



# Aerodynamic and acoustic response patterns associated with cheek inflation during straw phonation: An exploratory pilot study

Seung-Su Lee<sup>1,2</sup> · Hong-Shik Choi<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup> Interdisciplinary Program of Speech-Language Pathology, The Graduate School, Yonsei University, Seoul, Korea

<sup>2</sup> Chun-Ji-In Institute of Vocalization, Seoul, Korea

<sup>3</sup> Department of Otorhinolaryngology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

## Abstract

This exploratory pilot study examined preliminary aerodynamic and acoustic response patterns associated with cheek inflation during straw phonation in healthy adults. Eight adults with complete pre–post data were assigned to either a cheek inflation group or a no-cheek-inflation group using a between-subjects design. Aerodynamic variables obtained using the Phonatory Aerodynamic System (PAS) were treated as the primary exploratory outcomes, whereas acoustic measures obtained using real-time pitch (RTP), Multi-Dimensional Voice Program (MDVP), and Analysis of Dysphonia in Speech and Voice (ADSV) were analyzed as secondary exploratory outcomes. Grade, roughness, breathiness, asthenia, strain (GRBAS) ratings were used as a descriptive reference to characterize the auditory-perceptual status of the healthy participants rather than as a primary outcome measure. Given the small sample size, nonparametric analyses and effect sizes were used to describe pre–post changes and between-condition change-score patterns. Pre–post comparisons showed changes in selected PAS variables, including aerodynamic power, peak air pressure, and peak expiratory airflow, while jitter was the only acoustic variable showing a pre–post change. Between-condition comparisons of change scores did not reach statistical significance. However, several PAS variables, particularly phonation time, expiratory airflow duration, and mean expiratory airflow, showed relatively large effect sizes, suggesting possible candidate variables for future investigation. These findings should not be interpreted as evidence of a definitive condition effect, but rather as preliminary observations that may inform future within-subject studies with larger samples and direct physiological measurements.

**Keywords:** aerodynamic measurement, cheek inflation, pilot study, semi-occluded vocal tract exercise, straw phonation

## 1. 서론

반폐쇄성 성도 훈련(Semi-Occluded Vocal Tract Exercises,

SOVTE)은 성도의 전방부를 좁히거나 연장하여 구강 내 압력과 성문상압을 형성하고, 이를 통해 성대 진동의 효율성을 높이는 것을 목표로 하는 음성 치료 및 발성 훈련 기법이다. Titze(2006)

\* HSCHOI@yuhs.ac, Corresponding author

Received 7 March 2026; Revised 5 June 2026; Accepted 11 June 2026

© Copyright 2026 Korean Society of Speech Sciences. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

는 컴퓨터 시뮬레이션 기반 연구를 통해 성도의 전방부를 반폐쇄할 경우 성문상압과 성문내압이 증가하여 성도-성문 상호작용이 증대되고, 성문 임피던스와 성도 임피던스 간의 보다 유리한 매칭이 형성됨으로써 성대 충돌 스트레스가 감소하고 보다 경제적인 발성이 가능해질 수 있다고 보고하였다. 이러한 이론적 배경을 바탕으로 SOVTE는 음성장애 환자의 치료뿐 아니라 직업적 음성 사용자의 음성 훈련에도 널리 활용되고 있으며, 최근에는 다양한 임상군과 정상 성인을 대상으로 그 효과가 보고되고 있다(Heller-Stark et al., 2024). 국내에서도 Kim(2019)은 SOVTE 관련 연구를 메타분석하여, 다양한 반폐쇄 기법이 정상 성인과 음성장애 환자 모두에서 음성 개선에 기여할 수 있음을 체계적으로 제시하였다.

SOVTE의 대표적 기법 중 하나인 빨대발성(straw phonation)은 빨대를 통해 발성함으로써 성도 내 저항을 증가시키고, 구강 내 역압(back pressure)을 형성하는 원리에 기반한다. 그러나 빨대발성의 효과는 단순히 “빨대를 사용했다”는 사실만으로 결정되지 않으며, 실제 수행 과정에서 형성되는 저항의 크기와 구강내압 양상에 따라 달라질 수 있다. Tangney et al.(2021)은 적출 후두 모형을 이용한 연구에서 빨대의 길이와 직경에 따라 발성역치압(phonation threshold pressure, PTP)의 변화가 달라짐을 보고하였고, Kang et al.(2019)은 정상 성인을 대상으로 5분과 10분의 빨대발성을 비교한 결과 수행 시간에 따라 공기역학적 변화의 지속 시간이 달라질 수 있음을 제시하였다. 또한 Kim et al.(2023)은 과기능적 음성장애 환자를 대상으로 물저항 빨대발성의 조건 변화에 따른 발성 반응을 분석하여, 튜브의 직경과 물 깊이와 같은 물리적 조건이 음성 산출 특성에 영향을 미칠 수 있음을 보고하였다. 이처럼 빨대발성의 효과는 빨대의 길이, 직경, 저항 조건, 수행 시간 등 여러 세부 요소에 의해 달라질 수 있다.

이와 관련하여, SOVTE 수행 중 실제로 형성되는 구강내압의 수준은 과제에 따라 크게 달라질 수 있다. Maxfield et al.(2015)은 13개의 서로 다른 SOVTE 제스처를 비교한 연구에서 과제 유형에 따라 구강내압 수준이 현저하게 달라짐을 보고하였으며, 동일한 범주의 반폐쇄 기법이라 하더라도 실제 생리적 부하가 서로 다를 수 있음을 제시하였다. 이는 SOVTE의 효과를 이해할 때 단순한 기법 분류를 넘어서, 수행 조건에 따라 형성되는 압력 환경과 이에 수반되는 발성 전략의 차이를 함께 고려할 필요가 있음을 시사한다. 다시 말해, 동일한 빨대발성이라 하더라도 수행자가 어떤 방식으로 구강 내 압력을 형성하고 유지하는가에 따라 즉각적 발성 반응이 달라질 가능성이 있다.

한편, SOVTE 수행 시 제공되는 지침이나 수행 방식의 차이에 따라 발성 반응의 개인차가 크게 나타날 수 있다는 점도 지속적으로 보고되어 왔다. Gaskill & Quinney(2012)는 공명관 튜브 발성 연구에서 지침 유무, 연습 시간, 튜브 규격 등의 차이에 따라 성문 접촉 양상의 개인 간 변이가 크게 나타남을 보고하며, 수행 방식 변동에 따른 효과를 체계적으로 비교할 필요성을 강조하였다. 국내 연구에서도 Kim(2024)은 서로 다른 SOVTE 유형에 따라 성대 진폭과 접촉 속도가 상이하게 나타날 수 있음을 보고하였고, Jo & Lee(2024)는 진동원의 유무와 수행 시간에 따

라 정상 성인의 음성 반응이 달라질 수 있음을 확인하였다. 이러한 선행연구들은 SOVTE의 효과가 단순히 기법 자체에 의해 결정되기보다, 수행자가 어떤 조건과 전략으로 과제를 수행하느냐에 따라 달라질 수 있음을 보여준다.

이러한 맥락에서, 빨대발성 수행 시 볼 팽창(check inflation) 여부는 주목할 만한 수행 전략 변수로 볼 수 있다. 볼 팽창은 입술 뒤쪽 구강 공간의 형태와 용적, 그리고 벽의 순응도(compliance)에 영향을 줄 수 있으며, 이로 인해 구강 내 압력 형성 방식이나 성도 임피던스의 일부가 달라질 가능성이 있다. Smith & Titze(2017)는 반폐쇄 튜브의 압력-유량 관계를 분석한 공학적 연구에서, 튜브 저항은 주로 내경에 의해 좌우되지만 입술 뒤쪽의 구강 형태 변화 역시 제한적 범위 내에서 압력 형성에 영향을 줄 수 있음을 제시하였다. 이는 볼 팽창이 튜브 자체의 물리적 조건을 직접 바꾸지는 않더라도, 입술 뒤 구강 조건을 변화시킴으로써 구강내압이나 back pressure 형성 방식에 간접적 영향을 줄 가능성을 시사한다.

또한 볼 팽창 여부는 단순히 구강 내 공간의 형태적 변화만이 아니라, 수행 과정에서의 감각적 피드백 전략과도 관련될 수 있다. An et al.(2022)은 안면 진동 센서를 이용하여 다양한 SOVTE 수행 시 뺨, 코, 목 부위의 진동 크기를 비교한 결과, straw phonation을 포함한 여러 반폐쇄 과제에서 뺨 부위에서 비교적 큰 진동이 관찰됨을 보고하였다. 이러한 결과는 뺨이 단순한 수동적 구조물이 아니라, SOVTE 수행 중 감각적 모니터링이나 바이오피드백이 일어나는 중요한 부위가 될 수 있음을 보여준다. 따라서 볼 팽창 여부는 단순한 외형적 차이가 아니라, 구강 내 압력 조절 방식과 감각 피드백 전략을 동시에 반영하는 수행 변인으로 이해될 수 있다.

