



발성방법에 따른 소프라노 성악도의 음성 특성*

The characteristics of soprano students' voice related to the vocal methods

김 정 택 · 성 철 재**

Kim, Jungtaek · Seong, Cheoljae

Abstract

The purpose of this study is to find clues to the risk of voice disorders in soprano students. The subjects of the study were 17 soprano students and 18 general students (women). The phonation of vowels /a/, /i/, and /u/ with C4 and F4 notes in each group were recorded. Then, only soprano students were made to record their classical vocalization containing vibrato. Formant, formant energy, bandwidth, VAI (vowel area index), VSA (vowel space area) and L/H ratio were analyzed. There was significant difference in F3 such that the singers' note was measured around 3 kHz which seems to be 400 Hz higher than one from general students. But, There was no significant difference in L/H ratio between soprano student and the general student. There was a significant difference in F3 in the comparison of the soprano students' two vocalization methods. Classical vocalization was measured at 200Hz higher than sustained phonation in F3. Vocal tract adjustment was made and vowel space changed, but there was no significant difference in F3 energy, which is the index of singers' formant according to the phonation method. The L/H ratio, which can be a direct indicator of vocal effort, has no difference in phonation method and is lowered in all phonation methods as the pitch increases. C4 and F4 pitches are lower than the singing range of the soprano. When the pitch changes, vocal effort increases like a general student which will be an indicator of the risk of vocalization. This will be a clue to the vocalization of the immature soprano student.

Keywords: singer's formant, vocal load, vocal effort, soprano student

1. 서론

목소리로 자신의 전문성을 부각시키는 가수, 배우 및 방송인 등을 전문적 음성 사용자라 한다. 그 중 가수의 한 부류인 성악가가 목소리를 내는 과정 또는 방법은 일반인이 발성기관에 대한 이해가 없이 산출하는 것과 상당히 다르다(정옥란 외, 2002; Koufman & Isaacson, 1991; Boone *et al.*, 2013). 전문적인 훈련과정을 거친 성악가는 호흡과 발성, 공명에 이르는 생리적, 물리적 과정을 동시·통합적인 상호작용으로 만들 수 있다

(Timmermans *et al.*, 2003).

목소리 산출 과정의 발성하중(vocal load)을 최소화하고 음성 질환이 발생하지 않도록 균질한 음질 유지를 위한 '빠사지오(passaggio)', 즉 공명강 조절이 이러한 훈련법 중 하나다(남도현 외, 2010; Wingate *et al.*, 2007). 이로 인해 성악가의 목소리는 특별한 음향장치의 도움 없이도 연주장 끝까지 울림이 전달되는 특유의 공명 현상을 보이게 된다(정종철 외, 2012; Joliveau *et al.*, 2004). 성악가의 발성은 특정 주파수 대역에서 일반적인 발성과 구별되는 에너지 두드러짐이 나타나게 되는데, 이러한 공명 현

* 이 논문은 제1 저자의 2017년도 석사학위 논문과 2017년도 한국음성학회 봄 학술대회에서 발표한 내용을 수정·보완하여 작성한 것임.

** 충남대학교, cjsseong49@gmail.com, 교신저자

Received 28 July 2017; Revised 24 August 2017; Accepted 5 September 2017

상을 성악가 포먼트(singer's formant)라고 명명하였다. 성악가 포먼트(Millhouse & Clermont, 2006)는 3kHz 부근에 에너지가 밀집된 영역이며, 공명강 조절을 통한 발성방법으로 에너지 손실을 줄이려는 일련의 에너지 보존 과정이다(Berndtsson & Sundberg, 1994; Joliveau et al., 2004).

진성민(2002)과 반재호 외(2004)에 따르면 성악가 포먼트 대역에서 일반인과 구별되는 에너지 이득(energy gain)인 강도 차이가 있다고 하였다. 섭동(perturbation) 변수와 관련해서, 주파수 변동률(jitter; pitch variation), 진폭 변동률(shimmer; amplitude variation), 소음 대 조화음 비율(NHR; noise to harmonics)은 성악가가 일반인 보다 더욱 낮았다고 하였다(노동우 외, 2002). 이를 통해 성악가의 음질은 주기적이고 상대외상 및 후두병변을 최소화하기 위한 발성을 사용한다고 볼 수 있다.

배움의 과정에 있는 성악도의 음성 특성은 성악가와 마찬가지로 일반인과의 비교를 통해 연구가 이루어져 왔다. 성악도의 발성에서도 일반인과 구별되는 공명주파수 대역과 에너지 이득이 있는데(진성민, 2002; 정종철 외, 2012), 이와 관련해서 생각해 볼 수 있는 문제는 성악도의 목소리 산출 과정은 전문 성악인의 발성에 비해 완성되지 않은 발성으로 나타나며 어느 정도 차이가 있을 것이라는 점이다.

Franca & Wagner(2015)에 따르면 성악도의 목소리 산출 과정에서 발성하중에 대한 원인 인식 및 제거가 교육되어야 하지만 성악도 자신의 능력 보다 높은 수준의 발성 요구로 인해 음성질환 위험성이 높아질 수 있다고 지적하고 있다. 그럼에도 국·내외에서 성악도 목소리에 대한 연구는 부족한 실정이며 음향음성학적 분석과 관계된 연구의 필요성이 제기되고 있다(진성민, 2002; 조성미 외, 2004).

본 연구에서 구체적으로 살펴볼 내용은 공명강 조절을 통한 성악도의 비브라토발성에서 모음 공간(vowel space) 변화에 따른 에너지 이득과 노력의 부분이다. 모음의 중앙화 또는 분산(dispersion) 정도를 설명해주는 다양한 변수와 모음 삼각형 면적 등을 통해 공명강 조절에 따른 모음 공간의 변화 정도를 살펴볼 수 있다. 모음 공간의 변화로 성악가 포먼트가 발현될 수 있는 요건이 충족되고 연장발성과 구별되는 개별 포먼트의 에너지 이득 여부를 알 수 있을 것이다. 개별 포먼트의 에너지는 각 포먼트 대역값에 반영될 수 있으며, 대역값의 넓고(broadly tuned), 좁은(sharply tuned) 정도에 따라 상대 및 성도의 긴장 정도를 알 수 있다(Kent & Read, 2002). 포먼트 대역값과 더불어 스펙트럼 에너지의 비율 변수인 L/H 비율은 고주파수 대역 소음 에너지에 영향을 받는다. 발성과정에서 과노력은 소음 에너지를 증가시키게 된다. 따라서 L/H 비율은 낮아지게 되며, 이를 통해 발성 노력의 여부를 알 수 있을 것이다.

