

음도 고정 유무에 따른 공기역학, 음성효율성 및 성대접촉률 차이 Aerodynamic Characteristics, Vocal Efficiency, and Closed Quotient Differences according to Fundamental Frequency Fixation

김 재 옥¹⁾

Kim, Jaeock

ABSTRACT

The aerodynamic characteristics (subglottal pressure (Ps) and mean airflow rate (MFR)), fundamental frequency (Fo), intensity (I), vocal efficiency (VE), and closed quotient (CQ) were compared during a sustained vowel /o/ sound under three conditions: in a comfortable loudness and pitch level (condition 1), in a maximum loudness level with a fixed pitch (condition 2), and in a maximum loudness level without a fixed pitch (condition 3). Also, multiple regression analyses were done to measure the aerodynamic characteristics affect on the VE and the CQ in each condition. The results showed the Fo, Ps, MFR, VE, and CQ increased as I increased with and without fixed pitch. Most notably, VE in condition 3 was the highest of all the conditions, but CQ was not very high. By the results of multiple regression analysis, VE was significantly affected by I and Ps in all conditions; Fo was the other main key for affecting VE in high pitch. However, none of the aerodynamic characteristics significantly affected CQ. As I increases, Fo should be increased by increasing Ps and VE. Therefore, researchers should consider and specify an *a priori* to Fo, Ps, and I when measuring VE to examine the complex and delicate vocal mechanism.

Keywords: aerodynamic characteristics, vocal efficiency, closed quotient, fixed pitch

1. 서론

음성 생성의 원리를 살펴보면, 근탄력 공기역학 이론 (myoelastic-aerodynamic theory)에서 제시된 바와 같이 성대 내 진근들의 수축에 의해 성문이 폐쇄되면서 호흡기 체계에 의해 생성된 호기가 성문에 도달하게 되면 성문하부의 압력(성문하압, subglottal pressure)이 상승하여 성대가 열리게 되고, 성대의 탄성(elasticity)과 베르누이 효과(Bernoulli effect)의 상호작용에 의해 성문이 다시 닫히게 된다. 이러한 연속적 과정에 의해 성문의 개폐가 반복되고 그 결과로 성대음(glottal sound)이 생성된다. 이 성대음이 성도를 통과할 때 성도의 길이와 모양에 의해 변형되고, 최종적으로 입술로부터 외부로 전파되

는 음향에너지(acoustic power)로 전환되는데, 이 때 호기가 얼마나 효율적으로 음향에너지로 전환되었는지 파악할 수 있으며, 이를 음성효율성(vocal efficiency)이라고 한다[1]. 음성효율성이 높아야 듣기 좋은 음성이 산출될 수 있다.

음성효율성은 음향에너지에 대한 공기역학(aerodynamic power)의 비율로 나타내며, 다음의 수식에 의해 산출된다 [2],[3].

$$\text{Vocal Efficiency} = \frac{\text{Acoustic power, watts}}{\text{Aerodynamic power, watts}} = \frac{4 \times \pi \times r^2 \times \text{sound intensity}}{\text{mean airflow rate (mL/s)} \times \text{subglottal pressure (kPa)}}$$

r = distance to microphone (meter)

I = intensity (dB)

1) 강남대학교 교육대학원 언어치료교육전공,
jaeock@gmail.com

접수일자: 2013년 1월 10일
수정일자: 2013년 2월 18일
게재결정: 2013년 3월 23일

위의 수식에 따르면 음성효율성은 성문의 폐쇄로 인해 생

성된 성문하압, 호흡계의 기능 및 성문 폐쇄 정도에 따른 호기류율과 직접적인 연관성을 갖는다. 일반적으로 음성효율성은 낮은 호기류율과 성문하압을 사용하여 높은 음성강도가 산출될 때 높아진다[3]. 음성효율성과 성문 폐쇄와의 관계에 있어서는 성대를 강하게 접촉시켜 누르는 듯한 발성(pressed voice)을 하는 경우가 성대를 느슨하게 접촉시킨 상태로 바람새는 듯한 발성(breathy voice)을 하는 경우보다 음성효율성이 높다[4]. 또한 음성효율성은 기본주파수와도 관련이 있는데, 같은 성문하압에서 고주파일수록 저주파일 때보다 음향 에너지가 보다 효율적으로 전파되기 때문에 기본주파수가 높을수록 음성효율성은 커진다[2],[5].

Hillman 외[6]는 과대기능성 음성장애군과 과소기능성 음성장애군을 대상으로 정상 음도와 음의 크기, 정상보다 작은 소리, 정상보다 큰 소리, 정상보다 낮은 음도, 정상보다 높은 음도의 5가지 음도와 음의 크기가 다른 조건에서 음성효율성을 측정하였는데, 각 조건에 따라 성문하압과 호기류율이 달라지면서 이들 간의 상보작용으로 인해 음성장애군의 음성효율성이 모두 정상음성군이 갖는 정상 범위 내에 있었다. 일반적으로 음성장애군의 음성효율성이 정상음성군의 음성효율성에 비해 낮을 것이라고 기대되었지만 결과는 이와 반대로 음성장애군이라 하더라도 발성 시 음도나 성문폐쇄를 다르게 할 경우 음성효율성이 다르게 나타날 수 있다. 즉 음성장애군도 호흡계와 후두계의 상호작용과 이를 측정하는 수행 방식에 따라 음성효율성이 정상 음성의 범위 내에서 산출될 수 있었던 것이다. 따라서 음성효율성을 측정할 때에는 여러 변수를 고려하여 측정하여야 한다. 특히 음성효율성을 산출하는 수식에는 포함되지 않는 음도나 성문접촉 상태 등을 고려해야 하며, 음성효율성을 산출할 때는 이들을 함께 나타내야 할 것이다.

