



1434

물소리만 듣고 컵의 모양을 알 수 있을까?

역할 분담 신경망과 물리 법칙으로 풀어난 음향 형상 역추적

작품요약설명

물을 따를 때 용기 내부의 공기 공간이 변하면서 발생하는 소리의 변화를 이용해 용기의 형상을 추정하고자 하였다. 다양한 형상의 음향 특성을 계산하는 시뮬레이션을 개발하여 10만 개의 학습 데이터를 생성하고, 인공지능망에 학습시켜 컵의 음향 특성으로부터 용기의 모양을 추정하는 LSTM 모델을 개발하였다.

출품자 - 이승민 · 이인호 · 한재운
(충북과학고등학교)
지도교사 - 정도일(충북과학고등학교)

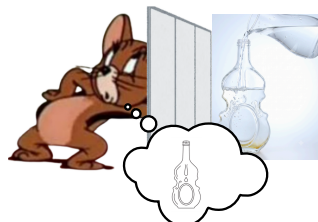


연구내용

탐구동기 소리통해 컵의 모양을 알 수 있을까?

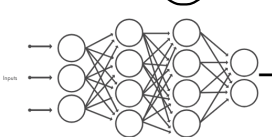
정수기 물의 '또르르' 소리로 물의 높이를 맞추는 선행연구

소리만 듣고도, 눈에 보이지 않는 물의 높이를 알아낼 수 있다!



높이라는 숫자 하나를 넘어서,
“컵의 모양 전체도 소리로 그려낼 수 있을까?”

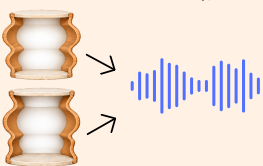
컵의 모양은 소리를 만들어낸다.
소리를 거꾸로 풀면 모양을 만들 수 있지 않을까?



→ 이 역추적을 인공지능망에 학습시켜, 소리만으로 형상을 복원하자!

사실, 먼저 비슷한 질문을 던진 연구들이 있었다.

CAN ONE HEAR THE SHAPE OF A DRUM?
MARK KAC, The Rockefeller University, New York



▲ 선행연구 1

다른 모양의 북에서 같은 소리가 날 수 있다.

The Sound of Water: Inferring Physical Properties from Pouring Liquids (2025)
Andrew Zisserman
University of Oxford



▲ 선행연구 2

신경망으로 영상을 학습하여 원통으로 가정한 용기의 높이, 반지름만 추정했다.

그러면 우리는?

선행연구 1

한 번 들어서는 모양을 알 수 없다

선행연구 2

원통 가정, 높이와 반지름 추정

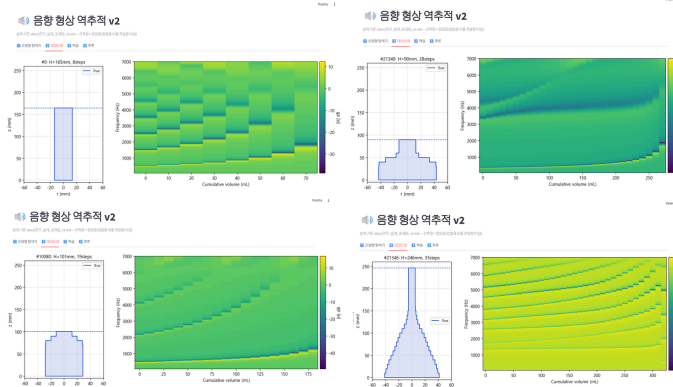
물을 부으며 여러 번 듣는다 +

높이 + 반지름 25개 완전 자유형상 추정

물을 부으며 얻은 여러 번의 소리로, 컵의 형상 전체를 그려내자!