이와 관련하여 본 연구는 성악도 발성노력에 대한 초기 연구의 일환으로 여성 성악도에 한해 진행하려 한다. 그 중 여성 파트의 주류인 소프라노를 전공하는 성악도의 발성과정 과노력 부분, 그로 인해 음성질환을 발생시킬 수 있는 단서를 음향음성학적으로 분석하고자 한다. 이를 통해 객관적인 정보가 제공된다면 성악도의 음성질환 위험요소를 줄이는 데 도움이 될 것

로 생각된다.

2. 연구 방법

2.1. 연구 대상

음악대학에서 성악을 전공하는 1~3학년 소프라노 성악도 30명과 성별을 일치시킨 일반인 30명을 대상으로 하였으며 대상자의 연령을 20~25세로 한정하였다.

모집된 대상자는 다음과 같은 선별 과정을 거쳤다. 첫째, Barnes & Latman(2011)에 따라 후두질환 병력과 구강구조에 이상이 없으며 최근 1 달 간 호흡기 감염이 없는 자를 선별하였다. 둘째, 흡연 유무에 따라 후두 또는 성대의 조직 변화로 음질에 영향을 미칠 수 있으므로 비흡연자만을 추려내었으며(이명희, 2007; Zeitels et al., 2002), 마지막으로 일반인은 발성 및 음악훈련의 경험이 없는 자로 제한하였다. 이상의 과정을 거쳐 소프라노 성악도 17명, 일반인 18명을 최종 연구 대상으로 선정하였다.

2.2. 연구 절차

2.2.1. 자료 수집

성악도와 달리 발성 훈련의 경험이 없는 일반인은 상대적으로 음역대가 좁다. 예비 녹음 과정을 통해 일반인도 비교적 편하게 발생할 수 있는 C4(261Hz)와 F4(349Hz)를 음계 수준으로 정하였다.

본 녹음은 방음 시설이 갖춰진 방에서 Tascam사의 DR-40(TEAC, USA) 녹음기를 사용하여 진행하였다(44,100Hz sampling rate, 16 bit quantization, mono). 이 모델은 고성능 마이크 2개가 내장되어 있어서 삼각대에 녹음기를 거치 후, 일어난 자세를 취하고 거리 변동을 최소화하기 위해 벽을 등지게 하였다.

녹음 과정에서 사용된 발성방법은 두 가지인데, C4와 F4 음계에 대한 청각 정보를 각 집단에 들려준 후 발성을 요구하였다. 먼저, 집단별로 C4와 F4 음계에서 모음 /아/, /이/, /우/를 각각 5초 동안 연장발성 하도록 하였다. 그리고 성악도에 한해 각 모음을 C4와 F4 음계에서 비브라토발성(이하 성악발성)을 산출하도록 하였다. 발성방법 및 음계에 따른 각 집단의 기본주파수 기술통계값은 <표 1>과 같다.

표 1. 발성방법 및 음계에 따른 각 집단의 기본주파수
Table 1. Fundamental frequencies concerned with the vocalization method and notes

	C4			F4		
	/아/	/이/	/우/	/아/	/이/	/우/
연장발성 (성악도)	260.2 (±5.1)	263.8 (±4.7)	262.9 (±5.9)	344.1 (±5.8)	346.2 (±7.2)	348.1 (±5.4)
연장발성 (일반인)	262.8 (±11.5)	263.7 (±8.7)	268.1 (±3.1)	346.6 (±6.1)	349.1 (±7.3)	349.1 (±7.3)
성악발성 (성악도)	268.1 (±3.1)	266.2 (±4.5)	267.3 (±4.4)	350.3 (±3.7)	353.7 (±5.9)	354.5 (±6.1)

2.2.2. 음향음성학적 분석

녹음된 자료는 Praat(ver. 5.3.14) 음성분석 프로그램으로 분석하였다. 집단에 따라 각 음계에서 발생방법을 달리한 모음 /아/, /이/, /우/의 안정구간을 본질하였다.

먼저, 포먼트와 포먼트 대역값(B; bandwidth), 그리고 제 1~제 3 포먼트 에너지를 측정하였다. 포먼트세팅 조건을 5.5kHz에서 5 개를 추출하는 것으로 하였다(/우/는 5kHz/5 개). 후설 고모음의 경우 성도가 길어지므로 포먼트값이 하향되는 점을 고려한 세팅 조건이다.

Praat에서 포먼트 에너지는 pas2/Hz로 계산되는데 통상적인 강도 단위인 dB로 전환하기 위해 김지연 & 성철재(2016)를 참고하였다. 전환 식에서 fn_pascal 은 Praat에서 제공되는 n번째 포먼트 에너지 측정값이다. 비율 관련 변수는 모음 공간 지수(VAI; vowel articulation index)와 L/H 비율을 측정하였다. 삼각형 면적(VSA; Vowel Space Area)은 헤론의 공식을 이용하여 구하였다(김지연 & 성철재, 2016).

VAI는 모음의 중앙화 정도를 설명하는 FCR(Formant Centralization Ratio)의 역수 개념인데 모음이 확장되면 증가하고 중앙화가 이루어지면 감소한다(김지연 & 성철재, 2016; Skodda et al., 2011). L/H 비율은 8kHz 나이퀴스트 주파수(Nyquist frequency)에서 4kHz를 중심으로 저·고주파수 대역으로 나누고 각 대역 에너지를 비율로 나타낸 변수다(서인효, 2014; Watts & Awan et al., 2011). 발생과정에서 과노력이 생기게 되면 고주파수 대역의 소음 에너지가 증가하게 되고, 따라서 L/H 비율은 낮아지게 된다. Praat 스펙트럼 객체의 두 개의 밴드 대역(high, low)에서 각각 파스칼 기반의 에너지를 추출하고, 이를 <표 2>의 dB 변환규칙을 적용하여 최종 비율값을 구하였다. 포먼트 에너지와 VSA, VAI 산출 공식은 <표 2>와 같다.