일반인의 정상 발성 메커니즘에 의하면 음성 강도를 증가시킬 때 기본주파수도 함께 상승하는 것이 일반적인 현상이지만[5],[7]-[11], 대부분의 선행 연구들에서는 음성 강도를 다르게 한 상태에서 음성효율성을 측정할 경우, 이에 따른 음도의 증감을 조절하거나 고려하지 않고 측정하였다[2],[3],[9],[12]. 다시 말해 음성효율성에 미치는 음도나 다른 메커니즘의 영향을 고려하지 않고 음성효율성을 측정함으로써 음성 강도, 성문하압, 호기류율, 음성효율성 간의 역학적 상관관계에 대해서는 명확한 해석을 할 수가 없다.

성문의 폐쇄가 잘 이루어지지 않으면 음성 강도를 상승시키지 못해 음성효율성이 낮아진다[1]-[3],[13]. 음성 강도가 높아질 때 음성효율성이 상승하는 것은 성문하압이 증가하면서 잠재된 에너지인 위치에너지(potential energy)가 역학적 에너지 보존법칙에 따라 음파의 운동에너지(kinetic energy)로 효과적으로 전환되어 일(work)을 함으로써 공기입자들의 평균속력이 증가하게 되고 이로 인해 기도 내 압력이 상승하여 성대접촉을 높이기 때문이다[1],[14]. 그러나 성대의 폐쇄가 잘 이루

어지지 않는 경우에는 성문하압을 높인다 하더라도 위치에너지에서 운동에너지로의 전환이 어렵기 때문에 기도 내 압력이 상승되기 어려워져 음성 강도가 높아지지 않는다. 따라서 음성효율성을 측정할 때에는 성문의 폐쇄 정도를 함께 살펴볼 필요가 있으며, 음성효율성에 영향을 미치는 변수들과 함께 기본주파수가 성문폐쇄에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보는 것도 의의가 있을 것이다.

이에 본 연구는 정상 음성을 산출할 때 음성강도, 성문하압, 호기류율 외에 음성효율성과 성대접촉률에 영향을 미칠 수 있는 음도를 조절함으로써 이들이 정상 발성 메커니즘에 어떠한 영향이 초래되는지를 살펴보고자 한다. 이를 위하여 기본주파수와 음성 강도를 여러 조건 하에 두고 각 조건에 따른 공기역학, 음성효율성 및 성대접촉률의 차이를 비교하였다. 또한 각 조건에 따라 음성효율성과 성대접촉률에 영향을 미치는 음향학적 및 공기역학적 요인들은 무엇인지를 살펴보고, 이를 토대로 음성 산출의 메커니즘을 보다 구체적으로 파악하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 연구 대상

본 연구는 15명의 만 20~40세까지의 건강한 한국 정상 성인 여자로서 음성을 전문적으로 사용하지 않고 과거력 상 후두질환, 갑상선질환 및 신경계질환의 병력이 없으며, 조음기관의 구조적·기능적 이상이 없고, 정상 청력을 지녔으며, 자료 수집일로부터 최근 2주 동안 호흡기질환을 경험한 적이 없고 후두스트로보스코피 소견 상 후두 구조가 정상인 사람을 대상으로 하였다.

2.2 연구 절차

공기역학적 검사와 전기성문과형검사(electroglottogram, EGG)를 총 3가지 조건 하에서 측정하였다. 조건 1은 습관성 기본주파수인 편안한 음도와 편안한 음성 강도로 산출할 때(대상자에게 “최대한 편안한 음도와 소리 크기로 편안하게 소리내세요”라고 지시), 조건 2는 습관성 기본주파수에 음도를 고정한 상태에서 음의 크기를 점차적으로 증가시켜 더 이상 커지지 않는 최대 음성 강도로 산출할 때(우선 조건 1의 기본주파수를 측정된 상태에서 대상자에게 “이 음도를 계속 유지하면서 소리 크기는 점점 크게 하세요”라고 지시), 조건 3은 음도를 고정하지 않고 음의 크기를 점차적으로 증가시켜 음의 크기가 더 이상 커지지 않는 최대 음성 강도로 산출할 때(대상자에게 “음도에 상관하지 말고 소리 크기를 점점 크게 하세요”라고 지시)로, 각 조건마다 /오/ 모음을 연장 발성하는 동안 기류저지 셔터를 눌러 호기를 차단하였다.

공기역학적 검사는 기류저지법을 이용한 phonatory function

analyzer(PFA: Nagashima Ltd. Model PS 77H, Tokyo, Japan)를 사용하였다. 대상자에게 한 손으로 코를 막고 마이크로부터 10 cm 떨어진 둥근 튜브 모양의 마우스피스(mouth piece)를 구강에 문 상태에서 편안한 음도와 음성 강도로 공기가 옆으로 새어나가지 않도록 /오/ 모음을 연장 발성하는 동안 기류저지 셔터를 눌러 호기를 차단하였다. 그 순간의 공기역학 변수인 성문하압(subglottal pressure, Ps)과 평균호기류율(mean flow rate, MFR), 그리고 음향학적 변수인 기본주파수(fundamental frequency, Fo)와 음성 강도(Intensity, I)를 측정하였고, 이를 이용하여 음성효율성(vocal efficiency, VE)을 계산하였다.

