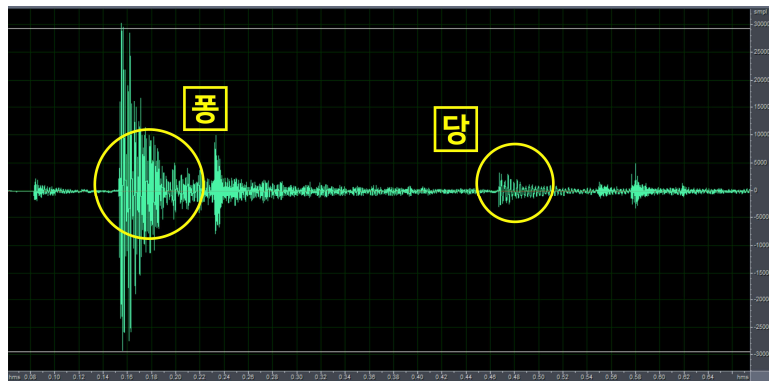


출품번호

1153

제69회 전국과학전람회

우리나라 사람들은 **물리 · 언어** 천재였다?
풍당-풍덩에서 발견한 **우리말 · 우리글의**
물리적 우수성에 대한 탐구



2023. 8. 24.

출품학생	
지도교원	
구 분	학생부
출품부문	물리

【 차 례 】

I. 탐구 동기 및 목적	1
1. 탐구 동기	1
2. 탐구 목적	2
II. 탐구 개요	3
1. 탐구 절차	3
2. 탐구 기간	3
III. 이론적 배경 및 선행연구 조사	4
1. 이론적 배경	4
가. 음향 음성학(Acoustic phonetics)	4
나. 국어 음성학(Korean phonetics)	7
2. 선행연구 조사	9
가. 국어학계	9
나. 음성상징론	10
다. 기타 분야	12
IV. 탐구 내용	14
1. 줄기 탐구(의성어, 의태어) - 왜 작은 돌은 풍당, 큰 돌은 풍덩일까?	14
가. 돌멩이가 물에 떨어질 때 나는 소리의 메커니즘 탐구	14
나. 큰 돌멩이와 작은 돌멩이가 만드는 소리의 차이	17
다. 우리말 의성어 쌍에 대한 물리적 분석	19
라. 팔짝 뛴 사람과 펄쩍 뛴 사람 중에 누가 더 멀리 뛰었을까?	20
2. 줄기 탐구(형용사) - 왜 차갑다가 양성 모음, 뜨겁다가 음성 모음일까?	21
3. 가지 탐구 - ‘풍당’ 과 ‘Plop’ 중 어느 말이 더 풍당 소리 같을까?	25
가. 모음 선택 타당성 척도 개발	25
V. 결론 및 향후 탐구 계획	28
가. 결론	28
나. 향후 탐구 계획	29
VI. 참고 문헌	30
부록: 분석에 활용한 의성어, 의태어 단어 쌍 목록	

【 그림 목차 】

그림 1. 탐구 동기 모식도	1
그림 2. 탐구 목적 모식도	2
그림 3. 탐구 절차 모식도	3
그림 4. 음원-여과기 이론	4
그림 5. Cool Edit Pro ‘아’ 목소리 주파수 분석 화면	5
그림 6. 한쪽 끝이 열린 관에서의 기주 공명	5
그림 7. 헬름홀츠 공명기	6
그림 8. 성도에서의 헬름홀츠 공명을 나타낸 모식도	6
그림 9. 푸리에 변환 결과를 나타낸 모식도	6
그림 10. 우리말 모음 삼각도	7
그림 11. 모음별 공명 진동수(F1, F2) 차트	8
그림 12. 선행연구-국어 모음 음상과 유연성	9
그림 13. 선행연구-부바 키키 효과 실험	10
그림 14. 선행연구-크기 및 모양 척도	10
그림 15. 추를 물에 떨어뜨리는 실험 장면	14
그림 16. 풍당 소리의 시간에 따른 진폭 그래프	14
그림 17. 추가 수면에 부딪힐 때의 모습	15
그림 18. 풍 소리의 Source	15
그림 19. [2]에서 풍 소리가 나는 과정	15
그림 20. Praat 프로그램으로 측정한 풍 소리의 Pitch(파란색 선)	16
그림 21. 풍 소리의 Source와 Filter를 나타낸 그림	16
그림 22. 물줄기가 내려가며 다시 한번 수면파가 만들어지고 ‘당’소리가 나는 모습	17
그림 23. 풍 부분과 당 부분의 envelope 비교	17
그림 24. 프와 드를 발음할 때의 envelope 비교	17
그림 25. ‘풍당-풍당’ 표현 대상의 모습	17
그림 26. 풍당 자연소리에서 ‘풍’ 부분을 주파수 분석한 것	18
그림 27. 풍당 자연소리에서 ‘풍’ 부분을 주파수 분석한 것	18
그림 28. 의성어에서 소리의 진동수와 모음의 공명 진동수 사이에 양의 상관관계가 있음을 나타낸 모식도	18
그림 30. 의태어에서 움직임의 진동수와 모음의 공명 진동수 사이에 양의 상관관계가 있음을 나타낸 모식도	21
그림 33. 온도에 따른 용수철 상수(좌)와 고유진동수(우)	23
그림 37. 모음 인지 실험 설계 및 Praat를 이용한 인공 모음 발생	26
그림 38. 우리가 개발한 모음 인지 포먼트 차트	27

1. 탐구 동기

우리말 음성상징어(의성어, 의태어)에는 **큰말-작은말**이라는 개념이 있다. 단어의 실질적인 뜻은 같지만, 표현상 크고, 어둡고, 무거운 느낌을 주는 말을 큰말이라고 하고 작고, 밝고, 가벼운 느낌을 주는 말을 작은말이라고 한다. 또한 ‘퐁당-퐁당’, ‘깡충-깡충’, ‘쿵쿵-쿵쿵’ 등 모음 교체를 활용한 음성상징어에서 작은말은 양성모음(아, 오)으로, 큰말은 음성모음(어, 우)으로 표현되어 있다. 모음의 사용에 따라 큰말-작은말이 느낌 차이가 나는 것이 신기하기도 했고 왜 큰말은 음성모음으로, 작은말은 양성모음으로 표현되어 있는지 궁금증이 생겼다.

우선 우리가 말을 할 때 모음이 어떻게 만들어지고 인식되는지 알아보았다. 그 결과, 모음의 발성과 인식은 성도에서 만들어진 진동이 성도를 거쳐 공명하면서 발생하는 공명 진동수(포먼트)의 차이로 이루어진다는 것을 알게 되었다. 또한, 양성 모음의 공명 진동수가 음성 모음의 공명 진동수보다 높다는 것을 알게 되었다. 그런데 곰곰이 생각해보니 ‘쿵쿵-쿵쿵’이라는 의성어가 나타내는 표현 대상에서 ‘쿵쿵’이 ‘쿵쿵’보다 더 진동수가 높은 소리이고, ‘깡충-깡충’과 같은 의태어가 나타내는 표현 대상에서도 뛰는 주기를 생각했을 때 ‘깡충’이 ‘깡충’보다 진동수가 높다. 즉, 공명 진동수(포먼트)가 더 높은 양성모음으로 진동수가 더 높은 표현 대상을, 공명 진동수(포먼트)가 더 낮은 음성모음으로 진동수가 낮은 표현 대상을 표현하고 있다는 것을 발견하였다. 따라서 “기존에는 단순히 큰말-작은말을 표현상의 느낌 차이로 나뉜다고 설명하였는데, 이를 진동수라는 물리적 개념을 적용하여 설명할 수 있지 않을까?”라는 궁금증이 들어 탐구를 시작하게 되었다.

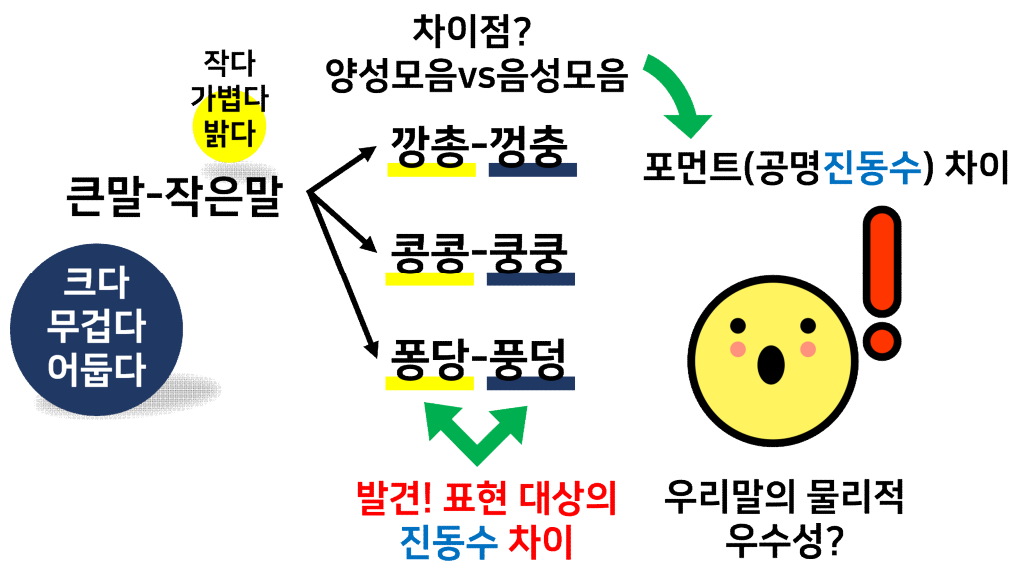


그림 1. 탐구 동기 모식도

2. 탐구 목적

본 탐구에서는 큰말-작은말에서 모음의 공명 진동수(포먼트)와 표현 대상의 진동수 간의 상관관계가 있는지 알아보고자 한다. 우선 모음 교체를 활용한 의성어에서 표현 대상의 소리 차이가 나는 물리적인 원인이 무엇인지 알아본 다음, 대상의 진동수가 모음의 공명 진동수와 관계가 있는지 알아볼 것이다. 표현 대상의 소리를 언어로 표현한 의성어뿐만 아니라 대상의 움직임을 표현한 의태어에 대해서도 주기의 역수인 진동수가 모음의 공명 진동수와 관계가 있는지 알아보고자 한다. 다음으로 모음 교체를 활용한 의성어, 의태어가 아니라 물질의 상태나 형태를 나타내는 형용사도 고유진동수의 영향을 주는 요인(질량, 탄성, 온도, 습도)이 모음의 공명 진동수와 관련이 있는지 알아볼 것이다. 본 탐구를 통해 큰말-작은말이 물리적으로도 타당함을 밝힌다면 우리말, 우리글의 객관적 우수성을 보일 수 있을 것이다.