표 2. 포먼트 에너지와 VSA, VAI 공식

Table 2. Formulas for formant energy and VAS, and VAI

변수	산출 공식
포먼트 에너지 (dB)	$fn_dB = 10 * \log_{10}(fn_pascal / 0.00002^2)$
삼각형 면적 (VSA, Hz ²)	$Area_3(Heron's\ formula) = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$ $p = \frac{(a+b+c)}{2}$ $a = \sqrt{(F1_{/우/} - F1_{/이/})^2 + (F2_{/이/} - F2_{/우/})^2}$ $b = \sqrt{(F1_{/아/} - F1_{/이/})^2 + (F2_{/이/} - F2_{/아/})^2}$ $c = \sqrt{(F1_{/우/} - F1_{/아/})^2 + (F2_{/우/} - F2_{/아/})^2}$
VAI	$VAI = \frac{F2_{/이/} + F1_{/아/}}{F1_{/이/} + F1_{/우/} + F2_{/우/} + F2_{/아/}}$

2.3. 통계 분석

통계는 SPSS 22.0을 사용하였으며, 집단 간 각 모음에서 음계에 따른 연장발성의 차이를 알아보기 위해 t 검정을 하였다. 성악도의 발생방법(연장발성, 성악발성)에 따른 음향음성학적 특성

을 살펴보기 위해 각 발생방법을 개체 내 변인, 각 음계(C4, F4)를 개체 간 변인으로 하는 반복측정 분산분석 혼합모형을 적용하였다. 사후검정은 다중비교로 인한 1종 오류 통제를 위해 내재 설계가 적용된 본페로니(Bonferroni) 조정 짝대응 비교를 실시하였다.

3. 결과

3.1. 집단 간 비교

C4와 F4 음계에서 집단에 따른 연장발성의 차이를 알아보기 위해 t 검정을 하였다. 각 모음과 음계에서 두드러진 차이를 보인 변수는 모음 /아/, /우/의 F3으로 나타났다($p < .05$). 발생 과노력 변수인 L/H 비율은 모음 /이/, /우/의 C4 음계에서만 집단의 유의한 차이가 있었으며($p < .05$), F4음계에서는 집단 간 차이가 없었다. 음계 및 모음에 따른 F3, L/H ratio 기술통계값은 <표 3>에, t 검정 결과는 <표 4>와 같다. 각 집단의 각 음계 연장발성에 따른 F3의 중앙값과 4분위 정보를 그림으로 제시하였다(<그림 1, 2>).

표 3. 음계 및 모음에 따른 F3, L/H ratio

Table 3. F3, L/H ratio concerned with the vowel and notes

	성악도		일반인	
	C4	F4	C4	F4
F3_ /아/	2992.1 (±283.7)	2907.8 (±367.5)	2440.4 (±488.7)	2336.6 (±476.5)
F3_ /이/	3231.1 (±192.2)	3072.9 (±153.5)	3274.1 (±216.1)	3069.5 (±139.3)
F3_ /우/	2839.1 (±197.6)	2839.4 (±263.1)	2420.7 (±489.5)	2196.3 (±380.5)
L/H ratio_ /아/	2.21 (±.21)	1.97 (±.21)	2.35 (±.29)	2.11 (±.27)
L/H ratio_ /이/	2.32 (±.13)	2.03 (±.14)	2.56 (±.19)	2.21 (±.23)
L/H ratio_ /우/	2.32 (±.16)	2.11 (±.14)	2.53 (±.26)	2.21 (±.27)

표 4. 음계 및 모음에 따른 F3, L/H ratio의 t 검정 결과

Table 4. Results of t-test regarding F3, L/H ratio

	음계	t	df	p-value
F3_ /아/	C4	4.111	27.597	.000
	F4	3.954	33	.000
F3_ /이/	C4	-.621	33	.541
	F4	.068	33	.946
F3_ /우/	C4	3.349	22.658	.003
	F4	5.782	33	.000
L/H ratio_ /아/	C4	-1.591	33	.121
	F4	-1.630	33	.113
L/H ratio_ /이/	C4	-4.147	33	.043
	F4	-2.573	33	.613
L/H ratio_ /우/	C4	-2.762	33	.009
	F4	-1.417	33	.166

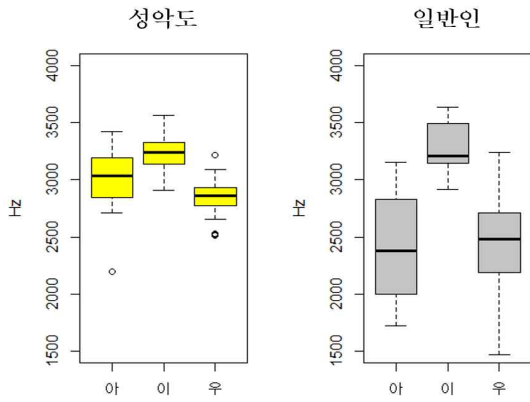


그림 1. 두 집단의 C4 음계 연장발성에 따른 F3 중앙값(4분위수)
Figure 1. Median F3 (quartile) of sustained C4 phonation in each group

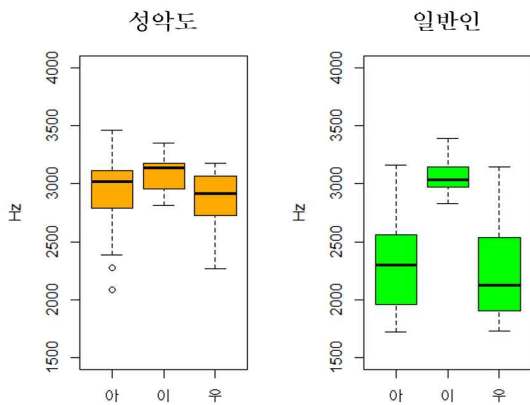


그림 2. 두 집단의 F4 음계 연장발성에 따른 F3 중앙값(4분위수)
Figure 2. Median F3 (quartile) of sustained F4 phonation in each group

3.2. 성악도의 발성방법 간 비교

3.2.1. 포먼트 비교

발성방법 및 음계에 따른 포먼트의 기술통계량은 <표 5>와 같다. 음계와 발성방법, 상호작용에서 각 모음의 포먼트 차이를 알아보기 위해 반복측정 분산분석을 하였으며 분석 결과는 <표 6>에 제시하였다. 모음 /아/의 F1은 음계와 발성방법에 따라 유의한 차이를 보였으며, F3은 발성방법에 따라 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 성악발성 F1에서 유의한 차이를 보였으며, F4 음계에서 발성방법 간 F3의 유의한 차이가 있었다($p < .05$).