이와 동시에 방패연골(thyroid cartilage)의 양측 피부에 부착한 EGG를 통해 기류저지 셔터가 눌러지기 직전의 성대접촉률(closed quotient, CQ)을 측정하였다. EGG는 방패연골의 양측 피부에 전극을 부착시키고 성대의 움직임에 따른 전기의 저항을 측정하는 것으로서, 성대가 외전할 때에는 양측 전극이 통하지 않아 저항이 커지고, 성대가 내전할 때에는 저항이 작아지는 원리를 이용하여 성문파형을 얻어냄으로써 성대의 접촉 및 진동양상을 볼 수 있다[15]. CQ는 Lx Speech Studio(Laryngograph Ltd., London, UK)의 SPEAD (Speech Pattern Element Acquisition Display) 프로그램에 연결하여 측정하고 분석하였다.

이 방법으로 각 조건마다 3회 이상 반복연습한 후 각 조건 하에서 기본주파수와 음성 강도가 ±5% 이내의 3회 반복 측정된 평균값을 산출하였다.

2.3 분석 방법

수집된 자료는 SPSS 20.0을 이용하여 분석하였다. 모든 통계적 절차에 대한 유의수준은 .05로 양측 검정하였다. Fo의 조건 1과 조건 2 간의 차이 유무를 확인하기 위하여 대응표본 *t* 검정(paired samples *t*-test)을 실시한 결과, 조건 1의 Fo(211.58 ± 22.29 Hz)와 조건 2의 Fo(214.12 ± 19.37 Hz)는 유의미한 차이가 없었다($t = -.825, p = .423$).

조건 1, 조건 2, 조건 3에 따른 공기역학 변수(Fo, I, Ps, MFR), VE 및 CQ의 차이는 반복분산분석(repeated measures ANOVA)으로 비교하였으며, 음도 고정 유무에 따른 각 변수 간의 차이를 살펴보기 위하여 조건 2와 조건 3 간에 대응표본 *t* 검정을 실시하였다. VE와 CQ를 예측하는 공기역학적 요인이 무엇인지를 파악하기 위해서 단계적 다중회귀분석(stepwise multiple regression analyses)을 사용하였다.

3. 연구 결과

3.1 조건 간 Fo 비교

Fo는 조건 1, 조건 2, 조건 3 간에 유의미한 차이가 있었다($F = 134.398, p < .001$). 조건 3(377.27 ± 50.90 Hz)이 가장 높았

고, 조건 2와 조건 3의 Fo 간에 유의미한 차이가 있었다($t = -11.629, p < .001$ <그림 1>).

3.2 조건 간 I 비교

세 조건에 따른 I는 통계적으로 유의미한 차이가 있었다($F = 153.075, p < .001$). I는 조건 1(71.06 ± 4.15 dB)에서 가장 낮았으며, 그 다음으로 조건 2(80.29 ± 3.11 dB)에서 높았고, 조건 3(89.20 ± 5.54 dB)에서 가장 높았다<그림 2>. 조건 2와 조건 3의 I 간에는 유의미한 차이가 있었다($t = -7.494, p < .001$).

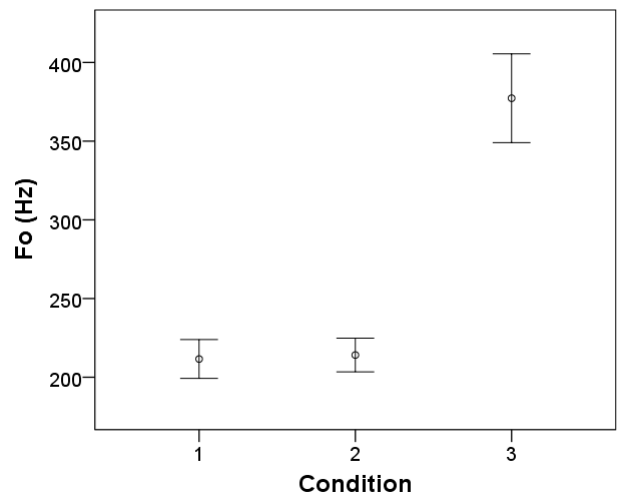


그림 1. 조건별 Fo

Figure 1. Fundamental frequency in each condition

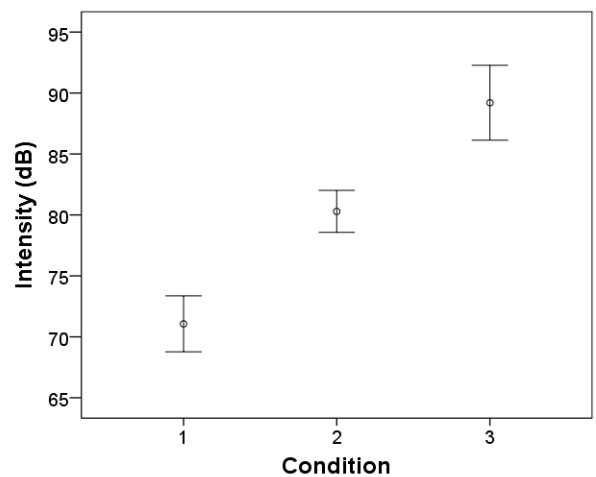


그림 2. 조건별 I

Figure 2. Intensity in each condition

3.3 조건 간 Ps 비교

Ps는 조건에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 있었다($F = 13.394, p = .001$). Ps가 조건 1(53.87 ± 20.62 mmH₂O)에서 가장 낮았고, 조건 2(94.68 ± 58.27 mmH₂O), 조건 3(134.84 ± 96.60

mmH₂O)의 순으로 높았다<그림 3>. 조건 2와 조건 3의 Ps 간에 유의미한 차이가 있었다($t = -3.291, p = .005$).