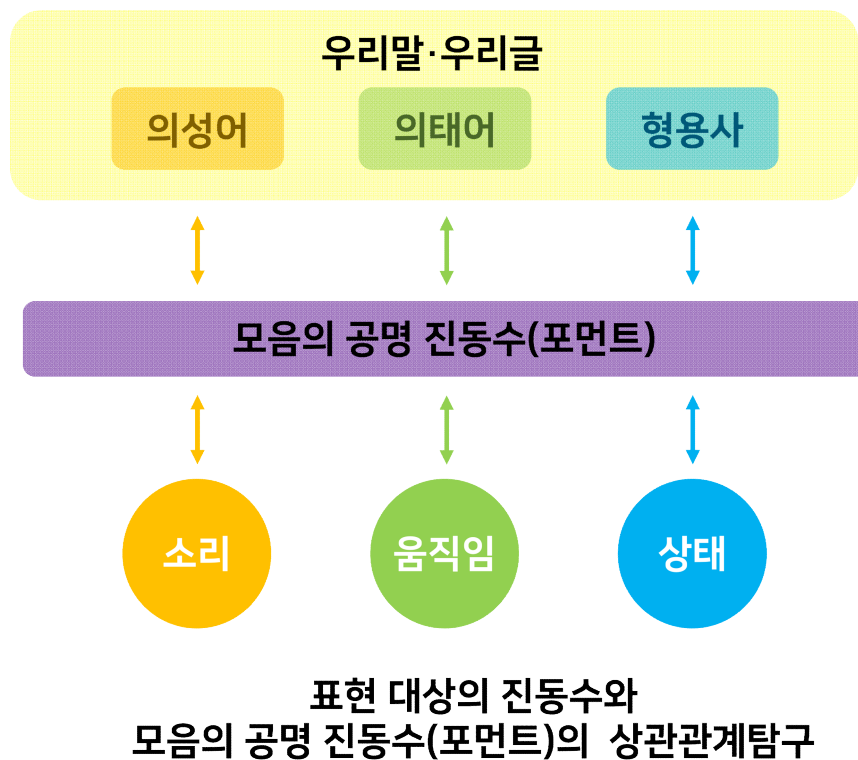


그림 2. 탐구 목적 모식도

II

탐구 개요

1. 탐구 절차

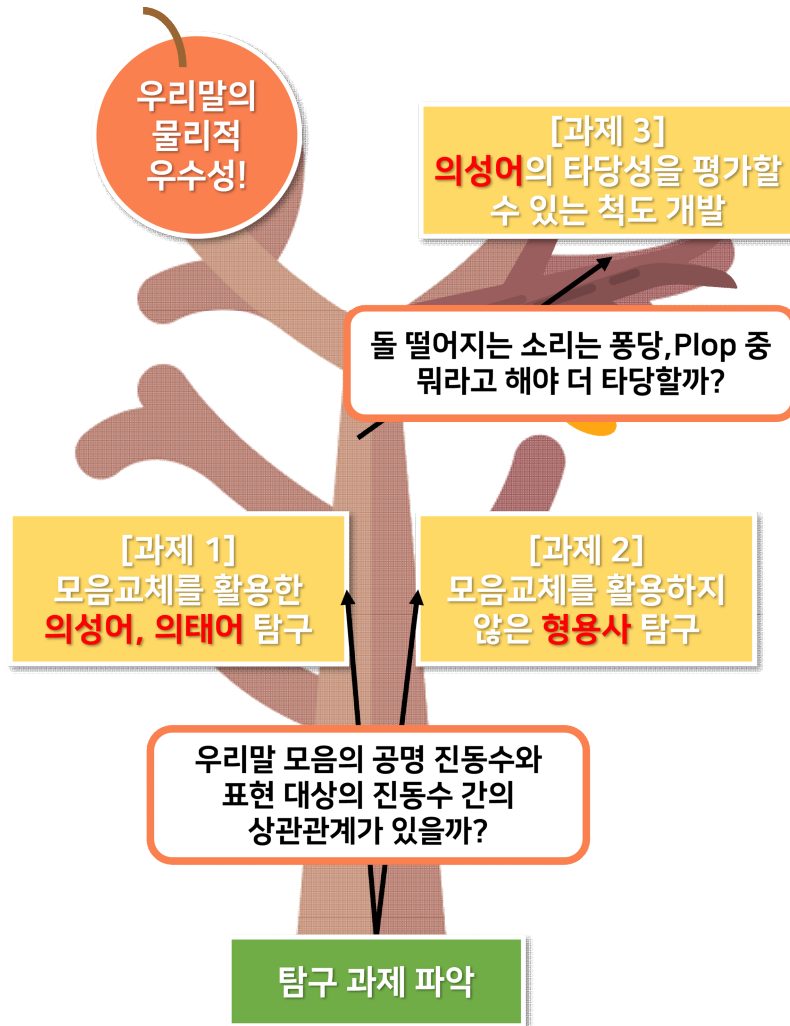


그림 3. 탐구 절차 모식도

2. 탐구 기간

표 1. 탐구 기간

연구내용	추진 시기(월)														
	4월			5월			6월			7월			8월		
	초	중	말	초	중	말	초	중	말	초	중	말	초	중	말
탐구 주제 선정	▶	▶									▶	▶	▶		
선행연구 조사 및 분석		▶	▶	▶	▶							▶	▶	▶	
이론적 배경 파악	▶	▶	▶	▶											
탐구설계			▶	▶	▶	▶	▶		▶	▶	▶	▶	▶	▶	
탐구 수행					▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶
결과 정리 및 보고서 작성						▶	▶	▶				▶	▶	▶	▶

III

이론적 배경 및 선행연구 조사

1. 이론적 배경

<음향 음성학 용어정리>

기호	명명	뜻
f0	기본 진동수, 피치(Pitch)	소리의 3요소 중 음높이에 해당하는 물리량
-	배음(harmonics)	기본 진동수의 정수배가 되는 성분
F1	제1 포먼트(Formant)	성도를 거치면서 공명 되는 진동수 중 가장 낮은 것
F2	제2 포먼트(Formant)	성도를 거치면서 공명 되는 진동수 중 2번째로 낮은 것

가. 음향 음성학(Acoustic phonetics)

1) 음원-여과기(Source-Filter) 이론

모음의 발생과 인식은 음원-여과기 이론으로 설명할 수 있다. 음원-여과기 이론이란, 성대에서 만들어진 진동(Source)이 성도(목구멍, 구강, 비강 등으로 만들어진 통로)를 거치면서 주파수에 따라 공명함(Filter)으로써 음성이 만들어진다는 이론이다.

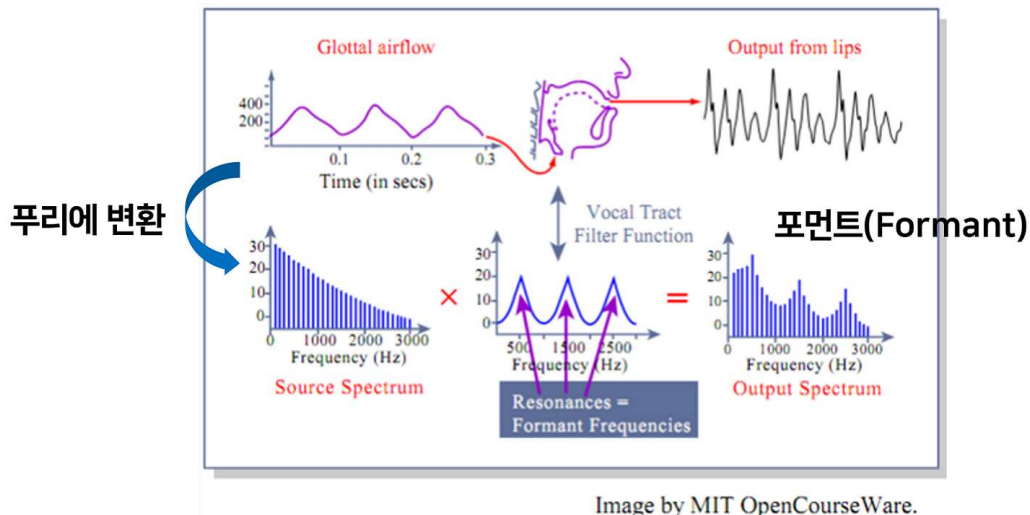


그림 4. 음원-여과기 이론

가) 성대 원음

그림 4에서 Glottal Airflow가 성대에서 나오는 소리이다. 성대 원음은 톱니파로, 이를 푸리에 변환하면 Source Spectrum이 된다. Source Spectrum에서 진동수가 가장 작은 정현파를 기본음이라고 하며, 이때의 진동수를 기본 진동수(fundamental frequency)라고 하고, f0로 나타낸다. 또한, 기본 진동수는 소리의 3요소에서 음높이(pitch)에 해당한다. 성대 원음은 기본주파수의 정수배가 되는 성분을 지니는데, 이를 배음(harmonics)이라고 한다. 성대는 폐로부터 나오는 공기의 흐름을 막았다 열었다 반복함으로써 톱니파를 만드는데, 톱니파는 푸리에 변환을 했을 때 풍부하면서도 고른 배음을 가지고 있는 파이다. 따라서 성도의 공명에 의해 특정 진동수 영역이 증폭되거나 감소 되어 발음이 만들어지기에 가장 유리한다.

나) 성도의 공명(Resonance)

그림 4에서 성도의 공명을 나타낸 것이 Filter Function이고, 성대 원음이 이 필터를 지나게 되면 음성이 된다.

다) 모음의 공명 진동수(포먼트, Formant)

성대 원음에서 성도를 지나며 소리가 공명 되는데, **공명 되어 나타나는 특정 주파수 영역대를 포먼트**라고 한다. 진동수가 낮은 것부터 제1 공명 진동수(F1), 제2 공명 진동수 (F2) 등으로 부르며 F1과 F2만으로도 단순한 모음의 구별은 가능하다.

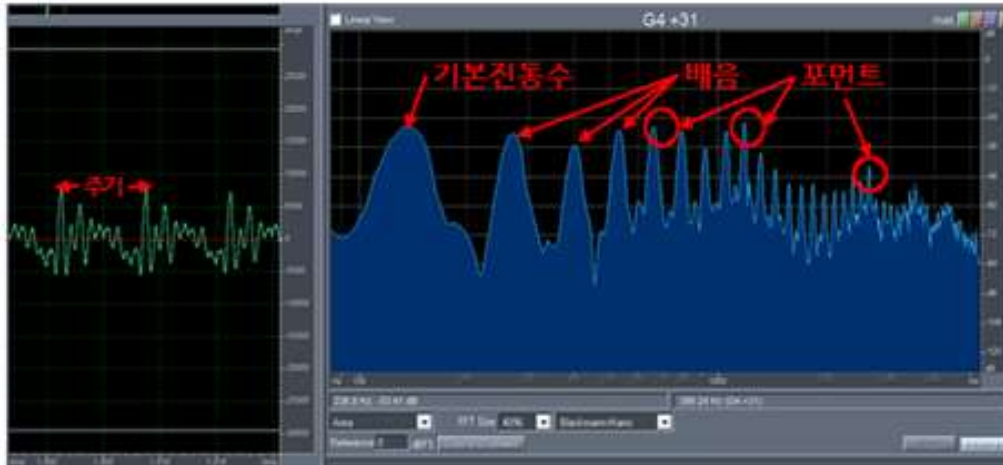


그림 5. Cool Edit Pro ‘아’ 목소리 주파수 분석 화면

2) 성도의 공명 이론

성도를 단면적이 일정한 공기 기둥으로 보았을 때, 성도의 공명은 기본적인 기주 공명 이론을 기반으로 한다. 특히 성대 쪽은 닫힌 관, 입술 쪽은 열린 관으로 취급하여 한쪽이 닫힌 관으로 설명한다. 여기에 헬름홀츠 공명, Perturbation 이론 등으로 다양한 공명의 변화를 설명할 수 있다.

가) 기주 공명 이론

기주 공명이란 어떤 공기 기둥, 즉 관 내에서의 공명을 말한다. 공기관의 양쪽 끝에서 마디와 배에 대한 경계조건을 알아내면 진동의 고유모드를 구할 수 있다. 공기관의 길이가 진동 고유모드의 파장에 몇 배인지 알아낼 수 있기 때문이다. 아래 그림은 한쪽 끝이 열린 관에서의 진동 고유모드이다.

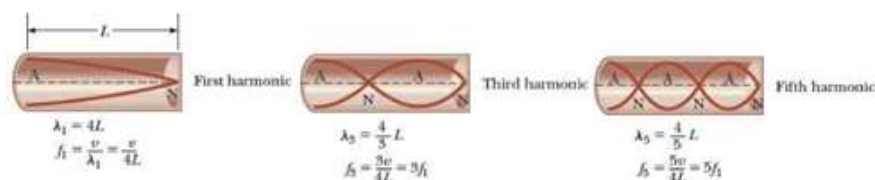


그림 6. 한쪽 끝이 열린 관에서의 기주 공명

한쪽 끝이 닫힌 관에서는 첫 번째 조화 모드 진동수의 홀수 배만을 포함하는 조화 모드를 가진다. 진동의 고유진동수는 $f_n = n \frac{v}{4L}$, $n = 2k - 1 (k \in \mathbb{N})$ 가 된다.

나) 헬름홀츠 공명 이론

헬름홀츠 공명이란, 아래 그림과 같이 크고 불규칙적인 체적에 짧은 목을 지닌 공동에서의 공명을 말한다.

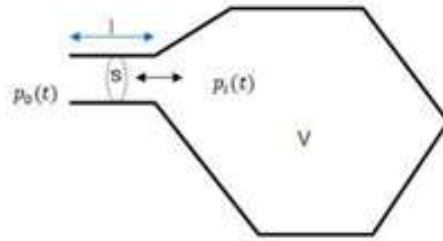


그림 7. 헬름홀츠 공명기

위 그림은 단면적 S , 길이 l , 체적이 V 인 헬름홀츠 공명기이다. 이 헬름홀츠 공명기의 고유주파수는 $f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{lV}}$ 라는 공식으로 구할 수 있다. 또한 다음 그림 8을 보면, 인두와 구강을 포함하는 성도 부분을 두 개의 헬름홀츠 공명기가 연결된 것으로 생각할 수 있다. 보통 F1은 인두 부분의 헬름홀츠 공명에 의해, F2는 구강 부분의 헬름홀츠 공명에 의해 만들어진다.

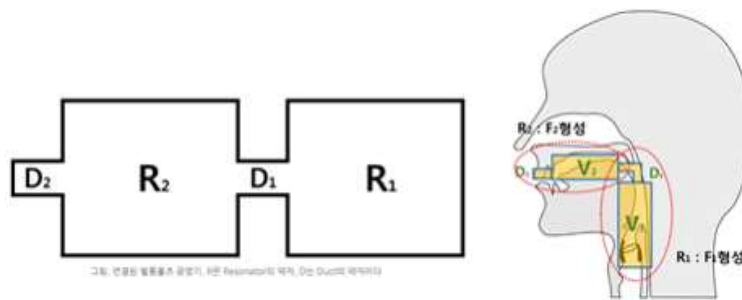


그림 8. 성도에서의 헬름홀츠 공명을 나타낸 모식도

3) FFT(Fast Fourier Transform)

복합파를 정현파들의 합으로 나타내는 것을 푸리에 변환이라고 한다. 또한, 컴퓨터 프로그램을 이용해 시간 영역에서 주파수 영역으로 빠르게 변환하는 것을 FFT(Fast Fourier Transform)라고 하며 흔히 주파수 분석이라고 한다. 아래 그림 9의 (a)파가 (b), (c), (d), (e)의 정현파의 합이라면 푸리에 변환을 통해 (f)와 같은 주파수 영역에 나타낼 수 있다. 이를 스펙트럼이라고도 한다. 시간 영역에서 파형이라고 부르는 복잡한 파의 모양이 주파수 영역에서는 더 단순하게 나타나는 경우가 많다.