정상 성인을 대상으로 한 빨대발성의 즉각적 효과 연구에서는, 측정 지표에 따라 반응 민감도가 다르게 나타날 수 있다는 점도 주목할 필요가 있다. Costa et al.(2011)은 정상 성인과 성대 질환 환자를 대상으로 빨대발성의 즉각적 효과를 분석한 결과, 후두내성경 소견과 jitter, shimmer, HNR(harmonic-to-noise ratio), GRBAS(grade, roughness, breathiness, asthenia, strain)와 같은 음향학적·청지각적 지표에서는 유의한 변화가 관찰되지 않았다고 보고하였다. Kang et al.(2019) 역시 정상 성인에서 빨대발성 후 PTP와 평균 기류와 같은 공기역학적 지표에서는 즉각적인 변화가 관찰되었으나, jitter, shimmer, NHR(noise-to-harmonics ratio) 등에서는 뚜렷한 변화가 나타나지 않았음을 보고하였다. 이는 정상 성인에서 단발성 SOVTE 후 뚜렷한 음향학적 또는 청지각적 개선이 항상 관찰되는 것은 아니며, 공기역학적 지표가 보다 민감하게 즉각적 변화를 반영할 가능성이 있음을 시사한다.

종합하면, 지금까지의 선행연구는 빨대의 길이와 직경, 물저항 조건, 수행 시간, 진동원 유형, 그리고 수행 지침의 차이가 SOVTE의 효과에 영향을 미칠 수 있음을 보여주었다. 그러나 빨대발성 수행 시 볼 팽창 여부 자체를 독립적인 수행 전략 변수로 설정하여 비교한 연구는 국내외적으로 매우 제한적이다. 특히 볼 팽창은 구강 내 압력 형성, 성도의 형태적 조건, 감각 피드백 전략과 동시에 관련될 수 있는 변인임에도 불구하고, 이에 대

한 체계적인 비교는 충분히 이루어지지 않았다.

이에 본 연구는 정상 성인을 대상으로 빨대발성 수행 시 볼 팽창 여부에 따른 공기역학적 및 음향학적 반응 양상을 예비적으로 탐색하고자 하였다. 구체적으로, 공기역학적 지표(phonatory aerodynamic system, PAS)를 주요 탐색 지표로 설정하고, 음향학적 지표[RTP(real-time pitch), MDVP(Multi-Dimensional Voice Program), ADSV(Analysis of Dysphonia in Speech and Voice)]를 보조적으로 분석하여 사전-사후 변화와 조건 간 변화량의 경향을 기술하였다. 본 연구는 볼 팽창 여부의 효과를 확장적으로 검증하기보다, 소표본 파일럿 자료를 바탕으로 후속 피험자 내 설계 연구에서 우선적으로 검토할 변수 후보와 연구 설계 방향을 제시하는 데 목적이 있다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 연구 설계

본 연구는 빨대발성 수행 시 볼 팽창 여부에 따른 음성 산출 특성의 즉각적 반응 양상을 예비적으로 탐색하기 위한 파일럿 연구로 설계되었다. 연구 설계는 조건(볼 팽창 vs. 볼 비팽창)을 피험자 간 요인으로, 측정 시점(사전 vs. 사후)을 피험자 내 요인으로 하는 혼합 설계(mixed design)를 채택하였다(표 1). 각 참여자는 볼 팽창 조건(cheek inflation) 또는 볼 비팽창 조건(no cheek inflation) 중 하나에 배정되어 해당 조건의 빨대발성 과제를 수행하였으며, 모든 참여자는 사전(Pre)과 사후(Post) 두 시점에서 동일한 측정을 받았다(그림 1).

다만 본 연구는 조건별 표본 수가 제한된 피험자 간 파일럿 설계에 기반하므로, 조건 간 비교 결과를 볼 팽창 여부에 따른 확정적 조건 효과로 해석하는 데에는 제한이 있다. 특히 음성 산출 특성은 개인별 해부학적 구조, 발성 습관, 호흡 조절 방식에 따른 개인 간 변산성이 클 수 있으므로, 본 연구의 조건 간 변화량 비교는 후속 피험자 내 설계 연구에서 검토할 공기역학적 및 음향학적 반응 양상과 변수 후보를 탐색하기 위한 예비적 분석으로 수행되었다.

### 2.2. 연구 대상

본 연구에는 총 11명의 성인이 모집되었으며, 이 중 사전-사후 측정 자료가 완비된 8명의 자료가 최종 분석에 포함되었다. 참여자는 자가 보고 기준 음성장애 병력이 없는 정상 성인으로 구성되었다. 최종 분석 대상자는 볼 팽창 조건 4명과 볼 비팽창 조건 4명으로 구성되었다.

참여자 선정 기준은 다음과 같다. 첫째, 만 19세 이상의 성인, 둘째, 자가 보고 기준 현재 음성 문제를 호소하지 않는 자, 셋째, 연구의 목적과 절차를 이해하고 지시에 따라 실험 과제를 수행할 수 있는 자로 하였다. 제외 기준은 다음과 같다. 첫째, 현재 또는 최근 6개월 이내 음성 관련 질환으로 진단받거나 치료를 받은 이력이 있는 자, 둘째, 현재 호흡기 질환 또는 상기도 감염 증상이 있는 자, 셋째, 발성 또는 호흡 조절에 영향을 미칠 수 있는 신경학적 질환의 병력이 있는 자로 하였다.

모집된 11명 중 3명은 일부 공기역학적 또는 음향학적 측정값이 누락되었거나, 사전-사후 비교에 필요한 분석 가능한 자료가 완비되지 않아 최종 분석에서 제외하였다. 이에 따라 본 연구에서는 모든 주요 분석 지표에서 사전-사후 비교가 가능한 완전 자료를 가진 8명의 자료만 분석하였다.

본 연구는 조건별 표본 수가 각각 4명으로 제한된 소표본 파일럿 연구이므로, 조건 간 비교 결과의 신뢰도와 효과크기의 안정성에는 제한이 있다. 따라서 본 연구의 결과는 볼 팽창 여부에 따른 효과를 확장적으로 검증하기 위한 근거라기보다, 후속 연구에서 검토할 반응 양상과 변수 후보를 예비적으로 탐색하기 위한 자료로 해석하였다.

본 연구는 비침습적 음성 및 공기역학적 측정만을 포함하는 탐색적 파일럿 연구로서, 모든 참여자에게 연구의 목적과 절차에 대해 충분히 설명하였으며 자발적 동의를 얻은 후 연구를 진행하였다.

### 2.3. 실험 절차

모든 실험은 배경 소음이 통제된 조용한 공간에서 진행되었다. 음향 녹음은 참여자의 입으로부터 약 15 cm 거리에 고정된 콘덴서 마이크를 사용하여 수행되었으며, 샘플링 레이트 44,100 Hz, 16 bit 해상도로 디지털 녹음되었다.

실험 시작 전, 모든 참여자에게 빨대발성의 기본 수행 방법에 대해 표준화된 지시를 제공하였다. 빨대발성은 시중에서 쉽게 구할 수 있는 흰색 요구르트 빨대(길이 약 15 cm, 직경 약 3 mm)를 사용하여 수행되었다. 참여자는 볼 팽창 조건 또는 볼 비팽창 조건 중 하나에 배정되어 해당 조건의 빨대발성 과제를 수행하였다. 본 연구는 탐색적 파일럿 연구로 진행되었으므로, 조건 배정은 자료 수집 가능성과 실험 진행 상황을 고려하여 이루어졌으며 무작위 배정은 적용하지 않았다.

사전 측정(Pre)은 빨대발성 과제 수행 전에 실시되었으며, 참여자는 편안한 음도와 강도로 발성 과제를 수행하도록 지시받았다. 이후 참여자는 배정된 조건에 따라 동일한 빨대발성 과제를 수행하였다. 볼 팽창 조건의 참여자에게는 빨대를 입술 사이에 위치시킨 후, 양측 볼이 외부에서 손가락으로 압력을 가하더라도 쉽게 함몰되지 않을 정도로 팽창된 상태를 유지하면서 과제를 수행하도록 지시하였다. 반면 볼 비팽창 조건의 참여자에게는 동일한 빨대를 사용하되, 양측 볼이 팽창되지 않은 상태를 유지하면서 동일한 과제를 수행하도록 지시하였다.