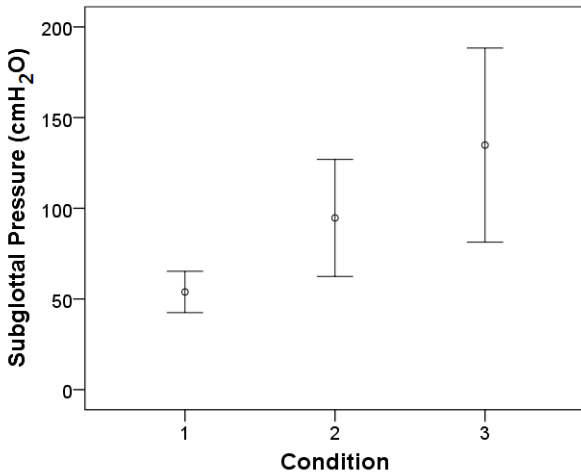


그림 3. 조건별 Ps

Figure 3. Subglottal pressure in each condition

3.4 조건 간 MFR 비교

MFR은 조건 간에 통계적으로 유의미한 차이가 있었다($F = 4.065, p = .028$). MFR은 조건 1(127.25 ± 43.04 ml/s)이 가장 낮았다<그림 4>. 그러나 조건 2(180.68 ± 120.23 ml/s)와 조건 3(191.87 ± 103.48 ml/s) 간에 유의미한 차이는 없었다($t = -.498, p = .626$).

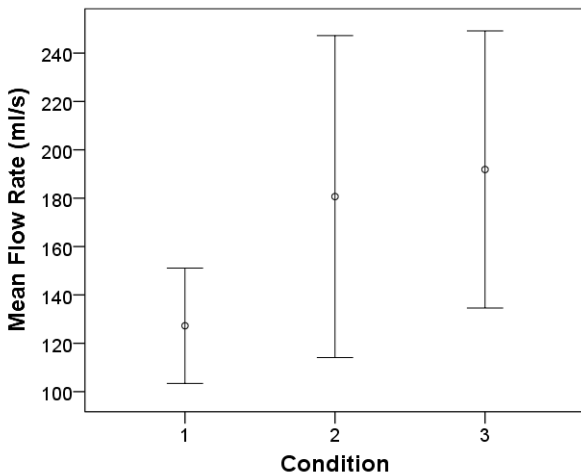


그림 4. 조건별 MFR

Figure 4. Mean flow rate in each condition

3.5 조건 간 VE 비교

VE는 조건 1, 조건 2, 조건 3 간에 통계적으로 유의미한 차이가 있었다($F = 15.296, p = .001$). VE는 조건 1($.36 \times 10^{-3} \pm .27 \times 10^{-3}$)에서 가장 낮았고, 그 다음으로 조건 2($2.02 \times 10^{-3} \pm 2.97$

$\times 10^{-3}$)가 높았으며, 조건 3($8.57 \times 10^{-3} \pm 7.59 \times 10^{-3}$)이 가장 높았다<그림 5>. 조건 2와 조건 3의 VE는 유의미한 차이를 보였다($t = 3.961, p = .002$).

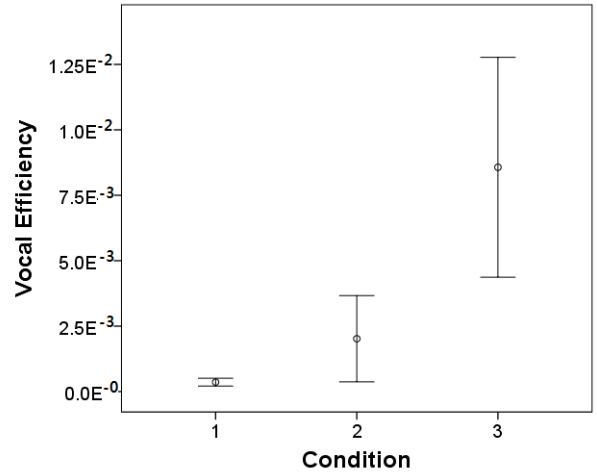


그림 5. 조건별 VE

Figure 5. Vocal efficiency in each condition

3.5 조건 간 성대접촉률 비교

조건에 따라 CQ는 유의미한 차이가 있었다($F = 7.793, p = .006$). CQ는 조건 1(50.39 ± 4.45 %)이 가장 낮았고, 그 다음으로 조건 3(55.39 ± 6.83 %), 조건 2(58.05 ± 8.82 %)의 순으로 높았으나<그림 6>, 조건 2와 조건 3 간에 유의미한 차이는 나타나지 않았다($t = 1.068, p = .304$).

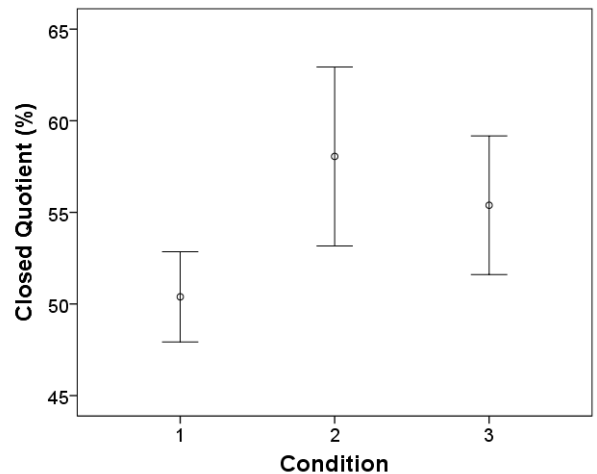


그림 6. 조건별 CQ

Figure 6. Closed quotient in each condition

3.6 조건별 VE의 예측 요인

각 조건별 VE를 예측하기 위하여 Fo, I, Ps, MFR을 독립변수로 단계적 다중회귀분석을 실시한 결과는 <표 1>과 같다.

