 단면 변화를 갖는 컵을 원뿔형 컵의 연결로 근사한 모습

바. 더 놀라운 발견

소리 분석으로 미지의 공동의 모양과 크기를 알 수 있다.

생각을 이어나가면 소리 분석을 이용해 컵의 형상을 알아내는 이 방법은 꼭 컵에만 한정할 필요가 없다. 미지의 공간에 마이크 하나만으로 기주 공명 진동수의 변화를 추적하면 그 공간의 형태와 크기를 구할 수 있다는 놀라운 발견이다.

이 방법을 이용하면 화학 공정이나 반도체 공정같이 금속 원통 속에 액체 형태의 재료 물질이 사용되는 경우 통에 마이크를 부착해 소리를 분석하는 것만으로 재료 물질의 잔량을 체크할 수도 있을 것이다.



그림 56 액체 상태로 보관, 사용하는 가스 공정에서 액체 재료의 잔량 체크 가능 예시 이미지

위 그림과 같은 반도체 장비에는 많은 가스통이 사용되는데 가스는 대부분 통 내에서 액체 상태로 존재한다. 그런데 가스의 잔량을 확인하기 어려운 경우가 많다. 시각적으로는 당연히 확인이 어렵고, 가스통이 배관에 강하게 고정된 경우에는 무게를 재는 방법도 사용할 수 없다. 사용량으로부터 잔량을 유추할 수밖에 없는 경우가 많다. 이때 본 발명의 방법을 이용하여 가스통에 마이크를 부착하여 가스통 내의 잔여 공간에 대한 공명 진동수를 추출하면 가스의 잔량을 체크할 수 있어 공정이 멈추거나 가스가 남은 상태에서 버려지는 문제를 해결할 수 있을 것이다.

또한, 사람이 직접 들어가기 위험한 유류 탱크, 물탱크 또는 싱크홀 등의 잔여 공간이 어떤 모양으로 얼마나 남았는지 파악할 수도 있을 것이다.

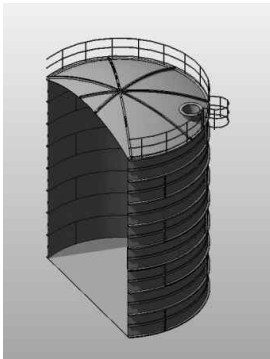


그림 57 유류 탱크



그림 58 물 탱크



그림 59 싱크홀

또한, 본 발명에서는 정수기의 물 떨어지는 ‘또르륵’ 소리를 음원으로 이용했지만 미지의 공간 형태를 구하는 상황에서는 화이트 노이즈 같은 음원을 사용하면 더 깨끗하고 안정적인 공명 진동수 변화를 얻을 수 있기 때문에 충분히 적용 가능할 것으로 기대한다.

사. 향후 발전 목표

현재 2차 작품에서 관구 효과를 보정하여 컵의 너비에 상관없이 일정한 높이가 남았을 때 물을 멈추게 하는 것까지 구현하는 데 성공했다.

앞으로 더 발전시키고 싶은 내용은 다음과 같다.

- 원뿔형 컵에서 소리 분석을 통해 컵의 아랫 너비 D_0 , 윗 너비 D , 높이 H 구하기.
- 항아리형 컵처럼 **임의의 단면적 변화가 있는 컵에서 컵의 형상 구하기.**
- 컵의 전체 높이 H 와 남은 높이 L 을 알 수 있으므로 이를 이용해 가득 따라줘, 70%만 따라줘, 반 컵만 따라줘 등 실제 컵에 맞는 **비율 추출 기능 구현하기.**
- 이렇게 구한 컵의 형상에 대한 정보 및 유량에 관한 정보를 디스플레이에 표시해 주는 **GUI 기능 구현하기.**
- 컵을 놓고 “가득 따라줘” 라고 말하면 출수를 시작하는 **음성 인식 기능 구현하기.**

6. 발명 결과 및 활용 방안

가. 발명 결과

- 1) ‘또르륵’ 소리를 분석해 컵의 모양과 크기에 관계없이 특정 높이가 남았을 때 자동으로 물을 멈추는 정수기 발명
- 2) ‘또르륵’ 소리를 분석해 컵의 모양과 크기를 알아내는 방법 발명
- 3) 공명 소리를 이용해 미지의 공동(cavity)의 모양과 크기를 알아내는 방법 발명

나. 활용 방안

- 1) 정수기에서 물 넘침을 방지하는 안전장치로 활용 가능
- 2) 정수기에서 기존의 한 컵 250ml, 반 컵 125ml 같은 정량 추출이 아니라 컵이나 냄비의 크기에 관계없이 ‘가득’, ‘절반’ 등 비율 추출 기능으로 활용 가능
- 3) 정수기에서 소리를 이용해 컵의 형상을 알아내는 과정에 물리 공명 이론 뿐만 아니라 원뿔의 부피, 구분구적법 등의 수학 원리가 포함되어 있어 디스플레이가 구현된다면 수학, 물리 교구로 활용 가능
- 4) 공명 소리를 이용해 미지의 공동(cavity)의 모양과 크기를 알아내는 방법은 시각적으로 내부를 확인할 수 없는 용기 내부의 잔량을 확인하는 많은 곳에 활용 가능(화학 공정, 유류 탱크, 물 탱크, 싱크홀 등)

7. 참고 문헌

- 1) 김시우, 김수비, 박선주, 물 낙하 소리를 이용하여 용기의 수위를 자동으로 조절하는 정수기. 1020130156518 ,2013.12.16.
- 2) 김재은. (2015). 헬름홀츠 공명기. 소음·진동, 25(6), 24-28.
- 3) S. S. Hashemi, M. Aghabozorgi and M. T. Sadeghi, “Persian Music Source Separation in Audio-Visual Data Using Deep Learning,” 2020 6th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS), Mashhad, Iran, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICSPIS51611.2020.9349614.
- 4) J. Darch, B. Milner, Xu Shao, S. Vaseghi and Qin Yang, “Predicting formant frequencies from MFCC vectors [speech recognition applications],” Proceedings. (ICASSP '05). IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005., Philadelphia, PA, 2005, pp. I/941-I/944 Vol. 1, doi: 10.1109/ICASSP.2005.1415270.
- 5) GPT-4o : 물리 이론 공부, 기하학적 계산, FFT, LPC 등 알고리즘을 파이썬 코딩으로 구현하는 데 많은 도움을 받음.