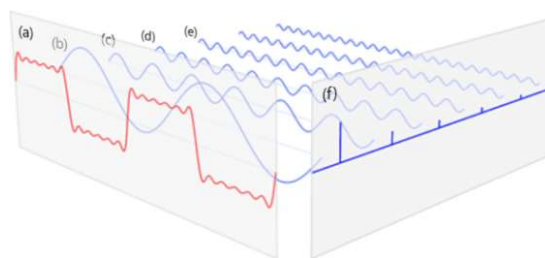


그림 9. 푸리에 변환 결과를 나타낸 모식도

나. 국어 음성학(Korean phonetics)

1) 모음의 정의

모음이란 성대의 진동을 받은 소리가 목, 입, 코를 거쳐 나오면서 그 통로가 좁아지거나 완전히 막히는 등 장애를 받지 않고 나는 소리를 의미한다. 모음은 단모음과 이중모음으로 구분되는데, 소리를 낼 때 중간에 입술이나 혀의 모양이 바뀌지 않는 모음을 단모음, 중간에 바뀌는 모음을 이중모음이라고 한다. 단모음의 공명 진동수(포먼트)는 발음할 때 변하지 않지만, 이중모음은 변한다. 발음할 때 모음의 공명 진동수가 변하지 않아야 자음의 영향 없이 모음만의 영향을 볼 수 있으므로 단모음이 중요하다. 또한, 단모음(아, 에, 어, 애, 오, 외, 우, 위, 으, 이) 중에서 외와 위는 이중모음으로 발음하기도 해서 우리 탐구에서는 단모음에 포함하지 않았다. 따라서 우리 탐구에서는 단모음을 8가지(아, 어, 애, 에, 오, 우, 으, 이)로 제한하였다.

2) 모음 삼각도

모음 삼각도란 기본 모음의 발음 위치를 표시한 그림이다. 아래 그림 10을 보면 모음의 발음 위치는 입의 개방 정도, 혀의 앞뒤 위치, 혀의 높낮이로 결정되는 것을 알 수 있다.

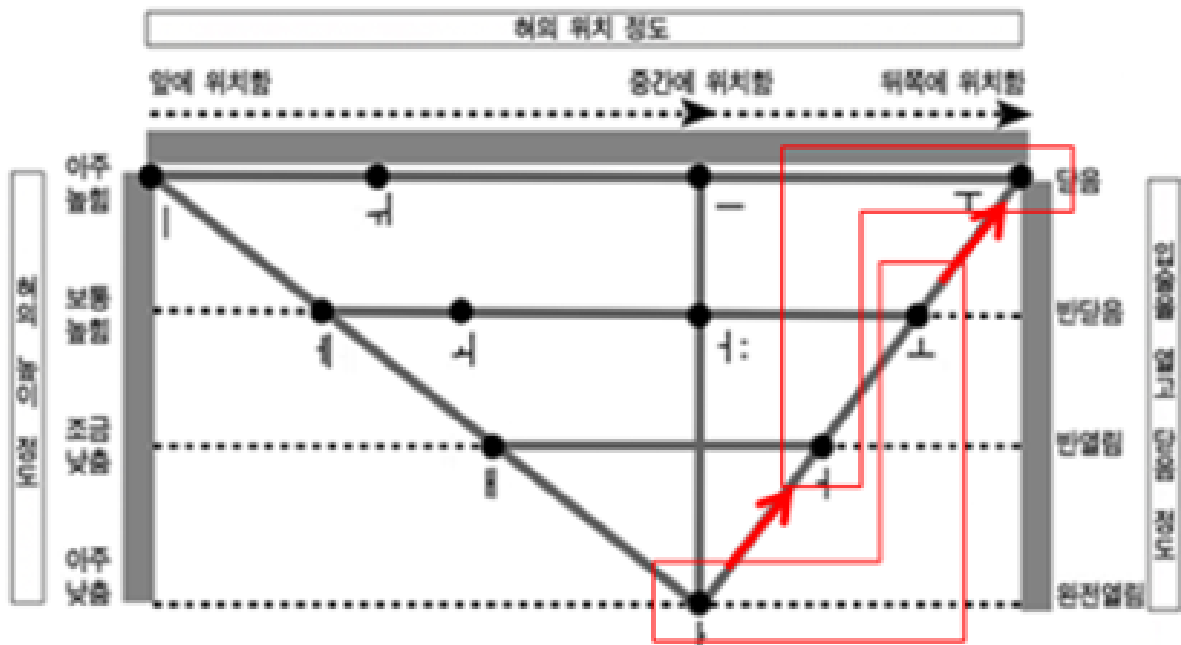


그림 10. 우리말 모음 삼각도

3) 모음의 공명 진동수(포먼트) 차트

우리말 모음 발성의 공명 진동수(포먼트) 차트는 그림 11과 같다. 차트를 보면 그림 10의 우리말 모음 삼각도와 거의 일치함을 볼 수 있다. 모음 발성의 공명 진동수(포먼트) 차트는 나이, 성별, 나라별로 조금씩 다 다르다. 아래 그림은 30대 남자 아나운서에 대한 모음 발성 공명 진동수(포먼트) 차트이다.

제2 공명 진동수(포먼트)

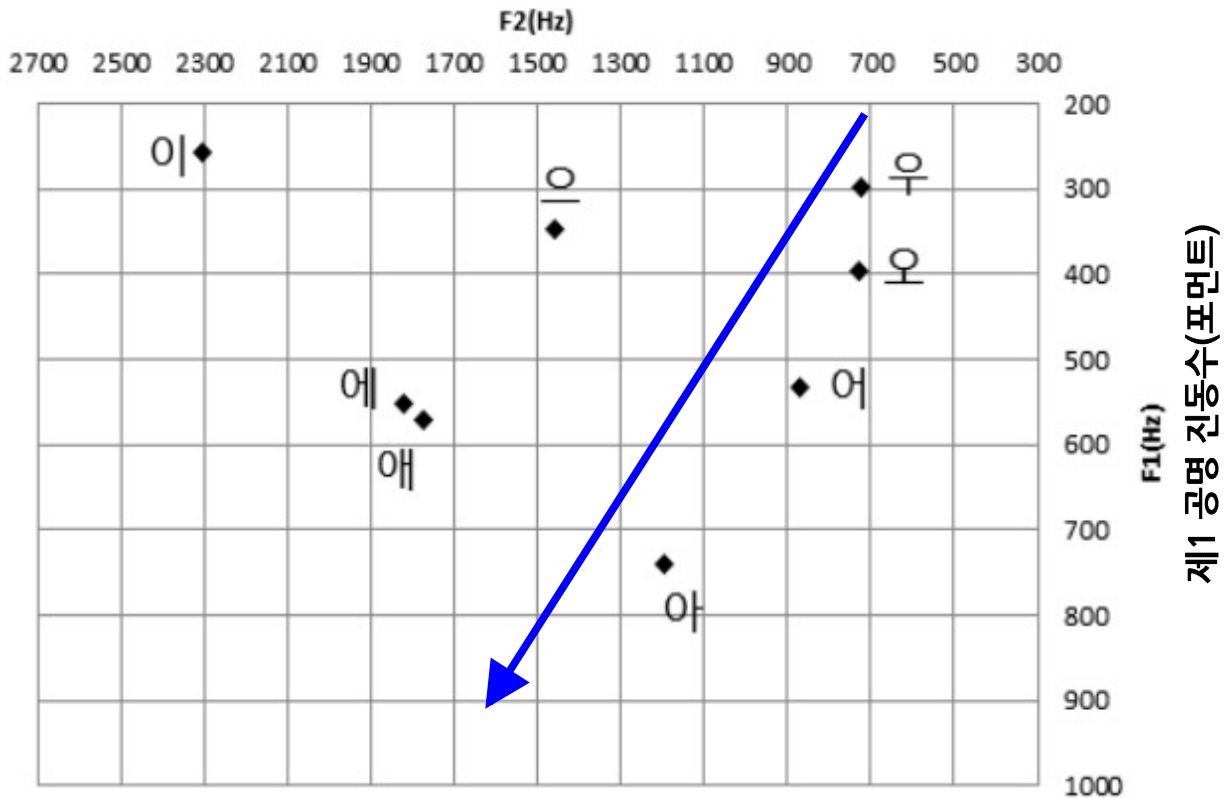


그림 11. 모음별 공명 진동수(F1, F2) 차트

우리는 모음 발성의 공명 진동수(포먼트) 차트에서 ‘우, 오, 어, 아’의 제1 공명 진동수(F1)와 제2 공명 진동수(F2)가 양의 상관 관계를 갖는 선형적 관계임을 발견하였다.

모음별로 제1 공명 진동수와 제 2 공명 진동수의 값을 정리하면 다음과 같다.

표 2. 모음별 공명 진동수 데이터(Hz)

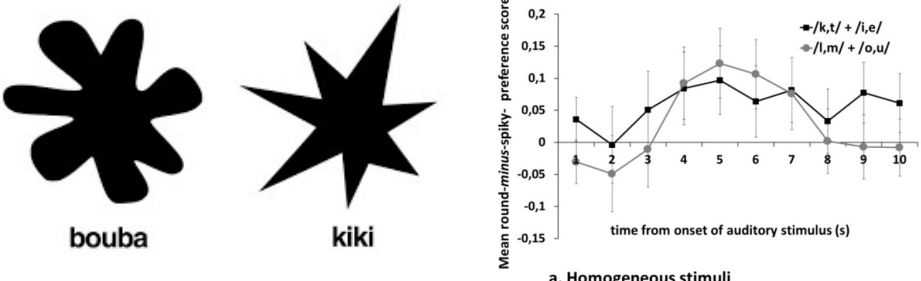
공명 진동수 (포먼트) (Hz)	단모음							
	ㅣ	ㅏ	ㅑ	ㅡ	ㅣ	ㅓ	ㅕ	ㅗ
F1	258	572	552	346	533	739	297	396
F2	2302	1773	1821	1458	868	1195	723	729

4) 모음 조화

모음 조화란 특정 부류의 모음끼리 단어 내에서 같이 나타나는 현상이다. 한국어에서는 양성 모음은 양성 모음끼리, 음성 모음은 음성 모음끼리 쓰이는 모음 조화가 나타난다. 양성 모음이란 어감이 밝고 산뜻한 모음으로 ‘ㅓ’, ‘ㅗ’ 등이 있고 음성 모음이란 어감이 어둡고 큰 모음으로 ‘ㅕ’, ‘ㅑ’ 등이 있다. ex) 풍당풍당(양성 모음)-풍덩풍덩(음성 모음)

나. 음성상징론

1. Looking for the bouba-kiki effect in prelexical infants

내용	 a. Homogeneous stimuli 그림 13. 선행연구-부바 키키 효과 실험 음성상징론의 대표적 사례인 부바-키키 효과(Bouba-Kiki Effect)를 소개하고, 5~6개월 된 영아를 대상으로 부바-키키 효과가 나타나는지 실험을 진행하였다. 그 결과 부바-키키 효과는 나타나지 않았으나 연구진은 성공한 다른 실험의 사례를 들어 실험을 수정할 경우 이를 관찰할 가능성이 있음을 주장하였다.
의의	학습에 의한 효과나 문화적 요인에 의한 효과를 배제하고 표현 대상의 특성이 언어에 반영되는 현상을 연구했다는 점에서 우리 연구와 비슷한 점이 있으나 영아의 인지능력 발달 등 고려해야 할 다른 변수들이 많다는 점에서 정확한 실험이라고 보기 어렵다.

2. Klemens Knoeferle, Jixing Li, Emanuela Maggioni & Charles Spence.(2016). What drives sound symbolism? Different acoustic cues underliesound -size and sound-shapemappings

내용	 그림 14. 선행연구-크기 및 모양 척도 말소리와 표현 대상 사이의 상관관계를 밝히기 위한 인지실험을 진행하였다. 피실험자들에게 단어가 아닌 발음들을 들려주고 크기 및 모양 척도를 결정하도록 하는 실험을 진행한 결과 모음의 F1이 높고 F2가 낮은 발음일수록 크기가 큰 물체와, 모음의 F2가 높은 발음일수록 작진 물체와 대응시키는 것으로 나타났다.
의의	모음의 포먼트와 물체의 성질 사이에 상관관계가 있음을 파악하였다. 그러나 시각적 형태만을 기준으로 삼았다는 점에서 대상의 움직임 등 다양한 성질을 표현하는 의미에서 일반적으로 상관관계가 나타나는 것으로 보기 어렵다는 한계점을 가진다.

3. Damián E. Blasia, Søren Wichmann, Harald Hammarström, Peter F. Stadler, and Morten H. Christiansen. (2016). Sound-meaning association biases evidenced across thousands of languages

내용	전 세계 6,000여 언어들을 분석하여 100개의 기본 어휘가 각 언어에서 서로 유사한 소리들로 표현되는 것을 발견, 특정 기본 어휘에 자주 등장하는 음운과 그렇지 않은 음운들을 각각 Positive symbol과 Negative symbol로 나누어 분석하여 음운과 단어의 의미 사이의 편향이 언어 계통에 걸쳐 나타나는 것을 밝혔다. 이후 통계적 방법을 활용하여 편향이 전 세계의 여러 언어 그룹에 공통적으로 나타난다는 것을 밝혔다. 또한 이러한 현상이 인류의 보편적인 요인 때문이라는 가설을 주장하였다.
의의	문화인류학적 및 비교언어학적으로 말소리와 의미 사이의 상관관계가 존재하며 그것은 어느 한 언어나 문화권에만 나타나는 요소가 아님을 보였다. 그러나 해당 음운들의 어떤 요소가 기본 어휘 형성에 영향을 미쳤는지에 대한 내용을 설명하지 못하였으며 통계적 방법을 활용해 현상을 확인하는 데에 그쳤다.

4. Saji N 외. (2019). Cross-linguistically shared and language-specific sound symbolism in novel words elicited by locomotion videos in Japanese and English.