빨대발성 과제는 3초간 모음 /u/를 연장발성하는 과제 10회, 음도 상승 및 하강 과제 3세트, 활창 상행 및 하행 과제 각 3세트, 그리고 '생일축하합니다' 멜로디 발성 1세트로 구성되었다. 모든 과제는 참여자가 편안한 음도와 강도에서 수행하도록 하였으며, 과제 수행 중 무리한 발성이나 과도한 호흡 압력을 사용하지 않도록 안내하였다. 빨대발성 수행 시 볼 팽창 조건과 볼 비팽창 조건의 수행 차이는 그림 2에 제시하였다. 해당 그림은 두 조건에서의 볼 팽창 여부와 빨대 위치를 시각적으로 비교하여 실험 과제의 절차적 차이를 명확히 하기 위한 것으로, 생리학적 측정 결과를 나타내는 것은 아니다.

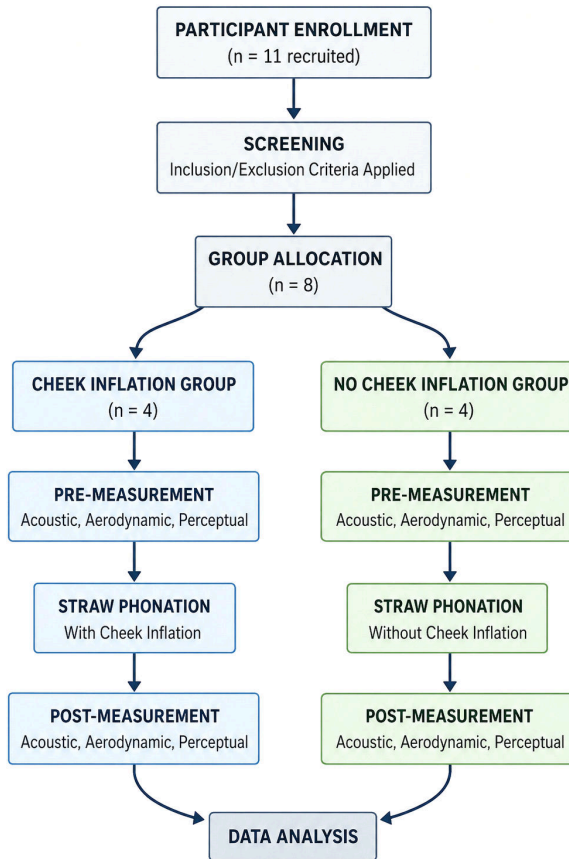


그림 1. 연구 설계 및 실험 절차  
Figure 1. Study design and experimental flow

표 1. 연구 설계 및 방법 요약  
Table 1. Summary of study design and methodology

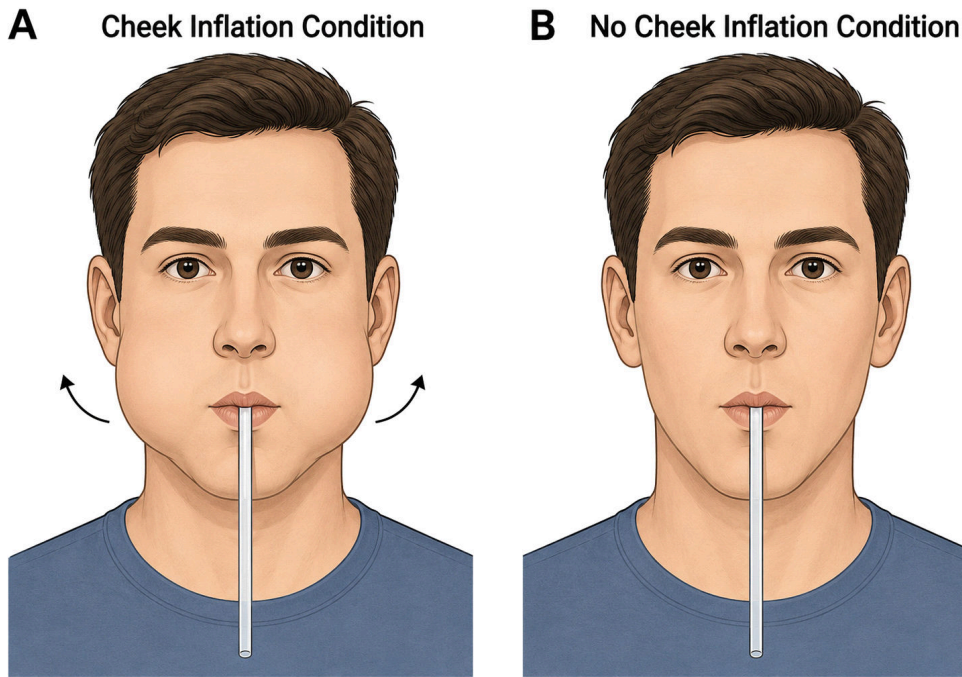
| Category                       | Description   |
|--------------------------------|---|
| Study design                   | Exploratory pilot study; mixed design with between-subjects factor (cheek condition) and within-subjects factor (time). Between-condition comparisons were interpreted as preliminary due to the small group size.  |
| Participants                   | 11 healthy adults recruited; 8 participants with complete pre-post data included in final analysis  |
| Inclusion criteria             | Age ≥ 19 years; no self-reported voice disorders; ability to follow experimental instructions   |
| Exclusion criteria             | Voice disorder diagnosis or treatment within 6 months; respiratory illness or upper airway infection; neurological conditions affecting phonation or respiration; incomplete pre-post measurement data  |
| Group allocation               | Cheek Inflation group (n=4); No Cheek Inflation group (n=4)   |
| Intervention task              | Straw phonation tasks consisting of sustained /u/ phonation, pitch ascending and descending tasks, ascending and descending glissando tasks, and one set of the “Happy Birthday” melody; Cheek Inflation: cheeks maintained in an expanded state; No Cheek Inflation: cheeks kept unexpanded during the same tasks  |
| Measurement timing             | Pre, before straw phonation; Post, immediately after straw phonation  |
| Outcome domains                | Aerodynamic measures as primary exploratory outcomes; acoustic measures as secondary exploratory outcomes; GRBAS as a descriptive reference measure   |
| Acoustic measures              | RTP: habitual pitch (F0); MDVP: F0, jitter (%), shimmer (%), NHR; ADSV: CPP (dB), L/H ratio   |
| Perceptual measures            | GRBAS (G, R, B, A, S), used to characterize the auditory-perceptual status of healthy participants  |
| Aerodynamic measures (primary) | PAS: AP, PAP, EAD, PEA, PT, MPAP, MADV, AE, MSDV, EV, MEA, AR   |
| Statistical analysis           | Nonparametric methods; Wilcoxon signed-rank test for pre-post comparisons; Mann-Whitney U test for between-group delta comparisons; effect sizes: rank-biserial correlation (r), Cliff’s delta; descriptive statistics: median (IQR); p-values interpreted descriptively due to the exploratory small-sample design; no correction for multiple comparisons |

GRBAS, grade, roughness, breathiness, asthenia, strain; RTP, real-time pitch; F0, habitual pitch; MDVP, Multi-Dimensional Voice Program; NHR, noise-to-harmonics ratio; ADSV, Analysis of Dysphonia in Speech and Voice; CPP, cepstral peak prominence; PAS, Phonatory Aerodynamic System; AP, aerodynamic power; PAP, peak air pressure; EAD, expiratory airflow duration; PEA, peak expiratory airflow; PT, phonation time; MPAP, mean peak air pressure; MADV, Mean Airflow During Voicing; AE, aerodynamic efficiency; MSDV, mean SPL during voicing; EV, expiratory volume; MEA, mean expiratory airflow; AR, airway resistance.

표 2. 연구 참여자의 특성  
Table 2. Participants' characteristics

| Group              | n | Age (years) | Sex (M/F) |
|--------------------|---|-------------|-----------|
| Cheek inflation    | 4 | 23.8±1.7    | 2/2       |
| No cheek inflation | 4 | 25.0±2.4    | 3/1       |
| Total              | 8 | 24.4±2.1    | 5/3       |

M, male; F, female.



This figure is intended to clarify the procedural difference between the two experimental conditions and does not represent physiological measurement data.

그림 2. 빨대발성 수행 시 볼 팽창 조건과 볼 비팽창 조건의 시각적 비교

Figure 2. Visual comparison of the cheek inflation and no-cheek-inflation conditions during straw phonation

사후 측정(Post)은 빨대발성 과제 종료 직후 사전 측정과 동일한 절차로 실시하였다. 측정을 위한 음성 샘플은 모음 연장 발성, 문장 읽기, 연결 발화 및 공기역학적 발성 과제를 통해 수집되었으며, 각 분석 도구에 사용된 말자료와 산출 변수는 부록 1에 제시하였다.