탐구과제 1 형상의 소리를 생성하는 시뮬레이션 개발

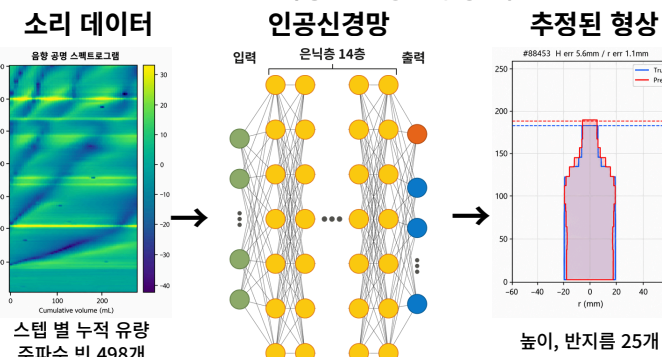
인공지능망 모델을 개발하려면 학습데이터가 필요하다.
임의의 형상을 입력, 해당 형상에서 날 소리를 출력하는 물리 기반 시뮬레이션을 통해 랜덤 데이터를 다량 확보하자!



▲ TMM 전달행렬법으로 개발한 시뮬레이션

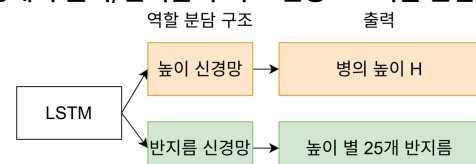
탐구과제 2 소리로 형상을 추정하는 인공지능망 개발

시뮬레이션으로 신경망 학습 데이터 10만 샘플 확보!
LSTM 모델을 사용한 인공지능망 개발



학습 데이터 분할	학습 8만/검증 1만/테스트 1만 (8:1:1)
학습 epoch	30 epoch
파라미터 수	모델 당 약 92~105만개

학습 과정에서 높이/반지름의 시소 현상 → 역할 분담 구조 적용!



소리 데이터로 형상을 추정하는 인공지능망 모델을 완성했다.

탐구과제 3 컵에서 소리를 얻는 장치 설계 및 제작

실제 컵의 형상을 추정하려면 컵만의 소리를 얻어야 한다.
→ 컵의 소리(비율전달함수)를 얻는 장치를 개발하자!

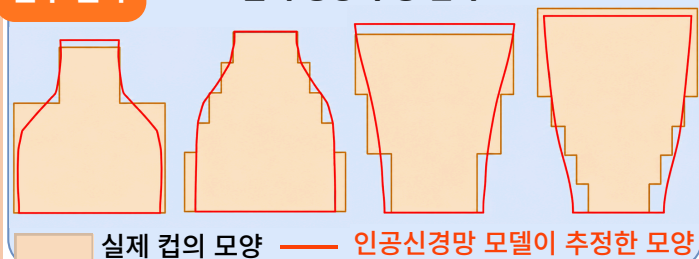


완전 자동화 실험 장치 개발!

내경이 다른 링을 쌓음 → 원하는 형상의 컵 자동으로 물을 붓고 소리 반복 측정

탐구결과

실제 형상 추정 결과



실제 컵의 모양
높이 평균 오차
16.7mm

인공지능망 모델이 추정한 모양
반지름 평균 오차
6.0mm

성공적인 형상 추정!

→ 실물 컵의 모양을, 소리만으로 그려내는 데 성공했다!

결론 및 의의

형상 역추정 모델 개발

소리만으로 컵의 형상을 역추정하는 인공지능망 모델을 개발하였다.

비유일성 문제의 해결

음향-형상 역문제
→ 비유일성 문제로 인한 어려움
→ 물 따르는 과정의 반복 측정을 통한 새로운 패러다임 제시!

비파괴 측정 기반 아이디어

유류탱크·싱크홀·배관 등
→ 직접 접근이 어려움
형상 비파괴 추정 기술의 기반 아이디어를 제시하였다.

TTR 통한 정밀도 향상

모델 추정 결과를 초기값으로 삼는 테스트타임 보정 과정을 추가, 정밀도를 높이는 후속 연구 진행 중