내용	일본어 사용자와 영어 사용자에게 특정한 동작이 나타나는 영상을 보여주고 그 동작을 표현하는 의태어를 만들라고 지시하였다. 이후 사용자들이 만든 의태어와 영상에 나타난 동작의 요소(큼-작음, 느림-빠름, 무거움-가벼움 등)을 분석하여 두 언어에서 각각 나타나는 의미-소리 상관관계를 파악하였다.
의의	실험 결과를 통해 표현 대상의 동작 특성과 대상을 표현한 말 사이에 상관관계가 있다는 것을 알 수 있었고, 물체의 형태와 움직임을 나타내는 의태어에서 그러한 상관관계가 나타나는 것을 생각할 수 있었다. 일본어와 영어, 두 언어에서 나타나는 의미-소리 상관관계가 일치하지 않는다는 점에서 모든 언어들이 같은 형태의 상징성을 가지는 것은 아니라는 사실을 유추할 수 있다.

5. 김희섭. (2005). 한일 음성상징어의 비교 연구

내용	한국어와 일본어 음성상징어에서 모음의 변화와 의미 변화의 관계를 살펴보았다. 모음에 따라 달라지는 느낌을 Aug(큰, 넓은, 무거운 등), Dim(작은, 좁은, 가벼운 등)으로 나누고 각 모음의 자질과 공명도를 기준으로 모음이 달라질 때 Aug, Dim의 정도를 파악하였다. 한-일 음성상징어를 분석한 결과 한국어는 모음 교체와 의미 변화가 비교적 규칙적으로 대응하고 Aug와 Dim의 구별도 쉬운 것으로 드러났다. 상대적으로 일본어는 이러한 대응이 규칙적이지 않으며 자의성이 강한 것으로 분석하였다.
----	--

의 의	한국어 음성상징어 연구의 흐름을 체계적으로 정리하였고 모음 교체에서 발생하는 의미 정도의 변화를 한국어뿐 아니라 외국어의 사례까지 확장하여 설명하였다. 그러나 모음을 세 개의 군으로 분류하는 과정에서 사용된 척도인 ‘자질’이 충분히 정량적으로 모음의 음향적 특성을 설명하지 못하고, 공명도의 개념도 물리학적으로 명확하지 못하다고 할 수 있다.
--------	---

6. 김재원. (2010). 영어의 의성/의태어에 대한 음성상징 연구

내 용	전통적인 언어의 구성 단위인 음소와 형태소 사이에 음미소라는 중간 단계가 존재하고 그 음미소들이 음성 상징을 갖는다는 가설을 세우고 영어의 의성/의태어에 담긴 음미소들을 분석하여 각 음미소들의 상징성을 살펴보았다. 그러나 저자는 음미소의 상징성이 함축적, 연상적이기 때문에 개인의 주관성이나 사회 문화적 요인이 개입할 수 있다고 언급하였으며 언어의 역사성으로 인해 현재의 언어 상태만을 분석하여 상징성을 명확히 하기에는 무리가 있다고 판단하였다.
의 의	영어 음성상징어에는 우리나라의 음성상징어에서 나타나는 모음 교체에 따른 느낌의 차이가 거의 나타나지 않고, 느낌의 차이가 나는 단어 쌍도 주로 장모음/단모음과 같은 모음의 길이를 활용해 그러한 느낌을 나타내는 경향을 보였다. 이는 선행연구 5와 함께 우리나라와 같이 모음 교체를 활용해 느낌 차이를 표현하는 언어가 매우 드물다는 주장의 근거가 된다. 또한 이를 통해 선행연구 4에서 언어마다 상징성을 나타내는 형태가 다를 수 있을 것이라는 추측도 타당함을 알 수 있었다.

다. 기타 분야

1. 제65회 전국과학전람회. (2019). 돌을 물에 던질 때 ‘퐁’과 ‘당’소리는 어떻게 다를까?

내 용	물방울과 돌이 물에 떨어질 때 ‘퐁당’ 소리가 발생하는 메커니즘을 밝히기 위해 초고속 영상 촬영과 주파수 분석을 이용한 연구를 진행하였다. 초고속 영상을 통해 소리가 발생할 때 수면의 형태가 어떻게 변화하는지 관찰하였고, 음성 분석 프로그램을 이용하여 소리의 특성을 분석했다. 이후 물방울의 크기나 낙하 높이, 돌의 형태에 따라 소리가 달라지는 경향을 파악하였다.
의 의	초고속 영상 촬영으로 ‘퐁당’ 소리가 발생하는 메커니즘을 밝히고자 한 점은 유사하나, 밝혀낸 소리의 발생 메커니즘의 차이는 크다. 이 연구에서는 물방울이나 돌이 물속으로 들어간 후 물이 높이 솟아오를 때의 소리를 ‘퐁’, 다시 내려간 후 기포들의 소리가 ‘당’이라고 말했으나 우리 연구에서는 다른 메커니즘으로 설명하였다. 또한 음성 분석 과정에서 FFT를 활용하였으나 퐁당 소리를 단순히 음높이(Pitch)로만 설명하는 등 그 의미에 대해서는 이해하지 못한 것으로 보여진다.

2. 제63회 전국과학전람회. (2017). 톱니파와 이퀄라이저 및 공명관을 이용한 우리말 모음 발성

내용	소스 필터 이론, 포먼트 등 음향 음성학 이론과 기주 공명, 헬름홀츠 공명 등 공명 이론, 음운론의 내용을 소개하고 이를 종합하여 포먼트로 모음이 구별됨을 설명하였다. 이후 성도 모형과 발성 모형을 제작하여 톱니파를 재생하고, 그 구조를 변화시키면 실제 모음의 소리가 들리는 것을 주파수 분석으로 확인하였다.
의의	음향 음성학, 국어 음운론, 발성 이론 등 서로 다른 분야의 내용을 종합하여 모음의 발성에 대해 설명하였고, 실제 발성 모형을 제작하여 모음을 생성하는 실험을 진행하였다. 음성 연구 분야의 사전 지식을 습득하는 데에 도움이 되었고 우리 탐구에서 모음 발음 시 FFT spectrogram에서 나타나는 극대점들이 시사하는 바(포먼트)를 해석할 때 이 연구의 방법론을 참고하였다. 그러나 연구의 주제가 단지 모음을 생성하는 것에 그쳤기 때문에 우리 연구와 차이점을 가진다.

3. Yulia Oganian, Ilna Bhaya-Grossman, Keith Johnson, Edward F. Chang. (2023). Vowel and formant representation in the human auditory speech cortex

내용	인간의 뇌가 음성 인식 과정에서 모음을 어떻게 처리하는지 알아보기 위해 언어 피질의 신경 활동을 조사하였다. 뇌에 전극을 이식 받은 뇌 질환 환자와 스페인어 원어민에게 스페인어 문장을 들려주며 고밀도 두개내 기록을 진행하여 뇌의 특정 지역이 모음에 어떻게 반응하는지 분석하였다.
의의	이전까지 많은 모음 연구들이 화자의 발화에 초점을 맞추어 진행된 것에 비해 이 연구에서는 청자가 모음을 어떤 메커니즘으로 인식하고 식별하는지에 초점을 맞추었다. 이는 우리 연구에서 인지 실험을 연구 방법론으로 채택하는 데에 영향을 주었다.

IV 탐구 내용

1. 줄기 탐구(의성어, 의태어)-왜 작은 돌은 풍당, 큰 돌은 풍덩일까?

가. 돌멩이가 물에 떨어질 때 나는 소리의 메커니즘 탐구

‘왜 작은 돌을 물에 던질 때는 풍당, 큰 돌은 풍덩일까?’ 라는 질문, 즉 ‘풍당과 풍덩에서 모음 오, 아가 우, 어로 교체되는 것처럼 모음 교체를 활용한 의성어에서 발음할 때의 공명 진동수(포먼트)와 표현 대상의 진동수가 상관관계가 있을까?’ 라는 질문에 대한 답을 알아보기에 앞서, 돌멩이가 물에 떨어질 때 어떠한 물리적 메커니즘으로 소리가 나는지 알아보았다.

우선 돌 대신 추를 물에 떨어뜨려 추가 수면을 뚫고 들어가는 상황을 그림 15처럼 녹음, 녹화하였다.



그림 15. 추를 물에 떨어뜨리는 실험 장면

녹음된 소리와 녹화된 영상의 싱크를 맞추어 풍당 소리가 나는 메커니즘을 분석해보았다. 다음 그림은 풍당 소리의 시간에 따른 진폭 그래프이다.

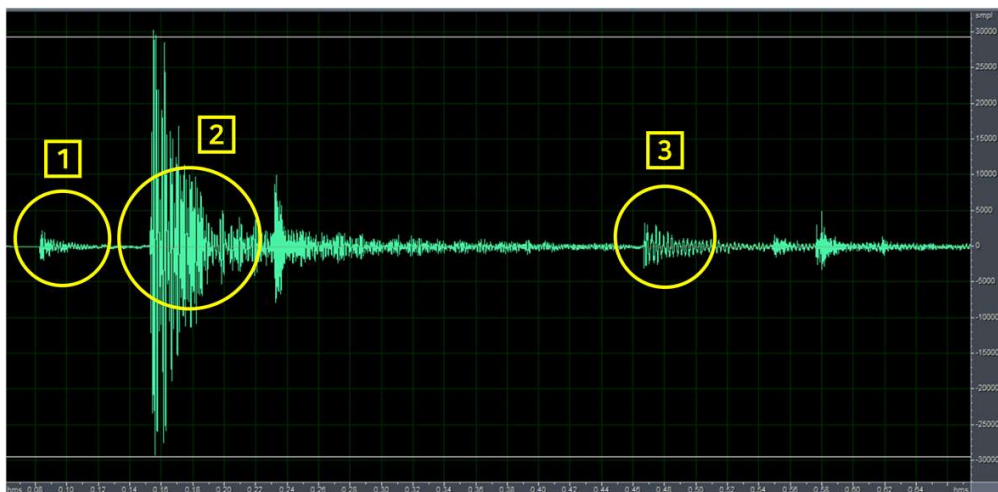


그림 16. 풍당 소리의 시간에 따른 진폭 그래프

그림 16에서 [1]의 경우 그림 17과 같이 추가 처음으로 수면에 부딪히면서 나는 소리로 이해할 수 있었다. 그러나 이 소리는 풍 소리보다는 작은 톱 소리로 들렸고, 그림 16의 [2]부터 소리를 재생해도 풍당 소리가 들렸기 때문에 추가 수면에 부딪힐 때 나는 소리는 풍당 소리와 관련이 없다고 판단하였다.

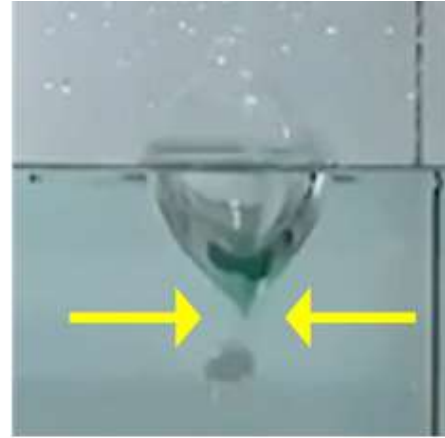


그림 17. 추가 수면에 부딪힐 때의 모습

그림 18. 풍 소리의 Source

그림 16에서 [2]의 경우 그림 18처럼 추가 떨어지면서 만들어진 공간이 찰질 때(모아질 때) ‘풍’ 소리가 나는 것을 알 수 있었다. 이 공간이 찰어질 때의 충격이 풍 소리의 Source라고 판단하였다. 또한 그때 만들어진 원뿔 모양의 공동이 소리를 공명시켜주는 Filter의 역할을 할 것이라고 추론하였다.

그러나 그림 19의 (c)에서 (e)까지 공동이 수면으로 올라가는 데까지 걸린 시간은 0.04초였는데, 그림 16을 살펴보았을 때 처음 풍 소리가 나고 0.04초 이후에도 소리가 계속 들렸다. 따라서 이 공동에 의한 공명뿐만 아니라 다른 공명도 있다는 것을 알 수 있었다.

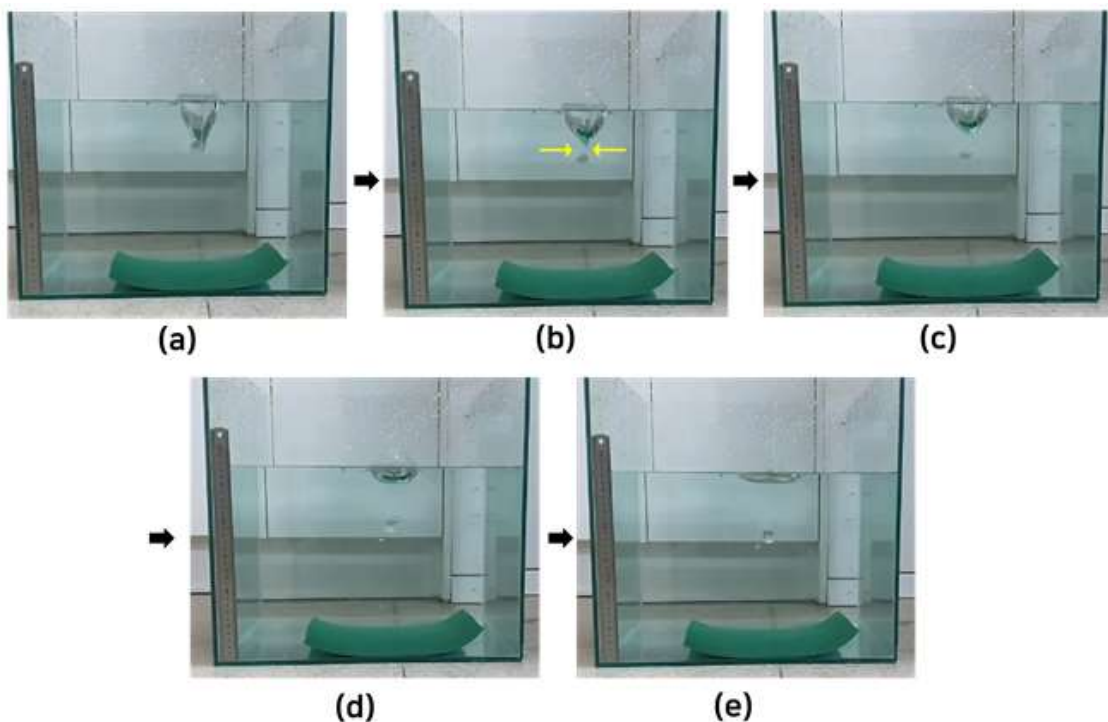


그림 19. [2]에서 풍 소리가 나는 과정

그림 19에서 (d)에서 (e)로 가면서 생긴 수면파에 의해서도 공명 되었다고 추측하였다. 모음은 자음이나 소음과는 다르게 Pitch(음높이)가 들린다는 특징이 있는데, 실제로 수면파가 유지되는 시간 0.04초 동안 풍 소리에서 음높이(Pitch)가 측정되었다.