표 1. 단계적 다중회귀분석에서 조건별 VE의 예측 요인
Table 1. Stepwise multiple regression on vocal efficiency in each condition

조건	독립변수	R ² (Adj. R ²)	F	p	B	SE	β	t	p
1	상수	.873 (.723)	19.250	<.001	-3.807	.688		-5.534	<.001
	I				.064	.010	.973	6.192	<.001
	Ps				-.006	.002	-.490	-3.119	.009
2	상수	.776 (.536)	9.098	.004	-38.592	14.539		-2.654	.021
	I				.551	.185	.577	-2.985	.011
	Ps				-.038	.010	-.748	-3.872	.002
3	상수	.900 (.759)	15.661	<.001	-122.495	19.893		-6.158	<.001
	I				1.366	.225	.999	6.073	<.001
	Ps				-.074	.014	-.940	-5.365	<.001
	Fo				.051	.022	.340	2.266	.045

독립변수 간의 다중공선성(multicollinearity)을 진단하기 위한 공차한계(Tolerance)가 0.1 이하이고, Variance Inflation Factor (VIF)가 10 이상이면 독립변수 간의 상관이 있다고 의심된다 [15].

조건 1 VE를 예측하는 독립변수 간의 다중공선성을 검증한 결과, 공차한계는 최소가 .801로 0.1 이상이었고, VIF는 최대가 1.284로 10보다 작아서 독립변수 간의 상관이 문제가 되지 않음을 알 수 있다. 조건 1 VE의 예측 요인 모형은 유의한 것으로 나타났으며($F_{(2, 12)} = 19.250, p < .001$), 모형의 설명력은 87.3%($R^2 = .873$)였다. 4 가지 독립변수 중 조건 1 VE에 영향을 미치는 주요 요인은 I($B = .064$)와 Ps($B = -.006$)였으며, Fo와 MFR은 회귀모형에서 유의하지 않은 변수들로 제외되었다.

조건 2의 경우, 공차한계는 최소가 .888이었고, VIF는 최대가 1.127로 독립변수 간의 상관이 없다고 볼 수 있다. 조건 2 VE의 예측 요인 모형은 유의한 것으로 나타났으며($F_{(2, 12)} = 9.098, p = .004$), 모형의 설명력은 77.6%($R^2 = .776$)였다. 독립변수들 중 조건 2 VE에 영향을 미치는 주요 요인은 I($B = .551$)와 Ps($B = -.038$)였으며, Fo와 MFR은 회귀모형에서 유의하지 않은 변수로 제외되었다.

조건 3의 경우는 공차한계가 최소 .562였고, VIF가 최대 1.780으로 독립변수 간의 상관이 없다고 볼 수 있다. 조건 3 VE의 예측 요인 모형은 유의한 것으로 나타났으며($F_{(2, 12)} = 15.661, p < .001$), 모형의 설명력은 90.0%($R^2 = .900$)였다. 독립변수들 중 조건 2 VE에 영향을 미치는 주요 요인은 I($B = 1.366$), Ps($B = -.074$), Fo($B = .051$) 순이었으며, MFR은 회귀모형에서 유의하지 않은 변수로 제외되었다.

3.7 조건별 CQ의 예측 요인

각 조건별 CQ를 예측하기 위하여 Fo, I, Ps, MFR을 독립변수로 단계적 다중회귀분석을 실시하였으나, 어떠한 조건에서도 유의미한 예측 요인 모형이 나타나지 않았다.

5. 결론 및 논의

본 연구는 음성 강도를 증가시킬 때 생리적으로 동반 상승되는 음도의 고정 유무에 따라 공기역학 및 그에 따른 음성효율성과 성대접촉률이 어떠한 영향을 받는지 공기역학적 검사와 EGG를 통해 살펴보았다.

공기역학적 변수들 중 기본주파수는 음도를 고정하지 않은 상태에서 최대 음성 강도를 산출할 때(조건 3)가 습관성 기본주파수와 편안한 음성 강도로 모음을 발성할 때(조건 1)에 비해 유의미하게 높았다<그림 1>. 이러한 결과는 선행 연구들에서 밝힌 바와 같이 음성 강도가 상승할 때 음도도 함께 상승한다는 것을 뒷받침한다[5],[7]-[11]. Plant와 Younger[17]는 음성 강도가 높을 때 기본주파수는 성문하압과 밀접한 관계가 있으며, Titze[18]는 발성 시 성문하압이 1 cmH₂O 상승할 때 기본주파수가 2~6 Hz 상승한다고 하였다. 즉, 음성 강도가 상승할 때 성문하압이 상승하게 되고 이에 따라 성대의 긴장도가 상승하면서 기본주파수는 자연적으로 상승하게 되는 것이다.

음성 강도의 경우, 조건 1에서 가장 낮았고, 조건 3이 습관성 기본주파수에 음도를 고정한 상태에서 최대 음성 강도를 산출할 때(조건 2)에 비해 유의미하게 높았다<그림 2>. 성문하압 또한 음성 강도와 동일한 결과를 나타내 음성 강도는 성

문하압에 절대적으로 비례한다는 것을 알 수 있다<그림 3>. 기본주파수, 음성 강도, 성문하압 간의 상호작용에 관한 선행 연구들에 따르면, 정상인에서 기본주파수가 한 옥타브 상승할 때 음성강도가 6 dB 증가하였고[7], 성악가들을 대상으로 한 연구에서도 기본주파수가 두 배가 되었을 때 성문하압이 약 2 배 상승하였으며[19], 성문하압이 2배가 될 때 음성 강도가 10~11 dB만큼 증가하였다[20]. 또한 전문음성사용자가 아닌 정상인에서도 성문하압이 두 배가 되면 음성 강도가 약 13 dB 증가하는 결과를 보였다[9]. Titze와 Sundberg는 음성 강도의 주요 변수가 성문하압과 동의어로 사용되는 폐압력(lung pressure)의 절대치가 아닌 발성역치압력(phonation threshold pressure)을 초과하는 초과압력(excess pressure over threshold)이 2배가 될 때 음성 강도가 8~9dB 증가한다고 하였다[7]. 이를 종합해 볼 때, 정상적인 발성 메커니즘에서는 기본주파수, 음성 강도, 성문하압 간에 높은 상관관계가 있으며[18], 습관성 기본주파수에 음도를 고정시킬 때 성문하압이나 음성강도를 효율적으로 상승시키기가 어렵다는 것을 알 수 있다.