#### 2.4. 측정 변수

본 연구에서는 선행연구에서 빨대발성의 즉각적 변화에 상대적으로 민감한 것으로 보고된 공기역학적 지표를 주요 탐색 지표(primary exploratory outcomes)로 설정하였다. 음향학적 지표는 보조 탐색 지표(secondary exploratory outcomes)로 분석하였으며, 청지각적 평가는 정상 음성 성인 표본의 청지각적 특성을 확인하기 위한 보조적·기술적 지표(descriptive reference measure)로 활용하였다. 따라서 본 연구에서 GRBAS 결과는 빨대발성 또는 볼 팽창 여부에 따른 청지각적 효과를 판단하는 주요 근거로 해석하지 않았다.

#### 2.4.1. 주요 탐색 지표: 공기역학적 변수

공기역학적 측정은 PAS(Phonatory Aerodynamic System)를 사용하여 수행되었으며, 본 연구의 주요 탐색 지표로 설정하였다. 측정 변수는 공기역학적 파워(aerodynamic power, AP), 최대 공기압(peak air pressure, PAP), 호기 기류 지속시간(expiratory airflow duration, EAD), 최대 호기 기류율(peak expiratory airflow, PEA), 발성 시간(phonation time, PT), 평균 최대 공기압(mean peak air pressure, MPAP), 발성 중 평균 기류율(mean airflow during voicing, MADV), 공기역학적 효율(aerodynamic efficiency, AE), 발성 중 평균음압(mean SPL during voicing, MSDV), 호기량(expiratory volume, EV), 평균 호기류율(mean expiratory airflow, MEA), 공기역학적 저항(aerodynamic resistance, AR)을 포함하였다.

#### 2.4.2. 보조 탐색 지표: 음향학적 변수

음향학적 분석은 RTP, MDVP, ADSV를 사용하여 수행되었다. RTP를 통해 습관적 음도(habitual pitch, F0)를 측정하였다. MDVP를 통해 기본주파수(F0), 주파수 변동률(jitter, %), 진폭 변

동률(shimmer, %), 소음 대 배음비(NHR)를 분석하였다. ADSV 를 통해 캡스트럼 피크 현저성[cepstral peak prominence, CPP (dB)]과 저주파 대 고주파 스펙트럼 에너지 비율(low-to-high spectral ratio, L/H ratio)을 산출하였다.

#### 2.4.3. 보조적·기술적 지표: GRBAS

청지각적 평가는 GRBAS 척도를 사용하여 수행되었다. 평가 항목은 전반적 중증도(grade), 조조성(roughness), 기식성(breathiness), 무력성(asthenia), 긴장성(strain)을 포함하였다. 다만 본 연구 대상자가 자가 보고 기준 음성 문제를 호소하지 않는 정상 성인으로 구성되었으므로, GRBAS는 주요 효과 지표가 아니라 정상 음성 성인 표본의 청지각적 특성을 확인하기 위한 보조적·기술적 지표로 활용하였다. 따라서 GRBAS 점수의 사전-사후 변화 또는 조건 간 차이는 본 연구의 주요 효과 판단 근거로 해석하지 않았다.

#### 2.5. 자료 분석

수집된 자료의 통계 분석은 IBM SPSS Statistics를 사용하여 수행하였다. 소표본 파일럿 연구의 특성을 고려하여 모든 분석에 비모수적 방법을 적용하였다. 연구 참여자의 특성은 평균과 표준편차(mean±SD)로 제시하였고, 주요 분석 변수의 기술통계는 중앙값(median)과 사분위 범위(interquartile range, IQR)로 보고하였다.

개인 내 사전-사후 비교를 위해 Wilcoxon 부호순위 검정(Wilcoxon signed-rank test, two-tailed)을 적용하였으며, 변화량은  $\Delta(\text{Delta}) = \text{Post} - \text{Pre}$ 로 정의하였다. 사전-사후 비교의 효과크기는 순위-이연 상관계수(rank-biserial correlation,  $r$ )로 산출하였다. 조건 간(볼 팽창 vs. 볼 비팽창) 변화량 비교를 위해 Mann-Whitney U 검정(Mann-Whitney U test, two-tailed)을 적용하였으며, 이 비교의 효과크기는 Cliff's delta로 산출하였다.

통계적 유의수준은  $\alpha = 0.05$ 로 설정하였다. 다만 본 연구는 소표본 탐색 연구로서 다수의 변수를 확증적으로 검증하기보다 후속 연구에서 검토할 변수 후보와 반응 양상을 탐색하는 데 목적이 있었으므로,  $p$ -값은 확정적 효과 판단의 근거가 아니라 기술적 참고값으로 해석하였다. 또한 본 연구의 가설 생성적 성격과 파일럿 연구라는 특성을 고려하여 다중비교 보정은 적용하지 않았다. 이에 따라 결과 해석에서는 통계적 유의성뿐 아니라 효과크기의 크기, 변화 방향, 변수별 반응 양상을 함께 고려하였다.

특히 조건 간 변화량 비교는 각 조건 4명씩의 피험자 간 비교에 기반하므로, 관찰된 효과크기는 볼 팽창 여부에 따른 조건 효과를 확정하는 근거가 아니라 후속 피험자 내 설계 연구에서 검토할 예비적 지표로 해석하였다.

### 3. 연구 결과

#### 3.1. 참여자 특성

본 연구에는 총 11명의 참여자가 모집되었으나, 측정값이 완비된 8명의 자료가 최종 분석에 포함되었다. 볼 팽창 조건군과

볼 비팽창 조건군에는 각각 4명씩 배정되었다. 볼 팽창 조건군의 평균 연령은 23.8±1.7세였으며, 성별은 남성 2명, 여성 2명이었다. 볼 비팽창 조건군의 평균 연령은 25.0±2.4세였으며, 성별은 남성 3명, 여성 1명이었다. 전체 참여자의 평균 연령은 24.4±2.1세였고, 성별은 남성 5명, 여성 3명이었다(표 2).

#### 3.2. 사전-사후 비교

본 연구는 소표본 탐색 연구이며 다중비교 보정을 적용하지 않았으므로, 이하의  $p$ -값은 확정적 효과 판단의 근거가 아니라 후속 연구에서 검토할 예비적 변화 신호로 해석하였다. 또한 조건 간 변화량 비교는 각 조건 4명씩의 피험자 간 비교에 기반하므로, 관찰된 효과크기는 조건 효과를 입증하는 근거가 아니라 후속 피험자 내 설계 연구에서 검토할 변수 후보로 해석하였다. 주요 측정 변수의 사전-사후 비교 결과는 표 3에 제시하였으며, GRBAS는 보조적 청지각 지표로 평가하여 본문에서 별도로 기술하였다. 사전-사후 비교는 전체 참여자 8명을 대상으로 수행하였으며, 결과는 통계적 유의성뿐 아니라 변화 방향과 효과크기를 함께 고려하여 기술하였다.

##### 3.2.1. PAS (주요 측정 영역)

공기역학적 지표의 사전-사후 비교에서 일부 PAS 변수는 사후 증가 양상을 보였다. AP는 사전 중앙값 0.098(IQR: 0.064–0.157), 사후 중앙값 0.121(IQR: 0.083–0.178)로 나타났으며, 변화량 중앙값은 0.025였다(Wilcoxon  $p = 0.036$ ,  $r = 0.74$ ). PAP는 사전 중앙값 6.87(IQR: 5.03–7.86), 사후 중앙값 7.77(IQR: 5.75–8.45)로 나타났으며, 변화량 중앙값은 0.895였다(Wilcoxon  $p = 0.035$ ,  $r = 0.74$ ). PEA는 사전 중앙값 0.222(IQR: 0.177–0.325), 사후 중앙값 0.284(IQR: 0.194–0.353)로 나타났으며, 변화량 중앙값은 0.032였다(Wilcoxon  $p = 0.042$ ,  $r = 0.72$ ).

EAD는 사전 중앙값 0.90(IQR: 0.74–1.01), 사후 중앙값 1.07(IQR: 0.85–1.43)로 증가하는 양상을 보였으나, 본 연구에서는 이를 확정적 변화로 해석하지 않았다(Wilcoxon  $p = 0.050$ ,  $r = 0.69$ ). 전반적으로 PAS 변수 중 AP, PAP, PEA에서 상대적으로 큰 효과크기를 동반한 사전-사후 변화 양상이 관찰되었으나, 본 연구의 소표본 탐색 설계를 고려할 때 이러한 결과는 후속 연구에서 검토할 예비적 변화 신호로 해석하였다.