모음 /이/는 F2의 음계 및 발성방법, F3은 음계에서만 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 각 음계의 F2에서 발성방법 간 유의한 차이가 있었으며, 성악발성과 연장발성 모두에서 음계 간 F2, F3의 차이를 보였다($p < .05$). 모음 /우/에서는 발성방법에 따라 F2와 F3의 유의한 차이만 관찰되었다. 각 음계의 F2와 F3에서 발성방법 간 유의한 차이를 보였으며, F2의 연장발성에서만 음계 간 유의한 차이를 나타내었다.

표 5. 발성방법 및 음계에 따른 포먼트

Table 5. Formant frequencies concerned with the vocalization method and notes

	연장발성		성악발성	
	C4	F4	C4	F4
F1_ /아/	936.2 (±69.4)	985.2 (±83.2)	825.0 (±91.5)	905.6 (±107.8)
F2_ /아/	1390.7 (±129.9)	1455.9 (±152.4)	1320.5 (±224.5)	1356.0 (±350.6)
F3_ /아/	2992.0 (±283.7)	2907.8 (±367.5)	3119.9 (±213.7)	3161.1 (±169.5)
F1_ /이/	418.8 (±90.3)	467.0 (±88.7)	511.7 (±461.7)	461.9 (±121.7)
F2_ /이/	2612.9 (±125.4)	2479.5 (±137.4)	2515.0 (±138.2)	2395.4 (±140.9)
F3_ /이/	3231.1 (±192.2)	3072.9 (±153.5)	3205.9 (±213.3)	3126.7 (±145.8)
F1_ /우/	500.1 (±60.3)	532.5 (±137.1)	518.8 (±129.1)	534.7 (±176.2)
F2_ /우/	953.7 (±84.4)	1077.1 (±54.8)	1346.4 (±663.4)	1368.7 (±483.5)
F3_ /우/	2839.1 (±197.6)	2839.4 (±263.1)	3129.8 (±258.1)	3156.8 (±177.8)

성악도의 각 음계 성악발성에 따른 F3은 <그림 3>에 제시하였고, 각 음계의 연장발성에 따른 F3은 <그림 1, 2>를 참고하면 된다.

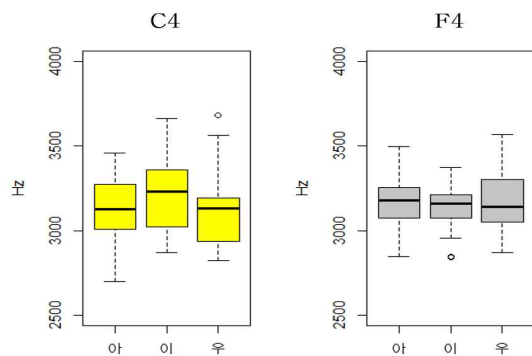


그림 3. 성악도의 각 음계 성악발성에 따른 F3
Figure 3. Singing F3 of each note in soprano students

표 6. 포먼트에 대한 반복측정 분산분석 결과
Table 6. Results of repeated measures ANOVA regarding formant frequencies

주효과/ 상호작용	df	F		
		F1_ /아/	F1_ /이/	F1_ /우/
음계	1	6.090*	.000	.341
발성방법	1	37.416***	.562	.312
음계*발성방법	1	1.025	.699	.196
		F2_ /아/	F2_ /이/	F2_ /우/
음계	1	.918	10.385**	.516
발성방법	1	2.057	13.311***	11.897**
음계*발성방법	1	.063	.077	.261
		F3_ /아/	F3_ /이/	F3_ /우/
음계	1	.091	4.952*	.051
발성방법	1	10.606**	.227	38.264***
음계*발성방법	1	1.145	1.733	.074

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

3.2.2. 포먼트 대역값 비교

모음 /아/에서 발성방법 간 B1·B2·B3의 유의한 차이가 있었으며, 음계에 따라 B2·B3의 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 그러나 상호작용은 유의한 차이가 없었다. B3의 연장발성에서만 음계 간 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 발성방법 간 차이는 각 음계에서 B1과 B3, 그리고 B2는 F4 음계에서만 유의한 차이가 관찰되었다($p < .05$).

모음 /이/는 발성방법에 따라 B2와 B3에서 유의한 차이가 있었으며($p < .05$), 음계와 상호작용은 유의한 차이가 없었다. 모음 /이/는 B1과 B2에서 음계 간 각 발성방법의 유의한 차이가 있었으며, F4 음계에서 B2가 발성방법 간 유의한 차이를 보였다($p < .05$).

모음 /우/에서 발성방법에 따라 모든 대역값이 유의한 차이를 보였지만 음계와 상호작용에 따른 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 음계 간 각 발성방법 사이 유의한 차이는 없었으며, 발성방법 간 F4 음계의 B3에서만 유의한 차이가 관찰되었다($p < .05$). <표 7>은 발성방법 및 음계에 따른 각 모음의 대역값 기술통계값이다.