평균호기류율은 조건 1의 편안한 음성 강도 산출 시 유의하게 낮았으나 조건 2와 조건 3의 최대 음성 강도를 산출할 때 음도 고정 유무에 따른 유의미한 차이는 없었다<그림 4>. 남성 성악가에서 음도고정 시 강도 변화에 따른 공기역학을 살펴본 남도현 외[21]의 연구 결과를 살펴보면, 낮은 음성 강도에서는 음도가 상승할수록 평균호기류율이 상승하지만, 높은 음성 강도에서는 음도가 상승할수록 평균호기류율이 감소하는 경향을 보였고, 편안한 음도에서 높은 음성 강도로 발성할 때 평균호기류율이 가장 높았다. 이는 본 연구 결과와 유사한 결과로써, 습관성 기본주파수에 음도를 고정한 상태에서 음의 강도를 최대로 한 조건 2의 경우에는 음성 강도가 상승될 때 기본주파수가 높아지지 않게 하기 위해 음도와 관련이 있는 성대근 특히 방패모뿔근(thyroarytenoid muscle)의 길이가 늘어나지 않으면서 성대근의 긴장성이 감소하게 되어 호기류율이 높아지는 반면, 조건 3의 경우에는 성문하압과 음성 강도가 상승한다 하더라도 음도가 상승함에 따라 성대근이 효율적으로 늘어나고 성대근의 긴장성이 상승하면서 호기류율이 낮아짐으로써 이들의 상보작용에 의해 조건 2와 조건 3 간에 큰 차이가 없었던 것으로 보인다. 이와 관련된 물리적인 현상에 대해서는 추후 연구에서 살펴볼 필요가 있다.

음성효율성은 서론에서 언급한 바와 같이 음성강도, 성문하압, 호기류율에 영향을 받는다. 본 연구에서 음성효율성은 습관조건 1에서 가장 낮았으며, 조건 2에서 그 다음으로 높았고, 조건 3일 때 가장 높았다. 그러나 음성효율성이 커질수록 대상자들에 따른 변이도 커졌다<그림 5>. 즉 음도를 고정하지 않은 상태에서 가장 높은 기본주파수와 음성 강도가 산출되었고, 기본주파수와 음성 강도가 음성효율성에 직접적인 영향을 미친다는 선행 연구들[1],[2]과 동일한 결과를 보였다. 이러한

결과는 성대접촉률과도 상관이 있는데, 20명의 성대폴립과 10명의 성대결절 환자에서 후두미세수술 시행 전과 후의 음성효율성을 평가한 연구에서 성대폴립과 성대결절이 제거된 후에 성대접촉이 향상되면서 음성강도와 호기류율 및 성문하압에 영향을 미쳐 음성효율성이 증가하였다[22]. 또한 음성효율성은 호기류율의 상승보다는 성대접촉의 증가로 인한 음성 강도의 상승에 의해 더 높아진다는 연구 결과와도 일치한다[14].

일반적으로 성대접촉률은 진성구(modal register)와 같은 음역에서 정상 발성 시에는 음성 강도가 상승하면 성문하압의 증가와 함께 동반 상승한다[13],[23]-[25]. 본 연구에서의 성대접촉률은 조건 1에서 가장 낮았다. 이는 음성 강도를 상승시킬 때 성문하압의 증가로 인해 성대접촉률이 증가하며, 성대접촉률은 낮은 음도일 때보다 높은 음도에서 높은 경향을 보인다는 연구 결과와 동일하다[26]. 그러나 조건 2에서 최대 음성 강도 산출 시 조건 3의 최대 음성 강도를 산출할 때에 비해 성대접촉률이 오히려 높게 나타났다<그림 6>. 이는 음성 강도와 성대접촉률 사이에는 양의 상관관계가 있으며 주파수의 상승도 성대접촉률을 증가시키기는 하지만 주파수의 변화가 강도에 미치는 영향은 미비하다라는 연구 결과와 유사한 결과이다[26]. 즉 음도를 고정하지 않은 상태에서 성문하압이 증가하고 이로 인해 음성 강도가 증가하면 음성효율성은 높아지지만 성대접촉률의 경우는 다르다는 것을 보여준다. 습관성 주파수에 음도를 고정한 경우에는 음성 강도의 상승과 함께 동반되는 방패모뿔근의 길이가 늘어나지 않도록 하기 위해 그 역작용으로 방패모뿔근의 두께가 두꺼워지고 이로 인해 성대의 접촉이 향상되면서 성대접촉률이 높아지는 것은 아닐까 생각된다.