##### 3.2.2. MDVP

MDVP 변수 중 주파수 변동률(jitter)은 사전 중앙값 0.551%(IQR: 0.387–2.114), 사후 중앙값 0.376%(IQR: 0.253–0.604)로 감소하였으며, 변화량 중앙값은 -0.2745였다(Wilcoxon  $p = 0.017$ ,  $r = 0.84$ ). 반면 shimmer, NHR, F0에서는 뚜렷한 사전-사후 변화가 관찰되지 않았다. 본 연구에서 음향학적 변수는 보조 탐색 지표로 분석되었으므로, jitter의 변화 역시 확정적 음향학적 효과라기보다 후속 연구에서 검토할 예비적 결과로 해석하였다.

##### 3.2.3. RTP

RTP를 통해 산출한 F0에서는 사전-사후 비교에서 뚜렷한 변

화가 관찰되지 않았다.

### 3.2.4. ADSV

ADSV 변수인 CPP와 L/H ratio에서도 사전-사후 비교에서 뚜렷한 변화가 관찰되지 않았다. 이는 본 연구의 음향학적 지표가 정상 성인을 대상으로 한 단회 빨대발성 과제 후 즉각적 변화를 제한적으로만 반영했음을 시사한다.

### 3.2.5. GRBAS

GRBAS의 모든 항목(G, R, B, A, S)에서 사전과 사후 모두 중

양값 0.0(IQR: 0.0-0.0)으로 나타났다. 이는 본 연구 대상자가 정상 음성 성인으로 구성되었음을 반영하는 기술적 결과로 해석하였으며, 빨대발성 또는 볼 팽창 여부에 따른 청지각적 효과를 판단하는 근거로 사용하지 않았다. 이에 따라 GRBAS 결과는 표 3의 주요 변수 목록에는 포함하지 않고, 보조적 결과로 본문에서만 제시하였다.

### 3.3. 조건 간 변화량 비교

볼 팽창 조건과 볼 비팽창 조건 간 변화량( $\Delta$ ) 비교 중 주요 측

표 3. 음향학적, 공기역학적 및 청지각적 지표의 사전 - 사후 비교  
Table 3. Pre-Post comparisons of acoustic, aerodynamic, and perceptual measures

| Measurement Set | Variable    | n | Pre median (IQR)            | Post median (IQR)               | Delta median | p-value | r    |
|-----------------|-------------|---|-----------------------------|---------------------------------|--------------|---------|------|
| PAS             | AP          | 8 | 0.098<br>(0.064-0.157)      | 0.121<br>(0.083-0.178)          | 0.025        | .036    | 0.74 |
| PAS             | PAP         | 8 | 6.87<br>(5.03-7.86)         | 7.77<br>(5.75-8.45)             | 0.895        | .035    | 0.74 |
| PAS             | EAD         | 8 | 0.90<br>(0.74-1.01)         | 1.07<br>(0.85-1.43)             | 0.205        | .050    | 0.69 |
| PAS             | PEA         | 8 | 0.222<br>(0.177-0.325)      | 0.284<br>(0.194-0.353)          | 0.032        | .042    | 0.72 |
| PAS             | PT          | 8 | 18.74<br>(13.85-26.26)      | 16.23<br>(13.65-21.10)          | 0.890        | .069    | 0.64 |
| PAS             | MPAP        | 8 | 6.33<br>(4.51-7.24)         | 6.80<br>(4.93-8.03)             | 0.675        | .090    | 0.60 |
| PAS             | MADV        | 8 | 0.169<br>(0.135-0.246)      | 0.185 (0.165-<br>0.251)         | 0.0085       | .141    | 0.52 |
| PAS             | AE          | 8 | 97.515 (93.875<br>-137.468) | 142.075<br>(99.223-<br>235.173) | 60.005       | .161    | 0.50 |
| PAS             | MSDV        | 8 | 80.015 (76.943<br>-83.313)  | 81.240 (77.658<br>-81.923)      | 1.235        | .263    | 0.40 |
| PAS             | EV          | 8 | 2.925<br>(2.343-4.003)      | 2.645<br>(2.093-3.383)          | -0.110       | .310    | 0.36 |
| PAS             | MEA         | 8 | 0.146<br>(0.126-0.219)      | 0.139<br>(0.123-0.212)          | -0.0015      | .612    | 0.18 |
| PAS             | AR          | 8 | 29.21<br>(20.93-48.82)      | 32.06 (19.36-<br>44.80)         | -1.245       | .779    | 0.10 |
| MDVP            | F0          | 8 | 136.99 (109.81<br>-186.84)  | 135.12 (108.04<br>-184.11)      | 4.357        | .401    | 0.30 |
| MDVP            | Jitter (%)  | 8 | 0.551<br>(0.387-2.114)      | 0.376<br>(0.253-0.604)          | -0.2745      | .017    | 0.84 |
| MDVP            | Shimmer (%) | 8 | 2.036<br>(1.884-3.637)      | 2.107<br>(1.790-2.955)          | -0.1665      | .484    | 0.25 |
| MDVP            | NHR         | 8 | 0.133<br>(0.123-0.145)      | 0.131<br>(0.123-0.138)          | 0.0010       | .779    | 0.10 |
| RTP             | F0          | 8 | 136.99 (109.81<br>-186.84)  | 135.12 (108.04<br>-184.11)      | -3.315       | .123    | 0.54 |
| ADSV            | CPP (dB)    | 8 | 13.35<br>(12.07-15.11)      | 14.01<br>(13.20-14.68)          | 1.3535       | .575    | 0.20 |
| ADSV            | L/H ratio   | 8 | 31.88<br>(30.30-35.40)      | 31.56<br>(27.94-36.05)          | 0.2350       | 1.000   | 0.00 |

Values are reported as median (interquartile range). Delta = Post - Pre. Statistical comparisons were performed using the Wilcoxon signed-rank test (two-tailed). Effect size is rank-biserial correlation (r).

RTP, real-time pitch; MDVP, Multi-Dimensional Voice Program; ADSV, Analysis of Dysphonia in Speech and Voice; PAS, Phonatory Aerodynamic System; GRBAS, grade, roughness, breathiness, asthenia, strain; AP, aerodynamic power; PAP, peak air pressure; EAD, expiratory airflow duration; PEA, peak expiratory airflow; PT, phonation time; MPAP, mean peak air pressure; MADV, mean airflow during voicing; AE, aerodynamic efficiency; MSDV, mean SPL during voicing; EV, expiratory volume; MEA, mean expiratory airflow; AR, airway resistance; CPP, cepstral peak prominence; L/H ratio, low-to-high spectral ratio; NHR, noise-to-harmonics ratio.

정 변수에 대한 결과는 표 4에 제시하였으며, GRBAS는 변화가 제한적이어서 본문에서 보조적으로만 기술하였다. 조건 간 변화량 비교에서는 모든 변수에서 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 볼 팽창 여부에 따른 조건 효과를 단정하지 않았으며, 일부 변수에서 관찰된 효과크기는 후속 피험자 내 설계 연구에서 검토할 예비적 변수 후보로 해석하였다.

### 3.3.1. PAS: 주요 탐색 지표

PAS 변수의 조건 간 변화량 비교에서 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 다만 일부 변수에서는 조건별 변화 방향과 효과크기에서 차이가 관찰되었다. 예를 들어 PT의 변화량 중앙값은 볼 팽창 조건에서 -0.0050, 볼 비팽창 조건에서 -3.1650으로 나타났으며, 통계적으로 유의하지는 않았으나 비교적 큰 효과크기가 관찰되었다( $p = .057$ , Cliff's  $\delta = 0.88$ ). EAD과 MEA 역시 조건 간 통계적 차이는 확인되지 않았으나, 효과크기상 후속 연구에서 검토할 가능성이 있는 변수로 관찰되었다.

이러한 결과는 볼 팽창 여부에 따른 조건 효과를 입증하는 근거가 아니라, 향후 더 큰 표본과 피험자 내 설계를 적용한 연구에서 우선적으로 검토할 공기역학적 변수 후보를 제시하는 예비적 결과로 해석하였다. 따라서 그림 3 역시 조건 간 효과를 제

시하기 위한 결과 그림이 아니라, 후속 연구에서 검토할 수 있는 주요 공기역학적 반응 양상을 기술적으로 정리한 보조 자료로 해석하였다.

### 3.3.2. MDVP

MDVP 변수의 조건 간 변화량 비교에서는 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 볼 팽창 여부에 따른 조건별 음향학적 차이를 확인하지 못하였다.

### 3.3.3. RTP, ADSV, GRBAS

RTP, ADSV 및 GRBAS의 조건 간 변화량 비교에서도 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 특히 GRBAS는 모든 항목에서 변화가 제한적이었으며, 이는 정상 음성 성인 표본에서 청지각적 평가가 즉각적 변화 지표로 기능하기 어려웠음을 반영한다.