표 7. 발성방법 및 음계에 따른 대역값
Table 7. Formant bandwidth concerned with the vocalization method and the notes

	연장발성		성악발성	
	C4	F4	C4	F4
B1_ /아/	188.8 (±114.6)	143.4 (±55.4)	344.3 (±229.2)	356.5 (±249.7)
B2_ /아/	203.1 (±115.9)	345.1 (±246.9)	269.4 (±225.2)	535.1 (±470.1)
B3_ /아/	516.7 (±356.5)	824.5 (±508.5)	243.0 (±128.4)	253.5 (±180.1)
B1_ /이/	233.4 (±116.9)	334.8 (±159.9)	275.1 (±201.8)	317.2 (±210.9)
B2_ /이/	389.2 (±264.2)	549.5 (±417.7)	314.7 (±128.1)	211.35 (±74.8)
B3_ /이/	484.1 (±256.9)	460.4 (±193.5)	382.9 (±119.7)	362.9 (±184.6)
B1_ /우/	220.9 (±112.9)	221.6 (±159.6)	332.5 (±213.2)	330.2 (±243.3)
B2_ /우/	207.2 (±86.4)	152.4 (±125.1)	351.7 (±189.1)	351.3 (±177.8)
B3_ /우/	540.6 (±338.6)	721.7 (±570.8)	316.8 (±131.6)	284.1 (±110.2)

3.2.3. 포먼트 에너지 비교

모든 모음에서 음계에 따라 F1dB, F2dB, F3dB의 유의한 차이가 관찰되었다($p < .05$). 발성방법에 따른 차이는 모음 /이/의 F1dB와 F3dB에서, 모음 /우/는 F2dB에서 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 그러나 모든 모음에서 상호작용의 유의한 차이는 없었다.

모음 /아/, /이/의 Bonferroni 짝대응 비교 결과 음계 간 각 발성방법에서 F1dB, F2dB, F3dB의 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 발성방법 간 비교에서는 모음 /아/의 각 포먼트 에너지의 유의한 차이가 없었음에 반해, 모음 /이/는 발성방법에 따라 모든 포먼트 에너지에서 유의한 차이가 나타났다($p < .05$).

모음 /우/는 음계 간 각 발성방법에서 F1dB, F2dB, F3dB의 유의한 차이가 있었으며, 발성방법 간 F4 음계에서 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 발성방법 및 음계에 따른 포먼트 에너지의 평균과 표준편차는 <표 8>에, 성악가 포먼트 힘인 F3dB의 반복측정 분산분석 결과는 <표 9>에 제시하였다.

표 8. 발성방법 및 음계에 따른 포먼트 에너지

Table 8. Formant energy concerned with the vocalization method and each note

	연장발성		성악발성	
	C4	F4	C4	F4
F1dB_ /아/	80.7 (±3.9)	85.2 (±2.7)	81.1 (±3.1)	84.1 (±3.6)
F2dB_ /아/	79.4 (±3.6)	82.5 (±3.6)	77.3 (±6.2)	81.4 (±3.3)
F3dB_ /아/	71.9 (±4.2)	75.1 (±3.6)	70.8 (±3.7)	76.2 (±2.8)
F1dB_ /이/	77.7 (±2.7)	79.9 (±2.1)	78.6 (±3.1)	81.5 (±3.4)
F2dB_ /이/	72.8 (±3.4)	75.4 (±4.8)	73.1 (±4.3)	78.1 (±3.6)
F3dB_ /이/	73.4 (±3.7)	78.3 (±4.1)	72.5 (±2.9)	76.6 (±3.6)
F1dB_ /우/	76.9 (±2.4)	79.8 (±1.8)	77.9 (±2.4)	80.6 (±3.3)
F2dB_ /우/	72.2 (±4.4)	78.3 (±3.3)	69.6 (±4.4)	71.4 (±5.1)
F3dB_ /우/	61.7 (±5.9)	66.4 (±5.6)	62.2 (±6.9)	68.2 (±5.4)

표 9. F3dB에 대한 반복측정 분산분석 결과

Table 9. Results of repeated measures ANOVA regarding F3dB

주효과 또는 상호작용	df	F		
		F3dB_ /아/	F3dB_ /이/	F3dB_ /우/
음계	1	18.223***	16.974***	7.855**
발성방법	1	.001	4.947*	2.07
음계*발성방법	1	2.006	.535	.676

*p<.05, **p<.01, ***p<.001

3.2.4. VAI와 VSA, L/H ratio 비교

VAI의 반복측정 분산분석 결과, 발성방법에서의 유의한 차이는 있었으나(p<.05), 음계 주효과와 상호작용에서 유의한 차이는 없었다. 짝대응 사후검정 결과, 발성방법 간 C4음계에서 유의한 차이가 있었으며, 연장발성에서 음계 간 유의한 차이가 관찰되었다(p<.05). VSA는 음계에서만 유의한 차이를 보였다(p<.05). 성악발성에서 음계 간 유의한 차이를 보였지만(p<.05), 발성방법 간 유의한 차이는 없었다.

<표 10>은 L/H 비율의 반복측정 분산분석 결과다. 분석 결과, 모든 모음에서 음계 간 유의한 차이를 보였지만(p<.05), 발성방법 주효과와 상호작용에서의 유의한 차이는 없었다. Bonferroni 짝대응 비교에서 모음의 발성방법 간 유의한 차이는 없었지만 음계 간 각 발성방법에서 유의한 차이가 관찰되었다(p<.05).

표 10. L/H ratio에 대한 반복측정 분산분석 결과

Table 10. Results of repeated measure ANOVA regarding L/H ratio

주효과 또는 상호작용	df	F		
		L/H ratio_ /아/	L/H ratio_ /이/	L/H ratio_ /우/
음계	1	22.755***	70.379***	28.865***
발성방법	1	3.568	2.053	3.135
음계*발성방법	1	.034	.132	.226

***p<.001

각 음계 및 발성방법에 따른 VSA와 L/H 비율의 평균과 표준편차를 <표 11>과 그림으로 제시하였다(<그림 4~6>).