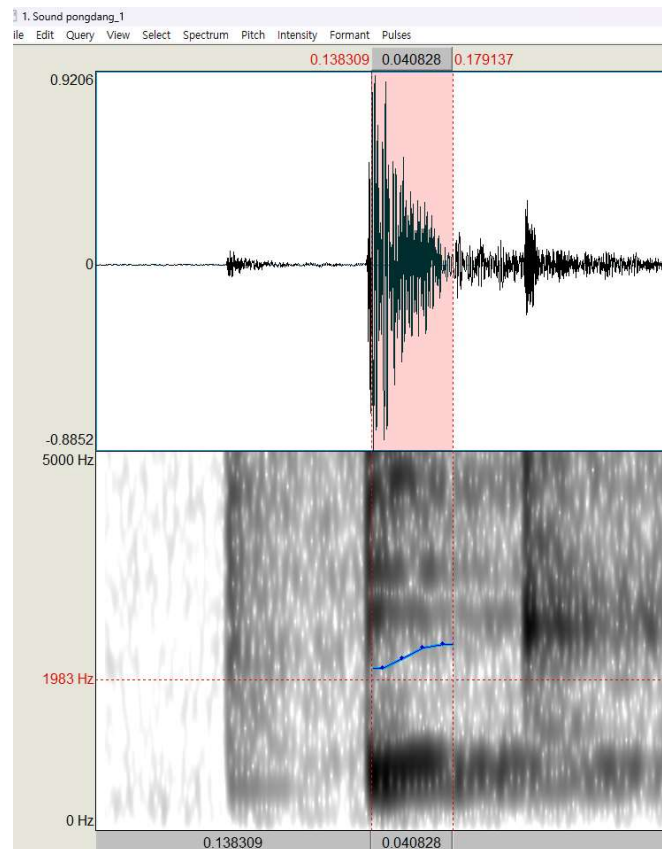


그림 20. Praat 프로그램으로 측정한 풍 소리의 Pitch(파란색 선)

따라서 그림 21과 같이 추가 떨어지면서 만들어진 공간이 끊길 때의 충격을 Source로 하고, 만들어진 공동과 수면파가 Filter의 역할을 하여 풍 소리가 난다고 이해할 수 있었다.

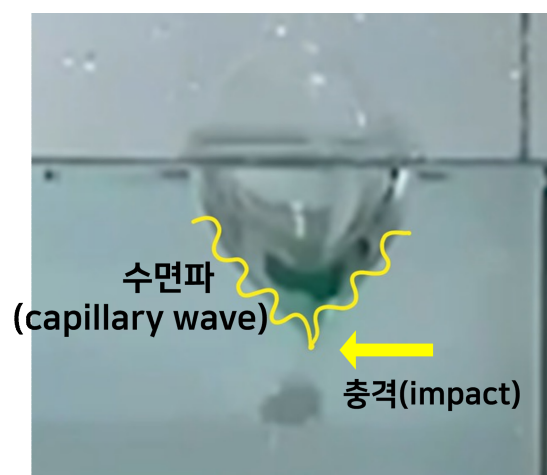


그림 21. 풍 소리의 Source와 Filter를 나타낸 그림

그림 16에서 [3]의 경우에는 그림 22처럼 올라갔던 물줄기가 다시 떨어질 때 공동이 만들어지면서 풍일 때와 같은 메커니즘으로 당 소리가 나는 것을 알 수 있었다.



그림 22. 물줄기가 내려가며 다시 한번 수면파가 만들어지고 ‘당’소리가 나는 모습

진폭이 증가하는 기울기를 envelope라고 하고, 이는 자음끼리 구분할 수 있는 기준 중 하나이다. 그림 16에서 [2], [3]의 초기 부분의 envelope을 비교하였을 때, 그림 23처럼 풍 부분의 ϕ 의 envelope이 당 부분의 ψ 의 envelope보다 높게 측정되었고, 실제로 그림 24처럼 프와 드를 발음할 때의 envelope도 ϕ 이 ψ 보다 크다는 것을 알 수 있었다.



그림 23. 풍 부분과 당 부분의 envelope 비교



그림 24. 프와 드를 발음할 때의 envelope 비교

정리하자면, [2]에서 추가 떨어지면서 만들어진 공간이 꽂힌 뒤, 공동과 수면파에 의해 공명하면서 풍 소리가 나타나고 [3]에서 위로 올라갔던 물줄기가 떨어지며 다시 공동을 만들어서 당 소리가 난다. 이로써 풍당 소리가 나는 물리적 메커니즘에 대해 온전히 파악할 수 있었다.

나. 큰 돌멩이와 작은 돌멩이가 만드는 소리의 차이

그림 25는 왼쪽이 작은 추를, 오른쪽이 큰 추를 떨어뜨렸을 때 모습이다.



그림 25. ‘풍당-풍덩’ 표현 대상의 모습

Cool Edit Pro라는 주파수 분석 프로그램으로 ‘퐁’ 부분과 ‘퐁’ 부분을 주파수 분석해봤을 때, 주파수 영역 그래프가 다음과 같았다.

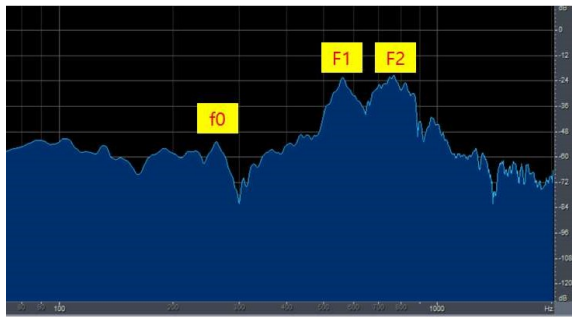


그림 26. 퐁당 자연소리에서 ‘퐁’ 부분을 주파수 분석한 것



그림 27. 퐁딩 자연소리에서 ‘퐁’ 부분을 주파수 분석한 것

표 3. 퐁 소리와 퐁 소리의 주파수 분석 결과

	f0(기본 진동수)	F1(제1공명 진동수)	F2(제2공명 진동수)
퐁	270.3Hz	588.4Hz	769.5Hz
퐁	129.9Hz	312.5Hz	523.9Hz

그림 26, 27과 위의 표 3을 보면, ‘퐁’ 소리의 Pitch(음높이)와 공명 진동수(포먼트) 모두 ‘퐁’ 소리보다 높다는 것을 알 수 있다. 또한, 실제 소리를 들어보아도 큰 추를 떨어뜨렸을 때가 작은 추를 떨어뜨렸을 때보다 더 낮은 소리가 들렸다. 현에서 긴 줄일수록 공명 진동수가 낮아지듯이, 공동에서도 공동의 체적과 면적이 클수록 공명 진동수가 낮아지는 것은 자명하므로, 퐁과 퐁의 진동수 차이는 물리적으로 당연하다는 것을 알 수 있다.

퐁당, 퐁딩 실험을 통해 실제 돌맹이가 물에 떨어지는 소리에서 큰 돌이 작은 돌보다 진동수가 낮다는 것을 알아내었다.

표 4. 모음별 공명 진동수(포먼트) 데이터(Hz)

공명 진동수(Hz)	ㅏ	ㅑ	ㅓ	ㅕ
F1	297	396	533	739
F2	723	729	868	1195

위의 표 4를 보면 모음의 공명 진동수(포먼트) 또한 퐁당의 아, 오가 퐁딩의 어, 우 보다 높다. 따라서 ‘퐁당-퐁딩’ 의성어에서 **소리의 진동수가 모음의 공명 진동수와 양의 상관관계를 가진다는 것을 알 수 있다.**

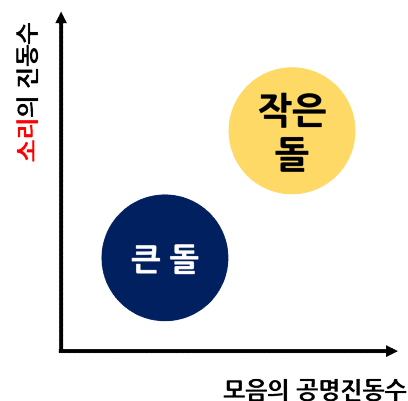


그림 28. 의성어에서 소리의 진동수와 모음의 공명 진동수 사이에 양의 상관관계가 있음을 나타낸 모식도

다. 우리말 의성어 쌍에 대한 물리적 분석

의성어가 표현하는 대상의 Pitch(음높이), 포먼트(공명 진동수)와 의성어 속 모음의 공명 진동수(포먼트) 사이의 양의 상관 관계가 ‘퐁당-퐁당’에서 뿐만 아니라 큰말-작은 말 쌍을 이루는 다른 의성어들에서도 나타나는지 알아보고자 하였다.

앞서 조사한 선행연구들에서 언급된 의성어 중 ‘큰말-작은 말’ 관계를 가지는 의성어 쌍을 추출하였다. 표현 대상의 Pitch([피치]) 혹은 포먼트(공명 진동수)가 어떤 메커니즘으로 변하는지에 대해 사전적 의미를 바탕으로 실제 활용 상황을 상정하여 물리적 분석을 진행하였고, 의성어 발음의 포먼트와 상관관계가 있는지 확인하였다. 분석한 의성어 쌍은 총 33개로 같은 단어가 여러 의미를 가지는 경우에는 다른 단어로 보았다. 아래는 그 일부이다.

단어쌍		물리적 분석
큰 말	작은 말	
똑똑	똑똑	퐁당-퐁당 실험 결과를 통해 물방울이 떨어지는 상황에서 물방울의 크기가 상대적으로 클수록 더 낮은 피치, 포먼트 를 가질 것으로 판단할 수 있다. 큰 물방울의 소리는 모음의 포먼트가 낮은 음성 모음 ɪ를 이용해 ‘똑똑’, 작은 물방울의 소리는 모음의 포먼트가 높은 양성 모음 ɪ를 이용해 ‘똑똑’으로 표현하였다.
쩨렁	쩨랑	10원짜리 동전들과 500원짜리 동전들을 서로 다른 주머니에 넣고 흔드는 상황에서 10원 동전끼리 부딪히는 소리의 피치가 500원 동전끼리 부딪히는 소리보다 높을 것으로 예상 할 수 있다. 500원 주머니의 소리는 모음의 포먼트가 낮은 음성 모음을 이용해 ‘쩨렁’, 10원 주머니의 소리는 모음의 포먼트가 높은 양성 모음을 이용해 ‘쩨랑’으로 표현했다.
철썩	찰썩	두 물체의 면과 면이 만나 부딪히는 소리에서 다른 변수들이 일정한 경우, 상대적으로 넓은 면적이 부딪힐 때의 소리가 낮은 피치 를 가질 것이다. 이때 더 넓은 면적이 부딪히는 소리는 모음의 포먼트가 낮은 음성 모음을 이용해 ‘철썩’, 보다 좁은 면적이 부딪히는 소리는 모음의 포먼트가 높은 양성 모음을 이용해 ‘찰썩’으로 표현했다.
둥둥	둥둥	크기가 다른 두 북을 칠 때 크기가 큰 북의 소리가 작은 북의 소리보다 낮은 피치와 포먼트 를 가진다. 이때 큰 북의 소리는 모음의 포먼트가 낮은 음성 모음을 이용해 ‘둥둥’, 작은 북의 소리는 모음의 포먼트가 높은 양성 모음을 이용해 ‘둥둥’으로 표현했다.
댕그 ^ㄹ 렁	댕그 ^ㄹ 랑	크기가 다른 두 종을 칠 때 크기가 큰 종의 소리가 작은 종의 소리보다 낮은 피치와 포먼트 를 가진다. 이때 큰 종의 소리는 모음의 포먼트가 낮은 음성 모음을 이용해 ‘댕그 ^ㄹ 렁’, 작은 종의 소리는 모음의 포먼트가 높은 양성 모음을 이용해 ‘댕그 ^ㄹ 랑’으로 표현하였다.

분석 결과, 33개의 의성어 단어 쌍 모두에서 ‘퐁당-퐁당’에서와 마찬가지로 **표현 대상의 진동수와 사용된 모음의 공명 진동수(포먼트) 사이의 양의 상관관계**가 명확히 나타났다.

라. 팔짝 뼉 사람과 펄쩍 뼉 사람 중에 누가 더 멀리 뛰었을까?