## 3.4. 관찰된 특성

본 연구에서는 전체적으로 공기역학적 지표에서 상대적으로 뚜렷한 사전-사후 변화 양상이 관찰된 반면, 음향학적 지표와 청지각적 지표에서는 제한적인 변화만 관찰되었다. GRBAS의 모든 항목은 사전 및 사후 중앙값이 0.0으로 나타나 정상 음성 성인 표본의 특성을 반영하였다.

표 4. 조건 간 변화량(delta) 비교

Table 4. Between-Condition comparisons of change scores (delta)

| Measurement set | Variable    | Check inflation n | Check inflation $\Delta$ median | No cheek inflation n | No cheek inflation $\Delta$ median | p-value | Cliff's $\delta$ |
|-----------------|-------------|-------------------|---------------------------------|----------------------|------------------------------------|---------|------------------|
| PAS             | AP          | 4                 | 0.0205                          | 4                    | 0.0280                             | .886    | -0.13            |
| PAS             | PAP         | 4                 | 0.6950                          | 4                    | 1.4050                             | .686    | -0.25            |
| PAS             | EAD         | 4                 | 0.0950                          | 4                    | 0.3250                             | .114    | -0.75            |
| PAS             | PEA         | 4                 | 0.0260                          | 4                    | 0.0510                             | .486    | -0.38            |
| PAS             | PT          | 4                 | -0.0050                         | 4                    | -3.1650                            | .057    | 0.88             |
| PAS             | MPAP        | 4                 | 0.6750                          | 4                    | 0.6600                             | .686    | -0.19            |
| PAS             | MADV        | 4                 | 0.0085                          | 4                    | 0.0290                             | 1.000   | 0.00             |
| PAS             | AE          | 4                 | 65.1900                         | 4                    | 45.7750                            | .886    | 0.13             |
| PAS             | MSDV        | 4                 | 0.9250                          | 4                    | 1.2350                             | .686    | 0.25             |
| PAS             | EV          | 4                 | -0.2050                         | 4                    | -0.0450                            | .686    | -0.25            |
| PAS             | MEA         | 4                 | -0.0105                         | 4                    | 0.0080                             | .200    | -0.63            |
| PAS             | AR          | 4                 | -1.2450                         | 4                    | 1.9900                             | .886    | -0.13            |
| MDVP            | F0          | 4                 | -0.9710                         | 4                    | 9.7905                             | .886    | -0.13            |
| MDVP            | Jitter (%)  | 4                 | -0.2745                         | 4                    | -0.4010                            | .886    | -0.13            |
| MDVP            | Shimmer (%) | 4                 | 0.4040                          | 4                    | -0.1665                            | .686    | 0.25             |
| MDVP            | NHR         | 4                 | 0.0015                          | 4                    | -0.0030                            | .486    | 0.38             |
| RTP             | F0          | 4                 | -3.3150                         | 4                    | -2.3950                            | .886    | -0.13            |
| ADSV            | CPP (dB)    | 4                 | 1.3535                          | 4                    | -0.0940                            | 1.000   | 0.00             |
| ADSV            | L/H ratio   | 4                 | 0.1685                          | 4                    | 1.3975                             | .886    | -0.13            |

Delta=Post-Pre. Statistical comparisons were performed using the Mann-Whitney U test (two-tailed). Effect size is Cliff's delta ( $\delta$ ).

AP, aerodynamic power; PAP, peak air pressure; EAD, expiratory airflow duration; PEA, peak expiratory airflow; PT, phonation time; MPAP, mean peak air pressure; MADV, Mean Airflow During Voicing; AE, aerodynamic efficiency; MSDV, mean SPL during voicing; EV, expiratory volume; MEA, mean expiratory airflow; AR, airway resistance; F0, fundamental frequency; NHR, noise-to-harmonics ratio; CPP, cepstral peak prominence; L/H ratio, low-to-high spectral ratio.

## Directional Changes in Key Aerodynamic Measures by Condition

| Measure                           | Cheek Inflation Condition<br>(Pre → Post) | No Cheek Inflation Condition<br>(Pre → Post) |
|-----------------------------------|---|--|
| Aerodynamic Power (AP)            | ↑ Increase                                | ↑ Increase                                   |
| Peak Air Pressure (PAP)           | ↑ Increase                                | ↑ Increase                                   |
| Expiratory Airflow Duration (EAD) | ↑ Increase                                | ↑ Increase                                   |
| Phonation Time (PT)               | ↓ Decrease                                | ↓ Decrease                                   |
| Mean Expiratory Airflow (MEA)     | ↓ Decrease                                | ↑ Increase                                   |

↑ = Increase (Post > Pre); ↓ = Decrease (Post < Pre)

Directional changes are presented for descriptive purposes only and should not be interpreted as evidence of statistically significant condition effects. The variables shown were selected to illustrate exploratory patterns for future investigation.

**그림 3.** 조건별 주요 공기역학적 지표의 변화 방향  
**Figure 3.** Directional changes in key aerodynamic measures by condition

조건 간 변화량 비교에서는 통계적으로 유의한 차이가 확인되지 않았으나, 일부 PAS 변수에서 비교적 큰 효과크기가 관찰되었다. 그러나 본 연구의 조건 간 비교는 각 조건 4명씩의 피험자 간 설계에 기반하므로, 이러한 결과는 조건 효과의 증거가 아니라 후속 연구에서 검토할 예비적 반응 양상으로 제한하여 해석하였다. 또한 다수의 변수에서 IQR 범위가 비교적 넓게 나타나 개인 간 변산성이 관찰되었으며, 이는 향후 피험자 내 설계의 필요성을 시사한다.

### 4. 논의 및 결론

이하에서는 앞서 제시된 결과를 바탕으로, 본 연구의 탐색적 목적에 부합하는 범위 내에서 잠정적 해석을 시도하고자 한다.

#### 4.1. 주요 결과 요약 및 전반적 패턴

본 연구는 정상 성인을 대상으로 빨대발성 수행 시 볼 팽창 여부에 따른 공기역학적 및 음향학적 반응 양상을 예비적으로 탐색하고자 하였다. 전체 참여자를 대상으로 한 사전-사후 비교에서는 일부 PAS 변수에서 사후 변화 양상이 관찰되었으며, 음향학적 변수 중에서는 jitter에서 변화가 관찰되었다. 반면, 조건 간 변화량 비교에서는 모든 변수에서 통계적으로 유의한 차이가 확인되지 않았다. 따라서 본 연구 결과는 볼 팽창 여부에 따른 확정적 조건 효과를 입증하는 근거가 아니라, 후속 연구에서 검토할 수 있는 예비적 반응 양상을 제시하는 자료로 해석되어야 한다.

전반적으로 본 연구에서는 음향학적 지표나 청지각적 지표

보다 공기역학적 지표에서 상대적으로 뚜렷한 변화 양상이 관찰되었다. 이는 정상 성인을 대상으로 한 단회 빨대발성 과제에서 즉각적 변화가 모든 음성 지표에 동일하게 반영되기보다는, 호기 흐름, 압력 형성, 발성 시간과 관련된 공기역학적 변수에서 먼저 포착될 가능성이 있음을 시사한다. 다만 본 연구는 소표본 탐색 연구이며 다중비교 보정을 적용하지 않았으므로, 이러한 결과는 확증적 효과라기보다 후속 연구에서 우선적으로 검토할 변수 후보로 해석하는 것이 타당하다.

GRBAS의 모든 항목에서 사전 및 사후 점수가 0점으로 나타난 것은 본 연구 대상자가 정상 음성 성인으로 구성되었음을 반영하는 결과로 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 GRBAS는 빨대발성 또는 볼 팽창 여부에 따른 청지각적 효과를 판단하는 주요 근거가 아니라, 정상 음성 성인 표본의 특성을 확인하는 보조적·기술적 지표로 해석하였다.

#### 4.2. 볼 팽창 여부에 따른 발성 조절 전략의 차이 가능성

본 연구에서 조건 간 변화량 비교는 통계적으로 유의하지 않았으므로, 볼 팽창 여부에 따른 명확한 조건 효과를 결론내릴 수는 없다. 다만 일부 PAS 변수에서 조건별 변화 방향과 효과크기가 다르게 나타났다는 점은, 후속 연구에서 검토할 수 있는 예비적 공기역학적 반응 양상을 제시한다. 특히 PT, EAD, MEA 등은 조건 간 통계적 차이는 확인되지 않았으나, 효과크기 측면에서 후속 연구의 주요 후보 변수로 고려될 수 있다.