표 11. 발성방법 및 음계에 따른 VAI와 VSA, L/H 비율

Table 11. VAI, VSA and L/H ratio concerned with the vocalization method of each note in soprano students

	연장발성		성악발성	
	C4	F4	C4	F4
VAI	1.09 (±.08)	.98 (±.11)	.95 (±.21)	.92 (±.17)
VSA	257423 (±146125)	195660 (±198127)	206322 (±103226)	119102 (±78136)
L/H ratio_ /아/	2.21 (±.21)	1.97 (±.21)	2.29 (±.16)	2.03 (±.14)
L/H ratio_ /이/	2.32 (±.13)	2.03 (±.14)	2.29 (±.12)	1.97 (±.13)
L/H ratio_ /우/	2.32 (±.16)	2.11 (±.14)	2.34 (±.13)	2.08 (±.17)

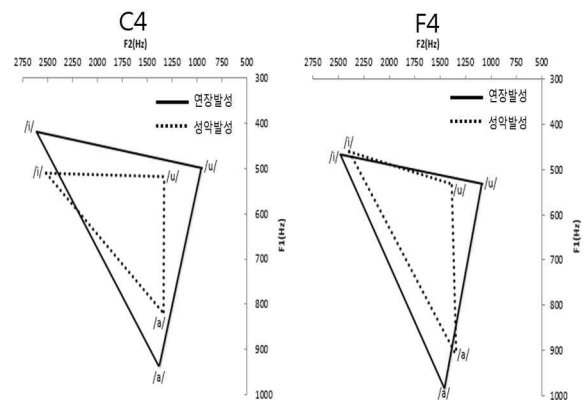


그림 4. 성악도의 각 음계 및 발성방법에 따른 VSA

Figure 4. VSA concerned with the vocalization method of each note in soprano students

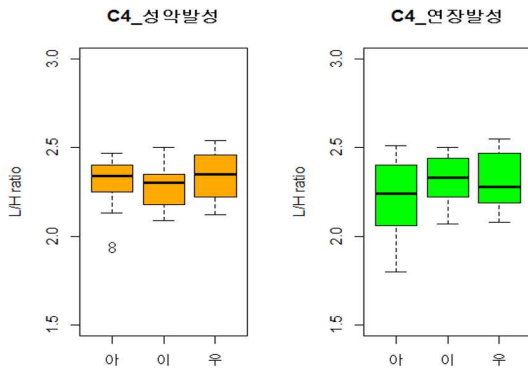


그림 5. 성악도의 C4 음계 발성방법에 따른 L/H ratio
Figure 5. L/H ratio related to the vocalization method of C4 in soprano students

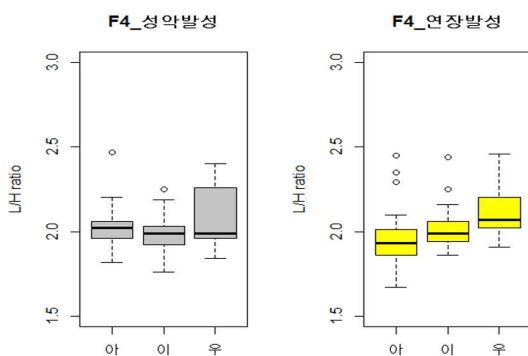


그림 6. 성악도의 F4 음계 발성방법에 따른 L/H ratio
Figure 6. L/H ratio related to the vocalization method of F4 in soprano students

4. 논의 및 결론

성악을 전공하는 소프라노 성악도를 대상으로 각 음계에서 발성방법에 따른 포먼트와 포먼트 에너지, 포먼트 대역값, 모음공간의 비율 변수인 VAI, VSA, 그리고 스펙트럼 에너지의 비율 변수인 L/H 비율을 분석변수로 삼아 연장발성에서 일반인과 차이가 있는지, 그리고 성악도 내에서 발성방법에 따른 음성질환 위험요소의 단서가 있는지 살펴보았다.

각각의 음계에서 같은 방법으로 연장발성한 성악도와 일반인에서 F3의 유의한 차이가 뚜렷하게 나타났다. 성악도에게 발성 훈련의 공명강 조정 작용을 배제할 수 있도록 하였으나 F3은 모음 /아/, /우/에서 일반인보다 400Hz 높은 3kHz 부근에서 형성되었다. 이는 공명강 조정 훈련이 연장발성에도 영향을 미쳤다고 볼 수 있는 부분이다.

성악도의 발성방법에 따른 포먼트 비교에서 성악가 포먼트 구간인 F3은 연장발성에 비해 성악발성에서 유의하게 높았다. 일반인 연장발성보다 약 200Hz 가량 더 높아졌는데, 연장발성

과 마찬가지로 /아/, /우/에서 차가 두드러졌다.

포먼트 대역값은 좁을수록 공명이 잘 이루어졌다고 판단할 수 있으며, 그에 따라 에너지가 클 것이라고 예측할 수 있다. 하지만 포먼트 대역값의 현저한 좁아짐은 성대 및 성문부 윗 부분의 긴장 정도를 반영하는 요인이기도 하다(최은아, 2014; Kent & Read, 2002). F4 음계에서 모음 /이/는 다른 두 모음에 비해 성악발성에서 포먼트 대역값이 좁아지는 것이 눈에 띄었다. 포먼트와 함께 생각해 볼 때, 성악발성에서는 F1 상승, F2의 하강 경향이 있었는데 이는 공명강 조정에서 고모음인 /이/를 저모음 조음처럼 혀를 하강시켰으며, 그 과정에서의 긴장이 포먼트 대역값에 반영된 것으로 생각된다.

성악발성에서 공명강 조정은 에너지 손실을 줄이기 위해 조음 방법을 달리 하는 과정이라고 이해할 수 있다.

입 꼬리를 늘리는(spread) 방식으로 성도의 길이를 짧게 하여 발성한다(Smith & Wolfe, 2010). 다시 말해 성도의 수평면을 짧게 조정하여 에너지 효율을 높이려 하는 것이다. 이로 인해 공명 에너지 최정점에 근접한 주파수 대역으로 에너지가 전이되며 성악도의 '에너지 효율'발성이 완성된다.

