

전문 성악인 교육 평가 방법 연구:
음향분석 컴퓨터 시스템 및 후두 회신경을 사용하여*

Assessments of Professional Voice

김선숙** · 김현기*** · 홍기환****

(S. S. Kim · H. G. Kim · K. H. Hong)

ABSTRACT

The aim of this study is to develop an the assessment program for the singing voice which is based on the physiological and acoustic methods. 22 sopranos, 6 mezzo sopranos, 4 tenors and 4 baritones participated to these experiments.

The results measured by Visi-Pitch, spectrograph, and strobo-scope can be summarized as follows : (1) The maximum phonation time of singers must over 14 second higher with one deep inspiration (2) The parts classified by vocal range using Visi-Pitch: soprano between 167 Hz~1,190 Hz, mezzo soprano between 146 Hz~956 Hz, tenor between 75 Hz~503 Hz and baritone between 73 Hz and 385 Hz. (3) Longitudinal glottal size of singers decreases depending on the high-low pitch variation while lattitudinal glottal size increases depending on high-low pitch variation. (4) Well-trained singers show over 5 times the vibrato rate of untrained singers and regular pitch variation during measured periods. Vibrato's intensity do not over 3 dB. (5) Singer's formant indicates professional voice depending on the each parts: 3,207 Hz for soprano, 3,057 Hz for mezzo soprano, 2,754 Hz for tenor and 2,560 Hz for baritone. (6) F₁ of singing voice is higher than that of speech while F₂ and F₃ of singing voice are lower than those of speech.

* 이 논문은 1997년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의해 연구되었음.

** 충남대학교 음악대학 성악과

*** 전북대학교 인문대학 불어불문학과

**** 전북대학교 의과대학 이비인후과

1. 서론

아름다운 노래 소리는 신이 인간에 준 천혜로 서구 유럽에서는 중세 때부터 오페라 가수를 중심으로 발성법 및 발성 체계를 연구하여 왔다. 근대에 이르러 과학 기술 및 의학의 발달로 전문 성악가의 음성 생성 과정을 발성 기관을 중심으로 생리학적으로 규명하였고 음파의 전달 과정을 물리학적으로 밝혀냈으며 노래 소리의 지각 체계를 심리학적으로 설명하여 20세기 후반 음악 과학 연구의 새로운 장을 열게 되었다.

노래 소리는 사람의 음성활동 중 생리학, 심리학 및 미학적인 관점에서 가장 특권적인 분야로써 Hartman에 의하면¹⁾ 성악은 음성이라는 재료를 통하여 실제의 관계 속에서 부각시키기 때문에 음악 질서의 최고봉이라 하였다. 그러나 노래 소리의 생성 과정은 본질적으로 말소리의 생성 과정과 같은 것이다. 그러한 까닭은 정규 성악 교육을 받지 않은 사람의 가창시 음색은 말소리의 음색과 유사하다는 점과 전문 성악인의 가창시 음계는 일상적인 언어 구사시의 기저음과 유사한 점 등을 이유로 하고 있다. 그러므로 노래 소리의 특성을 이해하기 위해서는 음성 생성 원리를 정확히 이해해야 하며, 성악 전공인들은 올바른 발성법을 습득하기 위해서 반드시 음성 생성과정을 이해해야 한다²⁾.

음성의 생성 과정은 크게 세 단계 분류하여 설명한다³⁻⁵⁾. 첫째, 자연계에서 공기가 폐로 유입되어 공기를 압축하는 호흡 기관과 횡경막의 작용으로 기관을 통해 유출되는 호흡 과정. 둘째, 기관을 통해 흘러나오는 숨결이 압력과 후두 고유의 탄성에 의해서 성대를 진동하는 발성 과정. 셋째, 음원인 후두에서 흘러나온 음성 에너지가 혀, 입술 및 목젖 등의 운동에 따라서 인두강 및 구강 공명을 변화시키는 조음 과정으로 이 세 과정은 연속적으로 상호 작용하면서 음성을 생성한다. 이러한 음성의 생성과정 중 전문 성악가의 후두 형태 및 구강 구조는 음역 및 음색을 결정하는 중요한 기관으로 특히, 전문 성악가들이 가창시 2-3 옥타브까지 높은 소리를 발성할 수 있는 음폭(vocal range)은 전문 성악가 및 성악 교육자들의 경험에 의해서 사용하는 주관적인 평가 용어인 음역(register)과 같은 의미로 사용하고 있다. 그러나 최근 과학 기술의 발달로 첨단 장비를 사용하여 음역을 생리학적, 음향음성학적 및 공기역학적 방법에 의한 객관적인 측정이 가능해지면서 고전적 용어로 사용되고 있던 '음역'이란 개념과 대별하는 새로운 개념으로 '후두 음역(laryngeal register)'이란 용어를 사용하여 음역을 전적으로 후두에서 발생하는 현상으로 간주하여 음성 주파수의 영역에 따라 분류하는 경우도 있다⁶⁾.