이러한 결과를 해석하는 하나의 가능성은, 볼 팽창 여부가 빨대발성 수행 시 입술 뒤쪽 구강 공간의 형태와 압력 형성 방식에 영향을 줄 수 있다는 점이다. 선행연구에서는 SOVTE 과제의

종류나 수행 조건에 따라 구강내압 및 압력-유량 특성이 달라질 수 있음이 보고되어 왔다. 따라서 동일한 빨대발성 과제라 하더라도, 볼을 팽창시킨 상태와 팽창시키지 않은 상태는 구강 공간의 형태, 벽의 순응도, 감각적 피드백 조건에서 차이를 만들 수 있으며, 이러한 차이가 일부 공기역학적 변수의 변화 방향에 반영되었을 가능성이 있다.

그러나 본 연구에서는 구강내압, back pressure, 성문상압, 호흡근 활성화, 안면 근활동 또는 감각 피드백 관련 생리 신호를 직접 측정하지 않았다. 따라서 본 연구 결과만으로 볼 팽창 여부가 실제로 발성 조절 전략을 변화시켰다고 단정할 수는 없다. 본 연구에서 관찰된 조건별 반응 차이는 직접적 생리 기전에 대한 증거라기보다, 후속 연구에서 구강내압 측정, 압력-유량 분석, 호흡 운동학적 측정, 안면 또는 호흡근 관련 생리 지표를 포함하여 검증해야 할 가설 생리적 관찰로 해석하는 것이 타당하다.

이러한 점에서 본 연구의 의의는 볼 팽창 여부가 빨대발성의 효과를 결정하는 독립 요인임을 입증했다는 데 있지 않다. 오히려 동일한 빨대발성 과제 안에서도 수행 방식의 세부 차이가 공기역학적 반응 양상에 영향을 줄 가능성이 있음을 예비적으로 관찰하고, 향후 피험자 내 설계 연구에서 우선적으로 검토할 변수와 측정 방향을 제시했다는 점에 있다.

### 4.3. 연구의 제한점

본 연구는 몇 가지 중요한 제한점을 가진다. 첫째, 최종 분석 대상자가 8명으로 매우 적고, 각 조건이 4명씩으로 구성되어 조건 간 비교의 통계적 검정력과 결과의 안정성이 제한적이다. 특히 본 연구는 피험자 간 설계를 적용하였으므로, 조건 간 변화량 차이가 볼 팽창 여부에 따른 반응인지, 개인별 해부학적 구조, 발성 습관, 호흡 조절 방식 등 개인 간 변산성에 따른 차이인지 명확히 구분하기 어렵다. 따라서 본 연구의 조건 간 비교 결과는 볼 팽창 여부의 효과를 확정적으로 검증한 결과가 아니라, 후속 피험자 내 설계 연구에서 검토할 예비적 관찰로 제한하여 해석해야 한다.

둘째, 본 연구는 정상 성인을 대상으로 하였기 때문에 표본 확보가 상대적으로 어려운 임상군 대상 연구와는 성격이 다르다. 따라서 소표본 파일럿 연구로서의 의의를 인정하더라도, 본 결과만으로 일반 성인에서의 빨대발성 효과나 볼 팽창 여부의 조건 효과를 일반화하기에는 제한이 있다. 향후 연구에서는 더 큰 표본을 확보하거나, 동일 참여자가 볼 팽창 조건과 볼 비팽창 조건을 모두 수행하는 피험자 내 설계를 적용하여 개인 간 변산성을 통제할 필요가 있다.

셋째, 본 연구에서는 볼 팽창 여부에 따른 구강내압, back pressure, 성문상압, 압력-유량 특성 등을 직접 측정하지 않았다. 따라서 일부 PAS 변수에서 관찰된 조건별 반응 양상이 실제 압력 형성 방식의 차이를 반영하는지 직접적으로 확인할 수 없었다. 향후 연구에서는 구강내압 측정, 압력-유량 분석, 호흡 운동학적 측정, 안면 또는 호흡근 관련 생리 지표를 함께 포함하여 볼 팽창 여부가 빨대발성 수행 중 생리적 조절 양상에 미치는 영향을 보다 직접적으로 검증할 필요가 있다.

넷째, 본 연구의 측정 시점은 빨대발성 과제 수행 직후에 한정되었다. 따라서 관찰된 변화가 얼마나 지속되는지, 또는 시간이 경과하면서 회복되거나 변화 양상이 달라지는지는 확인할 수 없었다. 후속 연구에서는 즉각 측정뿐 아니라 일정 시간 간격을 둔 반복 측정을 포함하여 빨대발성 후 반응의 지속성과 시간 경과에 따른 변화를 함께 분석할 필요가 있다.

다섯째, 본 연구에서 GRBAS는 정상 음성 성인 표본의 청지각적 특성을 확인하기 위한 보조적·기술적 지표로 활용되었다. 정상 성인은 기저 음질이 양호하므로 GRBAS에서 바닥 효과가 나타날 가능성이 높으며, 본 연구에서도 모든 항목에서 사전 및 사후 점수가 0점으로 나타났다. 따라서 GRBAS는 본 연구에서 빨대발성 또는 볼 팽창 여부에 따른 즉각적 청지각적 변화를 민감하게 포착하는 결과 지표로 기능하기 어려웠다. 향후 연구에서는 CAPE-V, VAS, paired-comparison, listener preference task 등 보다 민감한 청지각적 평가 방식을 적용할 필요가 있다.

마지막으로, 본 연구는 다수의 음향학적·공기역학적 변수를 포함하였으나, 소표본 탐색 연구의 성격상 다중비교 보정을 적용하지 않았다. 따라서 본 연구에서 제시된  $p$ -값과 효과크기는 확정적 효과 판단의 근거가 아니라 후속 연구에서 우선적으로 검토할 변수 후보를 제시하는 기술적·탐색적 결과로 해석해야 한다.

### 4.4. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구는 정상 성인을 대상으로 빨대발성 수행 시 볼 팽창 여부에 따른 공기역학적 및 음향학적 반응 양상을 예비적으로 탐색한 파일럿 연구이다. 전체 참여자를 대상으로 한 사전-사후 비교에서는 일부 PAS 변수와 jitter에서 변화 양상이 관찰되었으나, 조건 간 변화량 비교에서는 통계적으로 유의한 차이가 확인되지 않았다. 따라서 본 연구 결과는 볼 팽창 여부에 따른 명확한 조건 효과를 입증하는 근거로 해석되기보다, 후속 연구에서 검토할 수 있는 예비적 반응 양상으로 이해되어야 한다.

그럼에도 불구하고, 일부 공기역학적 변수에서 조건별로 서로 다른 변화 방향과 비교적 큰 효과크기가 관찰되었다는 점은 주목할 만하다. 특히 발성시간, 호기 기류 지속시간, 평균 호기 류율과 같은 PAS 변수는 향후 더 큰 표본과 피험자 내 설계를 적용한 연구에서 우선적으로 검토할 변수 후보가 될 수 있다. 이러한 관찰은 빨대발성의 효과를 이해할 때 빨대의 물리적 조건 뿐 아니라, 수행자가 실제로 어떠한 방식으로 구강 내 압력과 발성 과제를 조절하는지도 고려할 필요가 있음을 시사한다.

향후 연구에서는 더 큰 표본을 확보하고, 동일 참여자가 볼 팽창 조건과 볼 비팽창 조건을 모두 수행하는 피험자 내 설계를 적용할 필요가 있다. 또한 조건 순서의 무작위화, 충분한 휴식 또는 washout 절차, 구강내압 및 압력-유량 특성의 직접 측정, 호흡 운동학적 측정, 안면 또는 호흡근 관련 생리 지표를 포함한다면 볼 팽창 여부가 빨대발성 수행 중 실제 생리적 조절 양상에 미치는 영향을 보다 명확히 확인할 수 있을 것이다.