줄기 탐구 1-다.를 통해 의성어에서 표현 대상의 진동수와 모음의 공명 진동수 사이의 강한 양의 상관관계가 존재함을 보였다. 표현 대상의 소리를 표현한 의성어뿐 아니라, “대상의 형태나 움직임을 표현하는 의태어에서도 대상의 어떤 특징이 모음의 공명 진동수와 관련이 있지 않을까?” 라는 의문을 가지게 되었다. 그러던 중 우리말의 많은 음성상징어에서 같은 표현이 반복되어 나타나는 구조인 **첩어 구조**(동글동글, 쿵쿵 등)가 존재하며, 이 구조가 의태어에서 동작이나 행동의 반복을 의미하는 경우가 많다는 것을 알게 되었다. 이러한 현상에서 우리는 “의성어에서는 소리의 진동수가 모음의 공명 진동수와 상관관계가 있었듯이, 의태어에서는 운동으로서의 진동수가 모음의 공명 진동수와 관계가 있을 것이다” 라는 가설을 세우게 되었다.

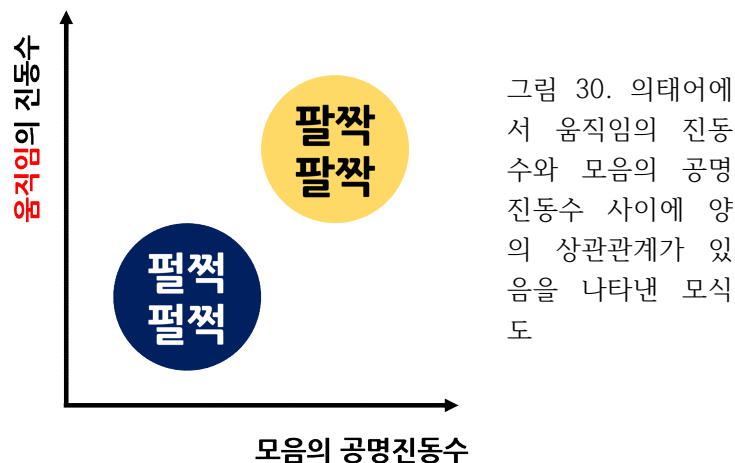
의태어 ⇒ 첩어구조 ⇒ 반복 ⇒ 주기 ⇒ 진동수 ∝ 모음 발음의 공명 진동수(포먼트)

이를 확인하기 위해 선행연구들에서 언급된 의태어 가운데, 큰 말-작은 말 쌍으로 나타나는 의태어들을 추출하고, 물리적으로 해석할 수 있는 의태어들과 물리적으로 해석하기 어려운 의태어들로 나누었다. 해석 가능한 의태어에서 어떠한 변수에 의해 대상의 진동수가 변화할 때 어떤 모음이 사용되는지 사전적 의미를 기반으로 물리적 분석을 진행하였다. 대상의 움직임이 아닌, 모양이나 형태를 표현하는 말(구깃구깃/고깃고깃)이나 반복의 의미가 나타나지 않는 말(홀랑/홀렁), 추상적인 행동 특성을 나타내는 말(살금살금/슬금슬금) 등은 물리적으로 해석하기 어려운 의태어로 분류하여 가설의 적용 대상에서 제외하였다. 추출된 의태어 쌍은 총 32개로 같은 단어가 여러 의미를 가지는 경우에는 다른 단어로 보았다.

단어쌍		물리적 분석
큰 말	작은 말	
어정어정	아장아장	사람이나 동물이 걷는 움직임에서 다른 변수가 동일할 때 팔/다리의 길이가 길어지면 동작의 주기가 길어지는 것으로 해석할 수 있다. 주기와 진동수는 역수 관계이므로, 팔/다리의 길이가 긴 대상의 동작이 작은 진동수, 짧은 대상의 동작이 큰 진동수를 가진다. 팔/다리 길이가 긴 대상의 동작은 음성 모음을 활용해 ‘어정어정’, 짧은 대상의 동작은 양성 모음을 활용해 ‘아장아장’으로 표현하였다.
덜렁덜렁	달랑달랑	매달린 물체가 흔들릴 때 물체의 길이가 길어지면 동작의 주기가 길어져 진동수가 작아진다. 작은 진동수를 가지는 긴 물체의 흔들림은 음성 모음을 활용하여 ‘덜렁덜렁’, 큰 진동수를 가지는 작은 물체의 흔들림은 양성 모음을 활용하여 ‘달랑달랑’으로 표현했다.

부들부들	바들바들	손이나 다리가 떨리는 상황과 같이 물체가 지속적으로 흔들리는 상황에서 상대적으로 작은 진동수 및 긴 주기로 흔들리는 경우는 음성 모음을 활용하여 ‘부들부들’, 큰 진동수 및 짧은 주기로 흔들리는 물체를 양성 모음을 활용하여 ‘바들바들’로 표현했다 할 수 있다.
펼쩍펼쩍	팔짝팔짝	개구리, 벼룩과 같이 포물선 운동을 반복하는 물체에서 속도가 동일할 때, 뛰는 변위나 높이가 증가하면 뛰는 주기가 증가, 진동수가 감소한다고 할 수 있다. 이때 뛰는 변위나 높이가 큰 동작은 음성 모음을 활용하여 ‘펼쩍펼쩍’, 작은 동작은 양성 모음을 활용하여 ‘팔짝팔짝’으로 표현했다.
벌렁벌렁	발랑발랑	심장의 박동을 생각했을 때 나머지 변수가 일정하면 흔들리는 진폭이 큰 경우 진동수가 더 작다고 할 수 있다. 이때 흔들리는 진폭이 큰 동작은 음성 모음을 이용하여 ‘벌렁벌렁’, 진폭이 작은 동작을 양성 모음을 이용하여 ‘발랑발랑’으로 표현하였다.

전체 33개 중 해석 가능한 의태어 쌍은 약 52%에 해당하는 17개였다. 해석 가능한 의태어 쌍 중 가설과 명확히 일치하는 사례는 약 88%에 해당하는 15개였다. 상관관계를 파악하기 힘든 두 단어 지근지근-자근자근(1번 의미, 부록 참조)과 지근지근-자근자근(2번 의미, 부록 참조)은 어떤 단어가 더 큰말인지 느낌 차이가 확실하지 않았고 발음에서도 모음 ‘ㅣ’는 제1 공명 진동수는 낮은 반면에 제2 공명 진동수는 매우 높아서 모음 ‘ㅏ’와 비교했을 때 높거나 낮다고 판단하기 어려웠다. 그러나 이를 제외하면 의태어에서도 의성어와 마찬가지로 **움직임의 진동수와 사용된 모음의 공명 진동수(포먼트) 사이의 양의 상관관계가 명확히 나타났다.**



2. 줄기탐구(형용사)-왜 차갑다가 양성 모음, 뜨겁다가 음성 모음일까?

앞서 모음 교체가 존재하는 음성상징어에서 표현 대상의 진동수와 모음의 공명 진동수 사이에 양의 상관관계가 있음을 보였다. 이는 우리말 음성상징어가 도상성(Iconicity)이 있다는 뜻이다. 이 도상성이 음성상징어에서만 나타나는지에 대한 의문을 가지게 되었다. 조사한 선행연구 중 형용사 범위에서 음성과 의미의 유연관계를 설명하려는 시도도 존재하였고, 비록 방법론이

정량적이거나 엄밀하지 못했으나 실제로 유연관계가 있는 것으로 나타난 연구도 있었다. 형용사는 사물의 상태나 성질을 나타내는 말이므로, **형용사에서 음성상징어에서와 같이 모음의 공명 진동수에 영향을 주는 물리적 요소가 존재한다면**, 이는 ‘표현 대상의 물리학적 성질 또는 상태’ 일 것이라는 추측을 하였다. 대상의 물리적 성질 가운데 우리가 인식할 수 있는 것으로는 질량, 탄성, 온도 등이 있다. 이러한 물리량들을 표현한 형용사 중 대조적 의미를 표현하고 있는 단어의 쌍을 추출해 보니 표 5와 같이 양성 모음과 음성 모음을 사용하고 있는 공통점을 발견하였다.

표 5. 대조적 물리량을 표현하는 형용사 쌍

	질량(m)	탄성(k)	온도	습도
양성 모음 활용	가 ^ㅏ 볍다	단 ^ㅓ 단하다	차 ^ㅓ 갑다	마 ^ㅓ 른
음성 모음 활용	무 ^ㅓ 겁다	무 ^ㅓ 르다	뜨 ^ㅓ 겁다	젖 ^ㅓ 은

여기서 우리는 공명 진동수가 높은 양성 모음으로 가볍고 단단한 대상을 표현했다는 점에서 물리 시스템 중 단진동의 **고유진동수**를 떠올릴 수 있었다.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

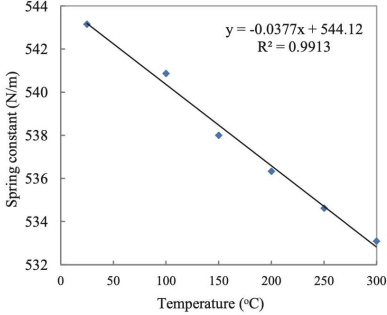
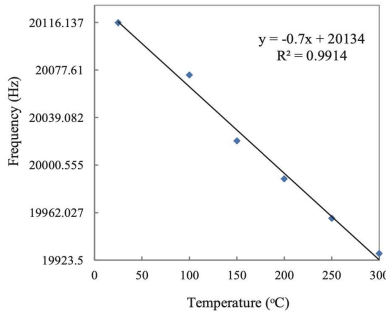
단진동 고유진동수는 질량(m)과 용수철 상수(k)에만 영향을 받지만, 관성과 탄성의 개념으로 생각하면, 대부분의 물체나 현상에 이 식을 적용할 수 있다. 또한, 온도나 습도 같은 물리량도 물질의 탄성 계수를 바꿈으로써 고유진동수에 영향을 미칠 수 있다고 생각할 수 있다.

이 아이디어를 가다듬어 우리는 ‘**형용사에서 표현 대상의 고유진동수와 모음의 공명 진동수(포먼트) 사이에 상관관계가 존재할 것이다**’ 라는 가설을 세웠다.

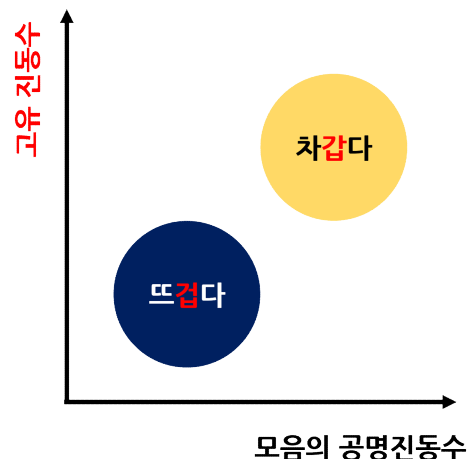
물질의 성질을 나타내는 형용사 $\Rightarrow$ 고유진동수 $\propto$ 모음 발음의 공명 진동수(포먼트)

이 가설을 확인하기 위해 우선 형용사 가운데 고유진동수에 영향을 미치는 변수들을 표현한 형용사 쌍을 추출하였다. 음성상징어와는 달리 형용사에서는 큰 말-작은 말의 개념이 없으므로 의미상, 또는 물리량의 크기에서 대소관계를 이루는 쌍을 추출하였다. 각 쌍에 대해 물리량의 크기가 달라져 고유진동수가 변화할 때, 이를 나타내는 모음 발음의 공명 진동수는 어떻게 변하는지 물리적 분석을 진행하였다.

단어쌍		물리적 분석
뜨 ^ㅓ 겁다	차 ^ㅓ 갑다	‘차갑다’는 상대적으로 낮은 온도, ‘뜨겁다’는 높은 온도를 나타내는 형용사이다. 일반적으로 온도가 증가할 때 물체의 용수철 상수는 감소하므로, 온도가 높을수록 고유진동수가 낮다고 할 수 있다.

		상대적으로 온도가 높은 상태(k가 작은 상태)는 음성 모음을 사용해 ‘뜨^ㅅ겁다’, 온도가 낮은 상태(k가 큰 상태)는 양성 모음을 사용해 ‘차^ㅅ겁다’고 표현하였으므로 고유진동수와 모음의 공명 진동수 사이에 양의 상관관계가 나타난다. 아래는 온도에 따른 용수철 상수와 고유진동수 변화를 나타낸 자료이다.   그림 33. 온도에 따른 용수철 상수(좌)와 고유진동수(우)
무르다	단단하다	‘무르다’는 상대적으로 작은 강성, ‘단단하다’는 상대적으로 큰 강성을 나타내는 형용사이다. 일반적으로 강성과 용수철 상수는 양의 상관관계를 가지므로, 강성이 클수록 고유진동수가 크다고 할 수 있다. 상대적으로 강성이 큰 대상은 양성 모음을 사용해 ‘단단하다’, 강성이 작은 대상은 음성 모음을 사용해 ‘무르다’라고 표현하였으므로 고유진동수와 모음의 공명 진동수 사이에 양의 상관관계가 나타난다.
무겁다	가볍다	‘무겁다’는 상대적으로 큰 질량, ‘가볍다’는 상대적으로 작은 질량을 나타내는 형용사이다. 질량이 감소하면 고유진동수는 증가하는데, 상대적으로 질량이 작은 대상은 양성모음을 사용해 ‘가볍다’, 질량이 큰 대상은 음성모음을 사용해 ‘무겁다’라고 표현하였으므로 고유진동수와 모음의 공명 진동수 사이에 양의 상관관계가 나타난다.