Lundy *et al.*(2000)에서도 0~2kHz와 2~4kHz 사이에서 에너지가 가장 큰 조화음을 찾고 그 에너지 비인 SpR(Singing power Ratio)을 분석하여 성악도의 목소리에서 일반인과 구별되는 에너지 이득이 있다고 하였다. 진성민(2002)도 성악도 음성을 장구간 스펙트럼(LTAS)으로 분석하여 3kHz와 8kHz 부근에서 일반인과 구별되는 에너지 차가 있다는 것을 밝혀냈다. 하지만 본 연구 결과에서 성악도의 연장발성과 성악발성에서 대역값이 넓어지거나 좁아짐의 유의한 차이가 있었지만 발성방법 간 포먼트 에너지의 차이는 없었다. 특히 성악발성에서 성악가 포먼트의 힘인 F3dB는 연장발성과 구별되는 에너지 차가 없었다.

일반적인 조음에서 포먼트 관련 비율 변수인 VAI는 분자 항인 F2_이/와 F1_아/의 값이 커질수록(즉 전체 변수의 값이 커질수록) 모음 공간이 커지게 되고 조음이 잘 이루어졌다고 판단한다. 그러나 성악발성에 적용을 하자면 성악가 포먼트 발현을 위한 조음점 이동 또는 공명강 조정 측면에서 살펴봐야 할 것 같다. C4에서 F4로, 즉 음계가 상승할 때 성악도 연장발성의 VAI는 낮아졌다. 일반인과의 포먼트 비교처럼 성악 발성훈련이 조음점 이동과 같은 영향을 주었다는 것을 의미한다.1 발성방법에 따른 차이에서 성악발성은 비율이 더 낮았는데 공명의 효율을 극대화하기 위한 조음점 이동이 이루어진다는 것을 의미하는 결과다. 각각의 음계에서 서로 다른 발성방법으로 발성한 모음의 공간 면적인 VSA는 성악발성에서 음계 상승에 따라 오히려 좁아졌지만 음계 내 발성방법에 따른 차이는 없었다.

정상 음성과 병리적 음성을 정상화하고 구분하기 위해 스펙트럼 기울기와 비슷한 정보를 제공하는 L/H 비율을 사용하는데, 발성노력의 직접적인 지표가 될 수 있다(서인효 & 성철재, 2013; Watts & Awan, 2011). 성악도와 같이 전문 음성 사용자가

1 이 조음점 이동이 청중의 청지각적 관점에서 수용할 만한 정도인가 하는 것이 성악발성의 이슈가 되어 왔다(Sundberg, 1991).

되기 위한 학생의 음성질환 위험성을 지적한 연구는 있었지만 (Franca & Wagner, 2015), 음향음성학적 분석을 통해 객관적인 자료를 제시한 연구는 없었다. 발성 과정에서 목표음 산출을 위한 발성하중이 커지게 되면 고주파수 영역 소음이 증가되고 결국 에너지 비인 L/H 비율은 낮아지게 된다. 성악도의 발성에서 발성방법 간 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 연장발성과 같이 음계가 상승됨에 따라 일반인의 연장발성과 같이 고주파수 대역의 소음 증가로 에너지 비가 낮아졌다.

성악도의 성악발성 F3 은 연장발성 보다 200Hz 높은 변화를 보였다. 즉, 성악가 포먼트 발현을 위한 성도의 수직·수평면 길이 조정이 이루어졌다는 의미다. 하지만 각 음계(C4, F4)에서 발성방법에 따른 에너지 차는 없었는데, 이는 공명강 조정 과정에서의 발성 과노력(high effort)이 L/H 비율에 반영되었기 때문으로 생각된다.

성악은 다양한 음악적 기교와 높은 음계에서의 발성이 요구된다. 음성질환의 위험성을 낮추기 위해 저음과 고음에서 균질한 음색을 유지할 수 있도록 훈련을 받게 되지만 소프라노의 주가창음역 보다 상대적 저음인 C4 와 F4 음계에서도 일반인과 같이 성악도의 발성노력이 커졌다. 따라서 F4 음계 이상의 발성과정에서 성악도의 음성질환 위험성이 높을 수 있다고 예상할 수 있을 것이다. 에너지 효율의 극대화 과정인 공명강 조정에서 발성 과노력 변수인 L/H 비율은 미숙한 소프라노 성악도의 발성법을 알려주는 단서이자 발성과정에서의 위험성을 나타내는 지표가 될 것으로 생각된다.

본 연구에서 소프라노의 가창음역 전부를 분석하지 못하였다. 또한 다양한 성악 파트 성악도의 목소리도 살펴보지 못하였다. 후속 연구에서는 소프라노 이외 파트를 전공하는 성악도, 그리고 성악가와와의 비교도 필요하다고 생각된다. 배움의 과정에 있는 소프라노 성악도의 발성 과노력에 대한 실마리와 음성질환 위험성에 대한 기초적인 정보를 제공했다는 데 연구의 의의를 둔다. 성악도가 체득하고 습득해 나가야 할 발성훈련 과정에서의 위험성을 줄여 나가는 데 도움을 줄 수 있는 연구가 더 필요하다.

참고 문헌

Ban, J., Kwon, Y., & Jin, S. (2004). Long term average spectrum characteristics of head and chest register sounds of western operatic singer: possibility of second singer's formant. *The Journal of the Korean Society of Logopedics and Phoniatics*, 15(1), 31-36. (반재호·권영경·진성민 (2004). 성악가들의 목소리에 대한 Long Term Average Spectrum 분석: 2nd Singer's Formant 의 존재 가능성에 대하여. *대한음성언어의학회지*, 15(1), 31-36.)

Barnes, L., & Latman, N. (2011). Acoustic measure of hormone affect on female voice during menstruation. *International Journal of Humanities and Social Science*, 1(3), 5-10.

Berndtsson, G., & Sundberg, J. (1994). Perceptual significance of the

center frequency of singer's formant. *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report*, 35(4), 95-105.

Boone, D., McFarlane, S., Von Berg, S., & Zraick, R. (2013). *The Voice and Voice Therapy* (9th edition). Boston: Pearson.

Choi, E. (2014). The articulation characteristics of the profound hearing-impaired children with reference to formant bandwidth. *Phonetics and Speech Sciences*, 6(2), 55-64. (최은아 (2014). 심도 청각장애 아동의 조음 특성: 포먼트 대역폭을 중심으로. *말소리와 음성과학*, 6(2), 55-64.)

Franca, M., & Wagner, J. (2015). Effects of vocal demands on voice performance of student singers. *Journal of Voice*, 23(3), 324-332.