기본주파수와 음성 강도를 세 가지 조건 하에 두고 각 조건별로 VE와 CQ를 예측하는 공기역학적 변수들이 무엇인지를 단계적 다중회귀분석을 통해 각각 살펴본 결과, 음성효율성을 예측하는 요인은 조건 1과 조건 2에서 모두 음성 강도와 성문하압이었으며, 이들이 조건 1과 조건 2에서 음성효율성을 각각 87.3%와 77.6% 설명하였다. 조건 3에서 음성효율성을 예측하는 요인은 음성 강도, 성문하압, 기본주파수로 음성효율성을 90% 설명하였다. 그러나 어느 조건에서도 호기류율은 음성효율성을 예측하지 못했다. 이를 다시 살펴보면, 음성효율성에 주로 영향을 미치는 요인이 낮은 음도에서는 음성 강도와 성문하압이며, 높은 음도에서는 음성 강도와 성문하압 이외에 기본주파수가 포함된다라는 것을 알 수 있다. 즉 기본주파수가 음성효율성을 산출하는 수식에는 포함되어 있지 않지만, 음성 강도가 상승할 때 정상 발성 메커니즘에 의해 기본주파수가 자연적으로 상승하기 때문에 음성효율성을 산출할 때에는 음성 강도와 성문하압 외에 기본주파수를 반드시 고려하여야 하며, 이들을 일정하게 맞춘 상태에서 실시해야 한다. 이는 Titze[3]의 연구를 뒷받침하는 결과이기도 하다. 음성효

율성 외에 성대접촉률을 예측하는 요인을 살펴본 결과, 본 연구에 포함된 공기역학적 변수 중 어떤 것도 성대접촉률을 유의미하게 예측하는 요인은 없었다. 그 이유로 각 대상자마다 기본주파수나 음성 강도별로 성대접촉률의 변이가 컸고, 일관성이 낮아 성대접촉률을 결정하는 요인으로 공기역학적 변수들 이외에 성대근 자체 또는 다른 메커니즘이 존재하는 것이 아닌가 생각된다. 이를 파악하기 위해서 추후 좀 더 심도 있는 연구가 필요할 것이다.

본 연구는 음도 고정 유무에 따라 음성 강도를 다르게 했을 때 공기역학, 음성효율성 및 성대접촉률의 차이를 비교하고, 공기역학이 음성효율성과 성대접촉률을 얼마나 예측할 수 있는지를 살펴보았다. 그 결과, 음성효율성은 음성 강도와 성문하압에 의해 주로 영향을 받으며 음성 강도가 상승할수록 그에 따르는 기본주파수의 영향도 함께 받는다는 것을 알 수 있었다. 다시 말해 성문하압의 증가와 기본주파수의 증가가 동시에 발생할 때 가장 효율적으로 높은 음성 강도를 산출할 수 있고, 이 때 음성효율성이 더 높아지는 것이다. 또한 호기류율은 음도 고정의 유무에 상관없이 음성효율성에 큰 영향을 미치지 않는다고 볼 수 있다. 성대접촉률은 음성 강도가 상승할 때 상승하지만 그 외 다른 공기역학적 변수들에 의해서는 크게 영향을 받지 않는다.

결론적으로 음도를 고정한 상태에서 음성 강도를 증가시키는 경우 음성 강도가 증가될 때 생리적으로 동반되어야 하는 기본주파수 상승의 부재와 성문하압의 비효과적인 증가로 인하여 음성효율성은 감소하며, 호기류율은 음도 고정의 유무에 상관없이 음성효율성이나 성대접촉률에 큰 영향을 미치지 않는다고 볼 수 있다. 따라서 임상이나 연구 환경에서 음성효율성이나 성대접촉률을 측정할 때 기본주파수와 음성 강도 상태를 먼저 고려하고 이를 함께 제시해야 할 것이다.

본 연구에서는 음도의 고정 유무에 따른 최대 음성 강도 시의 음성효율성과 성대접촉률을 살펴보았는데 추후 연구에서는 좀 더 다양한 기본주파수와 음성 강도 시의 여러 공기역학적 변수들과 다른 메커니즘들도 함께 살펴보고, 음도 고정 뿐만 아니라 음성 강도를 고정한 상태에서 기본주파수를 변화시킬 때 변화하는 정상 발성 메커니즘을 살펴봄으로써 복잡하고 미세한 발성 메커니즘을 파악할 수 있을 것으로 본다. 또한 본 연구에서는 여성만을 대상으로 하였으나 추후 연구에서는 남성을 포함시켜 성별에 따른 차이도 살펴볼 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 강남대학교 교내연구비 지원을 받아 수행되었습니다. 자료수집에 도움을 주신 최홍식 교수님과 임성은 선생님께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Tang, J., & Stathopoulos, E. T. (1995). Vocal efficiency as a function of vocal intensity: A study of children, women, and men. *Journal of Acoustic Society of America* 97, 1885-1982.
 - [2] Jiang, J., Stern, J., Chen, H., & Solomon, N. P. (2004). Vocal efficiency measurements in subjects with vocal polyps and nodules: A preliminary report. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology* 113, 277-282.
 - [3] Titze, I. R. (1992). Vocal efficiency. *Journal of Voice* 6, 135-138. Agresti, A. & Finlay, B. (1999). *Statistical methods for the social sciences*. 3rd ed. Prentice Hall: NJ.
 - [4] Grillo, E. U. & Verdolini, K. (2008). Evidence for distinguishing pressed, normal, resonant, and breathy voice qualities by laryngeal resistance and vocal efficiency in vocally trained subjects. *Journal of Voice* 21(5), 546-552.
 - [5] Titze, I. R. (1989). Physiologic and acoustic differences between male and female voices. *Journal of Acoustic Society of America* 85, 1699-1707.
 - [6] Hillman, R. E., Holmberg, E. B., Perkell, J. S., Walsh, M., & Vaughan, C. (1989). Objective assessment of vocal hyperfunction: an experimental framework and initial results. *Journal of Speech and Hearing Research* 32, 373-392.
 - [7] Titze I. R. & Sundberg J. (1992). Vocal intensity in speakers and singers. *Journal of Acoustic Society of America* 91, 2936 - 2946.
 - [8] Brockmann, M., Storck, C., Carding, P. N., Drinnan, M. J. (2008). Voice loudness and gender effects on jitter and shimmer in healthy adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 51, 1152-1160.
 - [9] Homborg, E. B., Hillman, R. E., Perkell, J. S. (1988). Glottal airflow and transglottal air pressure measurements for male and female speaker in soft, normal, and loud voice. *Journal of Acoustic Society of America* 84, 511-529.
 - [10] Sundberg, J., Titze, I., Scherer, R. (1993). Phonatory control in male singing: a study of the effects of subglottal pressure, fundamental frequency, and mode of phonation on the voice source. *Journal of Voice* 7, 15-29.
 - [11] Choi, S. H., Nam, D. H., Kim, D. W., Kim, Y. H., Choi, H. S. (2006). Characteristics of Phonatory and Respiratory Control on Pitch, Loudness, Register Change in Untrained and Trained Singers. *The Journal of the Korean Society of Logopedics and Phoniatrics* 17(2), 115-126.
- (최성희, 남도현, 김덕원, 김영호, 최홍식 (2006). 성악가와 훈련받지 않은 일반인의 음도, 강도, 성구변화 시 발성 및 호흡