고유진동수에 영향을 미치는 물리적 변수들을 표현하는 형용사 쌍에서 고유진동수가 높은 상황을 나타내는 형용사가 상대적으로 높은 공명 진동수(포먼트)의 모음을 가지는 것으로 나타났다. 형용사에서는 짝을 이루는 쌍을 기준으로 단어를 추출할 수 없어서 우리가 추출한 형용사가 전체 형용사 중 몇 퍼센트인지 비율은 알 수 없고, 분석한 단어의 수도 적어서 확신할 수는 없지만, 형용사가 나타내는 대상의 고유진동수와 모음의 공명진동수(포먼트) 사이에도 양의 상관관계가 존재하는 것으로 보인다.



〈줄기 탐구 정리〉

- 풍당 소리의 물리적 메커니즘을 알아내었다.
- 큰 돌과 작은 돌 소리를 주파수 분석하여 진동수(음높이(Pitch)와 공명 진동수)가 더 높은 작은 돌 소리가 모음의 공명 진동수가 더 높은 ‘풍당’으로 표현되었음을 밝혔다.
- 33개의 의성어 단어 쌍을 분석한 결과 모든(100%) 단어 쌍에서 소리의 진동수와 모음의 공명 진동수가 양의 상관관계를 가짐을 알아내었다.
- 17개의 의태어 단어 쌍을 분석한 결과 15개(88%)의 단어 쌍에서 반복된 움직임의 진동수와 모음의 공명 진동수가 양의 상관관계를 가짐을 알아내었다.
- 물질의 성질이나 상태를 표현하는 형용사의 경우, 고유진동수의 개념을 적용하면 모음의 공명 진동수와 양의 상관관계를 설명할 수 있음을 발견하였다.

〈줄기 탐구의 의의〉

언어학 분야의 선행연구 조사 결과, 우리나라의 음성상징어는 **모음의 교체를 이용해 대상의 의미의 정도 차이를 표현하는 형식이 매우 발달해** 있으며 이는 전 세계적으로 찾아볼 수 없는 **우리말만의 독특한 언어적 특성**이다. 우리 탐구를 통해 알 수 있는 것은 이러한 우리말만의 구조가 언어 사용자들에 의해 **자의적(arbitrariness)으로 형성된 것이 아니라는 사실**이다. 큰 말-작은 말과 같은 구조는 인간이 외부 세계를 인식하고 이것을 언어로 표현하는 과정에서 오감으로 인지한 표현 대상의 물리적 성질이 언어의 체계 속에 필연적으로, 상당히 일관성있게 반영된 결과라 할 수 있다. 이는 학습된 문화적 요인과 무관하게 인간의 언어가 가진 공통적인 특성인데, 우리말을 전혀 공부하지 않은 우리 학교 원어민 선생님을 대상으로 풍당-풍뎡, 동동-둥둥 등의 소리와 의성어를 제시하고 소리에 단어를 대응시키도록 하는 인지 실험을 진행했을 때, 한국어 사용자와 동일하게 대응시켰다는 결과가 이를 뒷받침한다. 이러한 관점에서 다른 언어들에 비해 우리말에 그러한 도상성(iconicity)이 명확하게 나타기 때문에 **우리말은 자연의 성질을 잘 반영한, 물리적으로 타당한 ‘센스’ 있는 언어**이다. 또한 문자가 존재하지 않았던 우리말의 음운을 정리하고 훈민정음을 창제하여 양성 모음과 음성 모음의 개념을 정립한 세종대왕의 업적은 우리말의 물리적 타당성을 언어의 구조로서 체계화하였다는 점에서 특별한 가치를 가진다. 이 체계로 인해 우리말에서 나타나는 도상성(iconicity)이 더 강화되었을 가능성도 있다. 세종 한 사람의 자연을 바라보는 직관과 통찰이 민족 전체가 사용하는 언어와 그들이 자연을 인식하는 방법에 물리적 타당성을 부여했다고 할 수 있다.

우리 탐구 이전에도 우리말·우리글 표현의 풍성함을 근거로 우수성을 설명하는 다양한 사례가 있었지만, 우리는 줄기 탐구를 통해 **우리말·우리글의 표현이 풍성할 뿐 아니라, 물리적·객관적으로도 타당함을 보였다**. 이를 통해 우리말·우리글이 우리나라 사람에게만 우수한 것이 아니라, 객관적으로도 우수하다는 것을 밝혔다는 점에서 뿌듯하다.

감사합니다!!!



3. 가지 탐구 - 풍당과 Plop 중 어느 말이 더 풍당 소리 같을까?

줄기 탐구를 진행하면서 다른 사람들에게 우리 탐구를 설명해 줄 기회가 많았는데, 모음 교체에 의한 음성상징어의 느낌 차이와는 별개로 “이 소리는 왜 풍당이라고 표현되는가?”라는 질문이 많았다. 비슷한 의미로 “우리말 ‘풍당’과 같은 뜻을 갖는 영어 ‘Plop [pla:p]’ 중 어느 단어가 더 돌맹이가 물에 떨어지는 소리를 잘 표현한 것인가?”라는 질문도 많이 받았다. 이러한 질문을 받으면서 고민하고 조사한 결과, 어떤 단어가 자연의 소리를 알맞게 표현했는지를 측정할 기준이 존재하지 않는다는 결론을 얻었다. 대부분 문헌에서 한국어가 모국어인 사람은 ‘풍당’이, 영어가 모국어인 사람은 ‘Plop’이 더 잘 표현한다고 판단할 뿐, 개인의 사회/문화적 요소를 제외하고 객관적으로 대답할 방법이 존재하지 않는다고 언급하였다.

그래서 우리는 실제 소리와 의성어 사이의 대응이 타당하다고 말할 수 있는 객관적인 척도의 필요성에 대해 생각하게 되었다.

우리는 “우리말 ‘풍당’과 같은 뜻을 갖는 영어 ‘Plop [pla:p]’ 중 어느 단어가 더 돌맹이가 물에 떨어지는 소리를 잘 표현한 것인가?”라는 질문에서 자음은 배제하고 일단 모음 선택의 타당성에 집중하였다. 즉, 풍에서 ‘오’ 발음을 선택한 것과 plop [pla:p]에서 ‘아’ 발음을 선택한 것 중에서 어느 선택이 얼마나 더 타당한지 판단할 수 있는 척도를 개발하고자 하였다.

**어떤 자연의 소리를 의성어로 표현할 때 모음 선택의 타당성을
객관적, 정량적으로 설명할 수 있는 척도를 개발하였다.**

가. 모음 선택 타당성 척도 개발

1) 인공 모음 인지 실험 방법

먼저 임의의 Pitch(음높이)와 공명 진동수(포먼트)를 가진 기계음 들려주었을 때 사람들이 이를 어떤 모음으로 대응시키는지 인지 실험을 통해 통계적으로 알아보고 그 경향을 확률로 나타내었다.

음성 분석 프로그램 Praat의 vowel generator 기능을 이용하여 임의의 포먼트를 지닌 인공음성을 만들고 피실험자에게 들려준 후 어떤 모음으로 들리는지 물었다. 피실험자에게 들려주는 인공음성은 3가지의 음높이(Pitch)와 6가지의 제1 포먼트(F1), 5가지의 제2 포먼트(F2)로, 총 90개의 인공음성을 사용했다. 즉, 아래 그림 37에서 차트에 빨강색 점이 있는 부분의 포먼트와, “start f0” 부분에 기록한 3단계의 음높이를 가진 인공음성을 사용했다. Pitch(음높이) 순서, 제1 포먼트 순서, 제2 포먼트 순서대로 총 90개의 음성을 각각 1초간 3번씩 들려준 뒤, 피실험자가 인식하는 모음을 우리말 단모음 8개(아, 어, 애, 에, 오, 우, 으, 이) 중에서 선택하여 기록하도록 하였다.

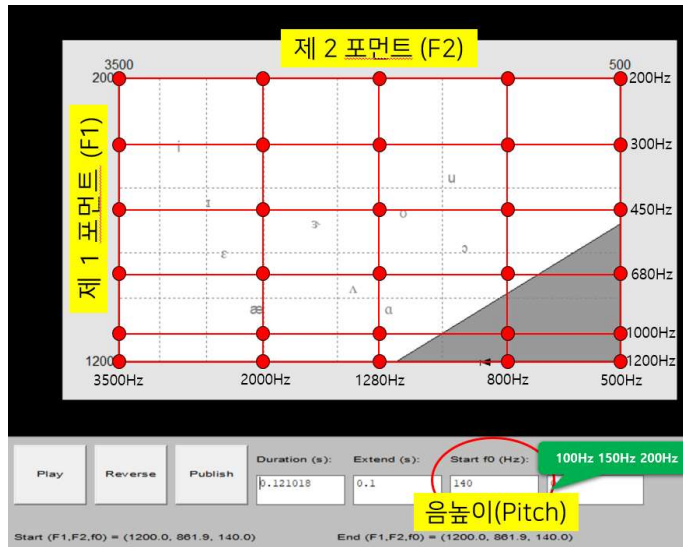


그림 37. 모음
인지 실험 설계 및
Praat를 이용한
인공 모음 발생

2) 인공 모음 인지 실험 결과

피실험자 5명에 대해 실험하여 총 450개의 데이터를 수집하였다. 표 6 ~ 표 8은 피실험자 A의 실험 결과 데이터 예시이다.

표 6. 100Hz pitch

(포먼트 단위: Hz)

F2 \ F1	500	800	1280	2000	3500
200	ㄱ	ㄱ	ㅡ	ㅣ	ㅣ
300	ㄴ	ㅡ	ㅡ	ㅈ	ㅣ
450	ㄴ	ㄱ	ㄱ	ㅈ	ㅈ
680	ㄱ	ㅈ	ㅈ	ㅈ	ㅈ
1000	ㄱ	ㅈ	ㅈ	ㅈ	ㅈ
1200	ㄱ	ㅈ	ㅈ	ㅈ	ㅈ

표 7. 150Hz pitch

(포먼트 단위: Hz)

F2 \ F1	500	800	1280	2000	3500
200	ㄱ	ㄴ	ㅡ	ㅈ	ㅣ
300	ㄱ	ㄱ	ㅡ	ㅈ	ㅣ
450	ㄴ	ㄱ	ㄱ	ㅈ	ㅈ
680	ㄱ	ㅈ	ㅈ	ㅈ	ㅈ
1000	ㄱ	ㅈ	ㅈ	ㅈ	ㅈ
1200	ㄱ	ㅈ	ㅈ	ㅈ	ㅈ

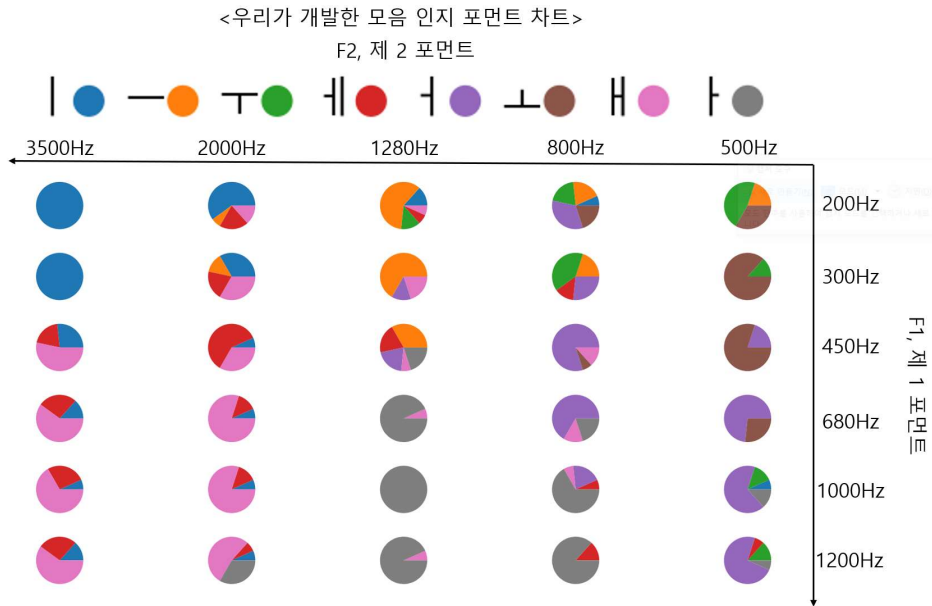
표 8. 200Hz pitch

(포먼트 단위: Hz)

F2 \ F1	500	800	1280	2000	3500
200	ㅡ	ㅡ	ㅡ	ㅣ	ㅣ
300	ㄴ	ㄱ	ㄱ	ㅈ	ㅣ
450	ㄴ	ㄱ	ㅡ	ㅈ	ㅈ
680	ㄴ	ㄱ	ㅈ	ㅈ	ㅈ
1000	ㄱ	ㅈ	ㅈ	ㅈ	ㅈ
1200	ㄱ	ㅈ	ㅈ	ㅈ	ㅈ

표 6 ~ 8에서 Pitch(음높이)가 달라져도 피실험자가 모음을 인지하는 경향성은 크게 달라지지 않는 것을 알 수 있었다. 따라서 우리는 Pitch(음높이)와 관계없이 제1 포먼트와 제2 포먼트에 대해 모음 인지의 경향이 어떻게 되는지 보고자 하였다. 그림 38은 피실험자 5명에 대해 단모

음 8개의 인지 빈도수가 어떻게 되는지 시각화한 파이 차트이다.