Jeong, J., Kim, S., Lee, H., & Kwon, S. (2012). Acoustic voice characteristics of professional vocalist students. *Journal of Speech-Language & Hearing Disorders*, 21(3), 145-159. (정종철·김승원·이환호·권순복 (2012). 성악도 음성의 음향학적인 특성. *언어치료연구*, 21(3), 145-159.)

Jeong, O., Yoo, J., Lee, O., Choi, H., Kim, M., & Shin, M. (2002). *Elite Vocal Performer*. Daegu: Korean Speech-Language & Hearing Association. (정옥란·이옥분·유재연·최홍식·김문영·신명선 (2002). *직업적 음성 사용자*. 대구: 한국언어치료학회.)

Jin, S. (2002). Acoustic analysis of singing voice. *The Journal of the Korean Society of Logopedics and Phoniatics*, 13(1), 52-58. (진성민 (2002). 성악도의 두성구와 흉성구 발성에 대한 음향학적 분석. *대한음성언어의학회지*, 13(1), 52-58.)

Jo, S., Jeong, O., & Lee, S. (2004). A correlation study between acoustic and perceptual parameters of the singing voice in singing students. *Journal of Speech-Language & Hearing Disorder*, 13(4), 195-203. (조성미·정옥란·이상욱 (2004). 성악전공학생의 가창시 음성의 음향학적 파라미터와 지각적 파라미터 사이의 상관 연구. *언어치료연구*, 13(4), 195-203.)

Joliveau, E., Smith, J., & Wolfe, J. (2004). Vocal tract resonances in singing: The soprano voice. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(4), 2434-2439.

Kent, R., & Read, C. (2002). *Acoustic Analysis of Speech* (2nd edition). Singular: Thomson Learning.

Kim, J., & Seong, C. (2016). The change of vowel characteristics for the dysarthric speech along with speaking style. *Phonetics and Speech Sciences*, 8(3), 51-59. (김지연·성철재 (2016). 경도 마비 말장애 환자의 발화 유형에 따른 모음 특성 비교. *말소리와 음성과학*, 8(3), 51-59.)

Koufman, J., & Isaacson, G. (1991). The spectrum of vocal dysfunction. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 24(5), 985-988.

Lee, M. (2007). *Acoustic characteristics of the smoking patients in the benign mucosal disorders*. M.A. Thesis, Chonbuk National University. (이명희 (2007). *양성성대점막질환자에서 흡연에 따른 음향학적 특성 연구*. 전북대학교 석사학위논문.)

Lundy, D., Roy, S., Casiano, R., Xue, J., & Evans, T. (2000). Acoustic

- analysis of the singing and speaking voice in singing students. *Journal of Voice*, 14(4), 490-493.
- Millhouse, T., & Clermont, F. (2006). Perceptual characterisation of the singer's formant region: a preliminary study. *Proceedings of the 11th Australian International Conference on Speech Science & Technology* (pp. 253-258). University of Auckland, New Zealand. 6-8 December, 2006.
- Nam, D., Kim, W., Yoo, H., & Choi, H. (2010). Comparison between operatic singing and applied music singing. *Phonetics and Speech Sciences*, 2(4), 11-18. (남도현·김화숙·유현지·최홍식 (2010). 성악발성과 실용음악발성의 비교연구. *말소리와 음성과학*, 2(4), 11-18.)
- Noh, D., Paik, U., Hwang, B., & Jeong, O. (2002). Acoustic analysis of voice in professional voice user. *Malsori*, 44, 47-59. (노동우·백은아·황보명·정옥란 (2002). 전문적 음성 사용자들의 음성에 대한 음향학적 비교 분석 연구. *말소리*, 44, 47-59.)
- Seo, I. (2014). *Acoustic measures of voice quality and phonation types across speech conditions in dysarthria*. Ph.D. Dissertation, Chungnam National University. (서인효 (2014). *마비말장애의 발화조건에 따른 음질 및 발성방법의 음향음성학적 접근*. 충남대학교 박사학위논문.)
- Seo, I., & Seong, C. (2013). Voice quality of dysarthric speakers in connected speech. *Phonetics and Speech Sciences*, 5(4), 33-41. (서인효·성철재 (2013). 연결발화에서 마비말화자의 음질 특성. *말소리와 음성과학*, 5(4), 33-41.)
- Skodda, S., Visser, W., & Schlegel, U. (2011). Vowel articulation in Parkinson's disease. *Journal of Voice*, 25(4), 467-472.
- Smith, J., & Wolfe, J. (2010). Vocal track adjustments in the high soprano range. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 127(6), 3771-3780.
- Sundberg, J. (1991). Phonatory vibrations in singers: A critical review. *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report*, 32(1), 37-51.
- Timmermans, B., De Bodt, M., Wuyts, F., & Van de Heyning, P. (2003). Vocal hygiene in radio students and in radio professionals. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 28, 127-132.
- Watts, C., & Awan, S. (2011). Use of spectral/cepstral analyses for differentiating normal from hypofunctional voices in sustained vowel and continuous speech contexts. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 54, 1525-1537.
- Wingate, J., Brown, W., Shrivastav, R., Davenport, P., & Sapienza, C. (2007). Treatment outcomes for professional voice users. *Journal of Voice*, 21(4), 433-449.
- Zeitels, S., Casiano, R., Gardener, G., Hogikyan, N., Koufman, J., & Rosen, C. (2002). Management of common voice problems: Committee report. *Otolaryngology Head and Neck Surgery*, 126(4), 333-348.
- **김정택 (Kim, Jungtaek)**
충남대학교 인문대학 언어병리학과
대전광역시 유성구 대학로99
Tel: 02-123-4567
Email: kjt2177@hanmail.net
관심분야: 음성학, 음성장애
현재 언어병리학과 대학원 박사과정 재학 중
 - **성철재 (Seong, Cheoljae)** 교신저자
충남대학교 인문대학 언어학과
대전광역시 유성구 대학로99
Tel: 042-821-6395
Email: cjseong49@gmail.com
관심분야: 분절음 및 운율 분석
현재 충남대학교 인문대학 언어학과 교수