결론적으로, 본 연구는 볼 팽창 여부가 빨대발성의 효과를 결정한다는 확정적 근거를 제시한 연구가 아니라, 소표본 정상 성

인 자료를 바탕으로 볼 팽창 여부에 따른 일부 공기역학적 반응 양상을 예비적으로 관찰한 연구이다. 본 결과는 향후 보다 정교한 피험자 내 설계 연구를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## References

- An, J. H., Choi, S. H., Lee, K., Choi, C. H., & Youn, J. I. (2022). Clinical applications of facial sensor biofeedback: Implications for voice therapy or vocal training. *Communication Sciences & Disorders*, 27(2), 420-431.
- Costa, C. B., Costa, L. H. C., Oliveira, G., & Behlau, M. (2011). Immediate effects of the phonation into a straw exercise. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 77(4), 461-465.
- Gaskill, C. S., & Quinney, D. M. (2012). The effect of resonance tubes on glottal contact quotient with and without task instruction: A comparison of trained and untrained voices. *Journal of Voice*, 26(3), E79 - E93.
- Heller-Stark, A., Maxfield, L., Herrick, J., Smith, M., & Titze, I. (2024). Comparative study of two semi-occluded vocal tract protocols: A randomized clinical trial. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 67(11), 4275-4287.
- Jo, H. A., & Lee, S. J. (2024). Effects of semi-occluded vocal tract exercises with different vibration sources and duration on healthy adults' voice. *Communication Sciences & Disorders*, 29(1), 160 - 169.
- Kang, J., Xue, C., Piotrowski, D., Gong, T., Zhang, Y., & Jiang, J. J. (2019). Lingering effects of straw phonation exercises on aerodynamic, electroglottographic, and acoustic parameters. *Journal of Voice*, 33(5), 810.E5-810.E11.
- Kim, J. (2019). Meta-analysis of semi-occluded vocal track exercise studies on acoustic, aerodynamic, and electroglottographic results. *Communication Sciences & Disorders*, 24(2), 535-551.
- Kim, J. S. (2024). Comparison of vocal amplitude and contact speed according to SOVTE type. *Communication Sciences & Disorders*, 29(3), 666-673.
- Kim, M. G., Choi, S. H., & Youn, J. I. (2023). Tube phonation in water for patients with hyperfunctional voice disorders: The effect of tube diameter and water immersion depth on bubble height and maximum phonation time. *Phonetics and Speech Sciences*, 15(2), 31-40.
- Maxfield, L., Titze, I., Hunter, E., & Kapsner-Smith, M. (2015). Intraoral pressures produced by thirteen semi-occluded vocal tract gestures. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 40(2), 86-92.
- Smith, S. L., & Titze, I. R. (2017). Characterization of flow-resistant tubes used for semi-occluded vocal tract voice training and therapy. *Journal of Voice*, 31(1), 113.E1-113.E8.
- Tangney, J., Scholp, A., Kang, J., Raj, H., & Jiang, J. J. (2021). Effects of varying lengths and diameters during straw phonation on an excised canine model. *Journal of Voice*, 35(1), 85-93.
- Titze, I. R. (2006). Voice training and therapy with a semi-occluded vocal tract: Rationale and scientific underpinnings. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 49(2), 448-459.

### • 이승수 (Seung-su Lee)

연세대학교 일반대학원 언어병리협동과정  
천지인발성연구소 연구원  
서울특별시 서대문구 연세로 50  
Tel: 02-1599-1885  
Email: seungsu.lee@yonsei.ac.kr  
관심분야: 음성장애, 음성치료

### • 최홍식 (Hong-Shik Choi) 교신저자

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실 명예교수  
천지인발성연구소장  
서울특별시 서대문구 연세로 50  
Tel: 02-1599-1885  
Email: HSCHOI@yuhs.ac  
관심분야: 음성장애, 음성치료, 성대수술

# Appendix 1. Speech Materials and Straw Phonation Procedures

Overview of speech materials, PAS use, and the experimental straw phonation tasks used at pre- and post-test.

## A. Speech materials used for analysis

| Domain                         | Tool / material  | Variables / purpose                                      |
|--------------------------------|--|--|
| Aerodynamic analysis           | Phonatory Aerodynamic System (PAS)<br>Maximum sustained phonation protocol + voice efficiency protocol | AP, PAP, EAD, PEA, PT, MPAP, MADV, AE, MSDV, EV, MEA, AR |
| Acoustic analysis              | RTP<br>Reading of the Autumn Passage   | Habitual pitch (F0)                                      |
| Acoustic analysis              | MDVP and ADSV<br>Sustained /a/ at comfortable pitch and loudness                                       | MDVP: F0, jitter, shimmer, NHR<br>ADSV: CPP, L/H ratio   |
| Auditory-perceptual evaluation | GRBAS<br>Pre- and post-test voice samples  | G, R, B, A, S<br>Used as a descriptive reference measure |

All speech tasks were applied at both pre-test and post-test.

## B. Straw phonation procedure

 Straw: white yogurt straw, approximately 15 cm in length and 3 mm in diameter.



1 Sustained /u/ phonation for 3 seconds × 10

2 Pitch ascending and descending tasks × 3 sets

3 Glissando tasks: ascending and descending × 3 sets each

4 'Happy Birthday' melody × 1 set

### Cheek Inflation condition

- Sit upright with the straw placed between the lips.
- Keep both cheeks inflated throughout the task.
- Inhale through the nose and exhale slowly through the straw.
- Maintain a steady, comfortable voice and avoid excessive neck tension.

### No Cheek Inflation condition

- Use the same posture and the same straw.
- Keep both cheeks uninflated during the task.
- Maintain a light, steady voice.
- Avoid excessive neck tension.

**Abbreviations:** RTP = Real-Time Pitch; MDVP = Multi-Dimensional Voice Program; ADSV = Analysis of Dysphonia in Speech and Voice; PAS = Phonatory Aerodynamic System; GRBAS = Grade, Roughness, Breathiness, Asthenia, Strain; CPP = cepstral peak prominence; L/H ratio = low-to-high spectral ratio; NHR = noise-to-harmonics ratio.

# 빨대발성 시 볼 팽창 여부에 따른 공기역학적 및 음향학적 반응 양상: 탐색적 파일럿 연구

이 승 수<sup>1,2</sup> · 최 홍 식<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 일반대학원 언어병리협동과정, <sup>2</sup>천지인발성연구소,

<sup>3</sup>연세대학교 의과대학 이비인후과학교실

## 국문초록

본 연구는 정상 성인을 대상으로 빨대발성 수행 시 볼 팽창 여부에 따른 공기역학적 및 음향학적 반응 양상을 예비적으로 탐색하고자 한 파일럿 연구이다. 완전한 사전-사후 자료가 확보된 성인 8명을 볼 팽창 조건과 볼 비팽창 조건에 배정하여 피험자 간 설계로 비교하였다. 공기역학적 지표는 PAS(Phonatory Aerodynamic System)을 통해 측정하였으며, 본 연구의 주요 탐색 지표로 설정하였다. 음향학적 지표는 RTP(real-time pitch), MDVP(Multi-Dimensional Voice Program), ADSV(Analysis of Dysphonia in Speech and Voice)를 통해 분석하였고, GRBAS(grade, roughness, breathiness, asthenia, strain)는 정상 음성 성인 표본의 청지각적 특성을 확인하기 위한 보조적·기술적 지표로 활용하였다. 소표본 파일럿 연구의 특성을 고려하여 비모수 통계와 효과크기를 함께 제시하였다. 사전-사후 비교에서는 공기역학적 파워(aerodynamic power), 최대 공기압(peak air pressure), 최대 호기 기류율(peak expiratory airflow) 등 일부 PAS 변수에서 변화 양상이 관찰되었으며, 음향학적 변수 중에서는 jitter에서 변화가 나타났다. 조건 간 변화량 비교에서는 통계적으로 유의한 차이가 확인되지 않았으나, 발성시간(phonation time), 호기 기류 지속시간(expiratory airflow duration), 평균 호기 기류율(mean expiratory airflow)에서 상대적으로 큰 효과크기가 관찰되었다. 이러한 결과는 볼 팽창 여부에 따른 조건 효과를 확정적으로 입증하는 근거가 아니라, 더 큰 표본과 피험자 내 설계, 직접 생리 측정을 포함한 후속 연구에서 우선적으로 검토할 공기역학적 변수 후보를 제시하는 예비적 관찰로 해석되어야 한다.

핵심어: 공기역학 측정, 볼 팽창, 파일럿 연구, 반폐쇄 성도 운동

## 참고문헌

- 김민경, 최성희, 윤종인(2023). 과기능적 음성장애 환자의 물저항 발생: 튜브 직경과 물 깊이가 물거품 높이 및 최대발성지속시간에 미치는 영향. *말소리와 음성과학*, 15(2), 31-40.
- 김재욱(2019). 반폐쇄성도훈련의 주관적 음성평가에 대한 메타 분석: 음향학적, 공기역학적, 전기성문파형 검사. *언어치료연구*, 28(2), 1-11.
- 김지성(2024). SOVTE 종류에 따른 상대진폭과 상대접촉 속도의 차이. *Communication Sciences & Disorders*, 29(3), 666-673.
- 조현아, 이승진(2024). 반폐쇄성도훈련법의 진동원과 수행시간이 정상 성인의 음성에 미치는 효과. *Communication Sciences & Disorders*, 29(1), 160-169.
- 안지호, 최성희, 이경재, 최철희, 윤종인(2022). 안면센서 바이오 피드백의 임상적 적용: 음성치료 또는 발성훈련에 미치는 효과. *Communication Sciences & Disorders*, 27(2), 420-431.