- 조절 특성. *대한음성언어의학회지* 17(2), 115-126.)
- [12] Jung, S. M. (1998). Vocal efficiency measures in classically trained western singers. *The Journal of the Korean Society of Logopedics and Phoniatrics* 9, 43-46.
- (정성민 (1998). 서양음악을 전공으로 하는 성악인에서의 음성효율 측정. *대한음성언어의학회지* 9호, 43-46.)
- [13] Sulter, A. M. & Wit, H. P. (1996). Glottal volume velocity waveform characteristics in subjects with and without vocal training, related to gender, sound intensity, fundamental frequency, and age. *Journal of Acoustic Society of America* 100(5), 3360-3373.
- [14] Berke, G. S., Hanson, D. G., Gerratt, B. R., Trapp, T. K., Macagba, C., & Natividad, M. (1990). The effect of air flow and medial adductory compression on vocal efficiency and glottal vibration. *Otolaryngology-Head Neck Surgery* 102(3), 212-218.
- [15] Pederson, M. F. (1977). Electroglottography compared with synchronized stroboscopy in normal person. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 29, 191-219.
- [16] Agresti, A. & Binlay, B. (1999). *Statistical methods for the social sciences*, 3rd ed. NJ: Prentice Hall.
- [17] Plant, R. L. & Younger, R. M. (2000). The interrelationship of subglottic air pressure, fundamental frequency, and vocal intensity during speech. *Journal of Voice* 14(2), 170-177.
- [18] Titze, I. (1989). On the relation between subglottal pressure and fundamental frequency in phonation. *Journal of Acoustic Society of America* 85(2), 901-906.
- [19] Sundberg, J., Titze, I., & Sherer, R. (1993). Phonatory control in male singing: a study of the effects of subglottal pressure, fundamental frequency, and mode of phonation on the voice source. *Journal of Voice* 7, 15-29.
- [20] Sundberg, J., Andersson, M. & Hultqvist, C. (1999). Effects of subglottal pressure variation on professional baritone singers' voice sources. *Journal of Acoustic Society of America* 105(3), 1965-1971.
- [21] Nam, D. H., Paik, J. Y., Kim, J. O., Park, S. Y., & Choi, H. S. (2007). Changes in aerodynamic function and closed quotient with the variable pitch and loudness in male classic singers. *Speech Sciences* 14(2), 23-33.
- (남도현, 백재연, 김재욱, 박선영, 최홍식 (2007). 남성 성악가의 음도고정시 강도 변화와 강도고정시 음도 변화의 공기역학 및 성대접촉율의 변화. *음성과학* 14(2), 23-33.)
- [22] Jin, Y., Pyo, H. W., & Choi, H. (1996). Evaluation of vocal efficiency for the polyps and nodules. *The Journal of the Korean Society of Logopedics and Phoniatrics* 7(1), 56-60.
- (진용대, 표화영, 최홍식 (1996). Evaluation of vocal efficiency for the polyps and nodules. *대한음성언어의학회지* 7(1), 56-60.)
- [23] Higgins, M. B. & Saxman, J. H. (1991). A comparison of selected phonatory behaviors of healthy aged and young adults. *Journal of Speech and Hearing Research* 34, 1000-1010.
- [24] Orlikoff, R. F. (1991). Assessment of the dynamics of vocal fold contact from the electroglottogram: Data from normal male subjects. *Journal of Speech and Hearing Research* 34, 1066-1072.
- [25] Sapienza, C. M., Stathopoulos, E. T., & Dromey, C. (1998). Approximation of open quotient and speed quotient from glottal airflow and EGG waveforms: Effects of measurement criteria and sound pressure level. *Journal of Voice* 12(1), 31-43.
- [26] Sundberg, J. & Högset, C. (2001). Voice source differences between falsetto and modal registers in counter tenors and baritones. *Logopedics Phoniatrics Vocology* 26, 26-36.

• 김재욱 (Kim, Jaock)

강남대학교 교육대학원 언어치료교육전공

용인시 기흥구 구갈동 111번지 샬롬관 1013호

Tel: 031-280-3221 Fax: 031-280-3479

Email: jaock@gmail.com

관심분야: 말장애, 음성장애, 음성의학

현재 강남대학교 교육대학원 언어치료교육전공 주임교수