위 차트를 통해 한국인 피실험자 5명의 평균적인 모음 인지 경향을 통계적으로 알아낼 수 있다. 예를 들어, 제1 포먼트가 1000Hz, 제2 포먼트가 1280Hz인 음성은 100% 확률로 ‘ㅓ’로 인지하고, 제1 포먼트가 200 Hz, 제2 포먼트가 500 Hz인 음성은 20% 확률로 ‘ㅡ’로 인지하는 피실험자 5명 집단의 기준이 만들어진 것이다.

이 모음 인지 포먼트 차트를 이용하면 의성어 모음 선택의 타당성을 정량적으로 언급할 수 있다. 예를 들어 제1 포먼트가 200Hz, 제2 포먼트가 500Hz인 음성은 20% 확률로 ‘ㅡ’, 35% 확률로 ‘ㅏ’, 45% 확률로 ‘ㅏ’로 인식한다는 경향을 보이는데, 이 확률을 그대로 모음 발음 선택의 타당성으로 사용할 수 있을 것이다. 즉 이 소리를 듣고 말로 표현하는 어떤 사람이 ‘ㅏ’ 발음으로 선택하였다면 그 선택의 타당성은 45%라고 할 수 있을 것이고 ‘ㅓ’ 발음으로 선택하였다면 타당성이 0이라고 할 수 있을 것이다.

여기서 타당성은 모음 인지 포먼트 차트를 만든 피실험자 5명의 기준으로 판단한 것이 되는데, 피실험자의 범위를 넓혀 더 많은 데이터를 쌓으면 평균적인 우리나라 사람들의 모음 인지의 기준을 나타낼 수도 있을 것이다. 더 나아가서, 세계 여러 언어권 사람들을 피실험자로 포함하여 세계인의 모음 인지의 기준을 알아내고 적용하면 meow와 야옹 중 무엇이 더 보편타당한지 알아낼 수 있을 것이다.

실제로, 영국인에게 모음 인지 실험을 해 본 결과는 다음과 같다. 제2 포먼트가 3500Hz, 500Hz 부분은 한국인 5명의 인지 실험 결과와 경향성이 잘 맞는다. 하지만, 제2 포먼트가 1280Hz인 부분에서는 차이점이 있었다. 이런 식으로 더 많은 인지 실험 데이터를 쌓으면 나라별 인지 경향성을 파악할 수도 있을 것이고, 전 세계적으로 기준이 되는 모음 인지 포먼트 차트를 만들 수 있을 것이다.

표 7. 영국인 모음 인지 실험 결과 (단위: Hz)

F1\F2	500	800	1280	2000	3500
200	ɑ:	ɜ:	ɪ	i:	i:
300	ʊ	ɒ	e	ɪ	i:
450	ɒ	ɑ:	ʌ	ɪ	i:
680	ɑ:	ʌ	æ	e	ɪ
1000	ʌ	ɑ:	ɔ:	ɜ:	i:
1200	ʌ	ɑ:	ə	i:	i:

우리가 개발한 이 모음 선택의 타당성 평가 방법에는 허점이 있는데, 자연의 소리를 포먼트 차트 상의 한 점으로 매칭하는데 불확실한 부분이 있다는 것이다. 앞서 (줄기 탐구 1-나) 부분에서 측정한 풍당과 풍덩의 포먼트와 Pitch(음높이)를 해석해보면, 풍당은 Pitch(음높이)와 제1 포먼트를 제1, 제2 포먼트처럼 인지하는 것으로 보이고 선행연구 중에서도 Pitch(음높이)와 제1 포먼트를 혼동하는 경우가 있다는 결과가 있다. 따라서 자연의 소리 중 Pitch(음높이)와 제1 포먼트를 사용하여 포먼트 차트상의 한 점에 매칭할지, 제1, 제2 포먼트를 사용하여 매칭할지 불확실한 부분이 있다. 이 점에 대해 추가로 탐구하여 어떤 경우에 Pitch(음높이)가 포먼트로 인식되는지 확인하고자 한다.

V 결론 및 활용 방안

1. 탐구 결론

가. ‘풍당-풍덩’ 등 모음 교체를 활용한 의성어에서 대상 소리의 진동수와 모음의 공명 진동수가 양의 상관관계를 가짐을 밝혀내었다.

물에 돌맹이가 빠지는 소리가 나는 원리에 대해 과학적으로 분석하였고, 큰 추와 작은 추가 물에 빠지는 소리의 진동수가 ‘풍당’, ‘풍덩’ 의성어 모음의 공명 진동수와 양의 상관관계가 있음을 밝혀냈다. 그리고 다른 의성어 33쌍 중 33쌍 모두 대상 소리의 진동수와 모음의 공명 진동수가 양의 상관관계를 가진다는 것을 밝혔다.

나. 모음 교체를 활용한 의태어에서도 움직임의 진동수와 모음의 공명 진동수가 양의 상관관계를 가짐을 밝혀내었다.

32쌍의 의태어 중, 반복의 의미를 가지거나 물리적으로 해석할 수 있는 의태어 17쌍을 추출하였고, 진동수에 영향을 주는 물리적 특성을 분석하였다. 그 결과, 17쌍 중 약 88%인 15쌍이 움직임의 진동수와 모음의 공명 진동수가 양의 상관관계를 가진다는 것을 밝혀내었다.

다. 음성상징어가 아닌 형용사에도 대상의 고유진동수와 발음의 공명 진동수가 양의 상관관계를 가질 가능성을 발견하였다.

형용사 가운데 의미상, 또는 물리량의 크기에서 대소관계를 이루는 쌍을 추출하였다. 물리량의 크기가 달라져 고유진동수가 변화할 때 이를 나타내는 형용사에 어떤 모음이 사용되었는지 물리적 분석을 진행했다. 그 결과 형용사에서 대상의 고유진동수와 발음의 공명 진동수가 양의 상관관계를 가질 가능성을 발견하였다.

라. 자연의 소리를 표현한 의성어 발음의 타당성을 객관적으로 측정할 수 있는 방법을 제시했다.

임의의 Pitch(음높이), 공명 진동수(포먼트)를 가진 인공음성을 듣고 사람들이 어떤 모음으로 인지하는지를 통계적으로 나타낸 모음 인지 포먼트 차트를 개발하였다. 이를 이용해 의성어 모음 선택의 타당한 정도를 측정할 수 있는 방법을 제시하였다.

2. 향후 탐구 계획

가. 모음 인지 포먼트 차트 완성

가지 탐구의 모음 인지 포먼트 차트는 제 1, 2 포먼트의 해상도가 낮아서 정확한 분석을 하기
에 부족한 부분이 있었다. 데이터를 수집하지 않은 포먼트에 대해서도 모음 선택 타당성을 알
아내기 위해 머신러닝 혹은 보간법을 사용하고자 한다. 현재 문제상황을 어떤 포먼트를 인자로
하여 8개의 단모음 클래스에 대해서 선택할 확률을 가진 벡터가 나오는 함수라고 정의한다면,
머신러닝에서는 인공신경망을 사용할 때, 모델의 깊이 등을 정하는 것이 과제이고, 보간법에서
는 보간된 부분의 벡터 내 성분의 합이 1이 되게끔 유지하는 것이 과제이다. 이후 이를 적용하
여 풍당 자연소리의 풍 부분이 ‘ㅣ’ 나 ‘ㄷ’ 가 아닌 ‘ㄱ’ 로 모음을 선택한 것에 대한 타
당성을 더욱 정확하고, 정량적으로 알아보고자 한다.

또한, 현재는 한국인에 한정하여 데이터를 수집하였는데, 이후에는 전 세계인들의 데이터를
수집하고자 한다. 이를 바탕으로 모음 선택의 타당성에 대한 객관적인 척도를 제시하여 풍당과
Plop 중 무엇이 더 풍당의 자연소리와 가까운지 정량적으로 알아보고자 한다.

나. Nwav2vec 인공지능 개발

가지 탐구를 통해서 음성을 인지하는 통계적인 기준을 제시했다. 그렇다면, “자연소리를 의
성어로 바꿔주는 데 특화된 자연어 생성 인공지능 모델을 만들 수 있지 않을까?” 라는 생각이
들었다. 그래서 먼저, speech recognition 분야 SOTA인 pre-trained된 wav2vec 2.0에 여러 자연
물의 소리를 입력해보았다. OpenSLR의 Zeroth Korean 데이터셋으로 학습된 Hugging Face의
wav2vec 2.0 모델을 이용했다. 먼저, 뉴스에서 나온 문장을 입력한 결과는 다음과 같다.

뉴스의 문장	현재 백화점과 영화관 등은 오픈해 영업하고 있고 테마파크 및 아파트 등 의 공사는 이천 십 팔 년 완공을 목표로 진행돼 왔다
	그 바람에 나의 몸도 겹쳐 쓰러지며 한창 피어난 노란 동백꽃 속으로 폭 파문혀 버렸다
생성한 문장	현재 백화점과 영화관 등은 오픈해 영업하고 있고 테마파크 및 아파트 등 의 공사는 이천 십 팔 년 완공을 목표로 진행돼 왔다 (맞음)
	그 바람에 나의 몸두 겹쳐로 쓰러지며 한창 피어난 노란 동백꽃 속으로 폭 파문혀 버렸다 (틀림)

457개의 테스트 문장에 대해 311개의 문장을 정확히 맞혔으며, WER(Word Error Rate)는
0.047이 나왔다. 하지만, 자연소리를 넣었을 때의 결과물은 아래와 같다.

자연소리	작은북	큰북	풍당	풍덩
생성된 자연어	다	다	다	난 이다

작은북의 소리인 ‘동동’ 과는 조금 다른 ‘다’ 라는 값이 나왔다. 이는 wav2vec 2.0이 음소
단위가 아닌, 단어 단위로 예측하기 때문에 포먼트 등의 성질이 반영되지 못했다고 볼 수도 있
고, 아니면 새로운 도메인인 자연소리가 학습 도메인인 음성과 상이한 부분이 많아서 정확도가
낮은 것으로 볼 수도 있을 것이다. 그래서 향후에는 자연소리를 통해서 자연어를 음소 단위로
생성하는 Nwav2vec 모델을 개발하여 여러 자연소리에 대해 이를 한국어로 나타내주는 인공지
능을 만들고자 한다.

VI 참고문헌

- [1] Saji N 외. (2019). Cross-linguistically shared and language-specific sound symbolism in novel words elicited by locomotion videos in Japanese and English. PLoS ONE 14(7): e0218707. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218707>
- [2] Damián E. Blasi 외. (2016). sound-meaning association biases evidenced across thousands of languages. PNAS. vol. 113. 10818-10823
- [3] Klemens Knoeferle외. (2016). What drives sound symbolism? Different acoustic cues underlie sound -size and sound-shape mappings. doi:10.1038/s41598-017-05965-ywww
- [4] Fort. M 외 (2013) Looking for the bouba-kiki effect in prelexical infants. Proc. Auditory-Visual Speech Processing, 71-76
- [5] 채완. (2000). 국어 의성어·의태어 연구의 몇 문제. 진단학보 .(89). 2000. 207-221
- [6] 임규홍. (2015). 국어 모음의 음상과 의미의 유연성(동사와 형용사를 중심으로). 언어과학연구 74. 189-214.
- [7] 전진호. (2021). 한국어 모음-자음 연쇄에서의 F2 전이 연구
- [8] 김희섭. (2005). 한일 음성상징어의 비교 연구
- [9] 김재원. (2010). 영어의 의성/의태어에 대한 음성상징 연구
- [10] 제63회 전국과학전람회 (2017) 톱니파와 이퀄라이저 및 공명관을 이용한 우리말 모음 발생
- [11] 제65회 전국과학전람회 (2019) 돌을 물에 던질 때 '퐁'과 '당'소리는 어떻게 다를까?

부록 물리적 분석에 활용한 의성어, 의태어 단어 쌍 목록

의성어
쿵닥/쿵덕, 푹/푹(1), 푹/푹(2), 딱/딱(1), 푹/푹(3), 딱/딱(2), 달가닥/덜거덕, 찰랑/찰렁, 줄줄/줄줄, 킁/킁, 쿵/쿵, 탕/탕, 뽕/뽕(1), 뽕/뽕(2), 꿀각/꿀걱, 꼬르륵/꾸르륵(1), 찰싹/찰씩, 켹그랑/켹그렁, 오도독/우두둑, 파드닥/퍼드덕, 둥/둥, 뽀드득/뿌드득, 땡그랑/땡그렁, 푹/푹(1), 푹/푹(2), 보글보글/부글부글, 담방/덤뽕(1), 팔락/펼럭, 바스락/버스럭, 바삭/버석(1), 포박/뚜벅, 사각/서걱, 짹/푹
의태어
-물리적으로 해석할 수 있는 의태어 아장아장/어정어정, 달랑달랑/덜렁덜렁, 팔짝팔짝/펼쩍펼쩍, 포르르/푸르르, 바들바들/버들버들, 출랑/출렁, 찰랑/찰렁, 술술/술술(1), 술술/술술(2), 팔팔/펼펼, 갹충갹충/경충경충, 보글보글/부글부글, 살랑살랑/설렁설렁, 파르르/퍼르르, 지근지근/자근자근(1), 지근지근/자근자근(2), 발랑발랑/벌렁벌렁 -물리적으로 해석하기 힘든 의태어 살금살금/슬금슬금, 도손/도순, 건동건동/간동간동, 빙긱/방긱, 뽕글/방글, 뽕로통/뽕루통, 지르르/자르르, 드문/다문, 가득/그득, 잘잘/질질, 고깃고깃/구깃구깃, 흐늘/하늘, 착착/척척, 지르르/자르르, 주르르/조르르, 흘랑/흘렁