음악 과학의 발달로 음역 분류의 객관적인 방법이 보편화되고, 아름다운 노래 소리의 생리학 및 음향학적인 특성들이 지각 체계와의 관계 속에서 연구 발표되고 있으며 그 대표적인 현상들로 음역 별 후두 형태, 비브라토(vibrato), 슈퍼피치, 포먼트의 변화 및 음악 포먼트(singer's formant 또는 musical formant) 등이 있다

7-8). 이러한 특성 중에서 전문 성악가들에게서만이 발견되는 음악 포먼트는 오케스트라와 협연할 때 노래 소리가 악기 소리에 묻히지 않고 청중에게 전달되는 현상을 과학적으로 규명한 것으로 음악 과학 연구의 획기적인 발견으로 간주하고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 선진 외국을 중심으로 최근 성악 연구에 활발히 도입되고 있는 최첨단 음향 음성 분석 장비 및 최신 음악 과학 이론들을 국내 전문 성악인 및 성악 전공 학생들에게 적용하여 첫째, 국내 음악계에서 논란이 되고 있는 음역 설정의 문제들을 객관적인 평가 방법의 개발로 정확한 파트 선정은 물론 성악가의 적절한 배역 선정의 기준이 되도록 하고, 둘째, 전문 성악가의 목소리에서 발견되는 음악 과학적인 평가 기준을 성악 전공 학생들에게 적용하여 발성 훈련의 완숙 정도를 단계별로 평가하는 방법과 성악에 재능 있는 학생을 조기에 발굴할 수 있는 객관적이고 국제적으로 표준화된 평가 방법을 개발하는 것이다.

2. 연구 방법 및 과정

2.1 피실험인

성악의 기교와 교육적인 효과를 종합적으로 평가하기 위해서 본 연구에 참여한 피실험인은 표 1과 같다. 피실험인들은 성악 전공 대학생 및 전문 성악가들로 파트별 분류하면 소프라노 22명(전문 성악가 3명), 메조 소프라노 6명(전문 성악가 2명), 테너 4명(전문 성악가 2명), 바리톤 4명(전문 성악가 2명)으로 하였다. 성악 전공 학생들 대부분은 고등학교 때부터 성악을 본격적으로 시작하여 대학에서 성악을 전공하는 학부 1학년부터 대학원 재학생까지로 하였으며, 전문 성악가는 성악 전공 10년 이상의 경력을 가지고 대학에서 성악 교육에 종사하고 있거나 해외에서 유학중인 전문 성악인들로 하였다. 피실험인 모두 의학적으로 후두 질환이 없었으며 음성 실험 당시 후두 상태도 비교적 건강한 것으로 판명되었다.

표 1. 성악 전공 피실험인 수

파트 피실험인	소프라노	메조	테너	바리톤
성악전공학생	19	4	2	2
전문 성악인	3	2	2	2
계	22	6	4	4

2.2 실험 장비

성악 전공 피실험인들의 음성 자료는 방음된 방에서 일차적으로 supercardioid directional 마이크 Senheise MK 66을 사용하여 Sony DAT Tape recorder(TCD-D10) 녹음기에 녹음하였다. 이차적으로는 실제 음성 신호를 직접 분

석하기 위해서 Visi-Pitch(모델 6097 AT)를 사용하여 기저주파수 분석을 하였고 음성 분석 컴퓨터 시스템인 IBM기종의 CSL(모델 4200)을 사용하여 음색을 분석하였다. 성악 전공 피실험인들의 후두 촬영은 kay사의 Rhino-Laryngeal Stroboscope를 사용하여 Rhino-Larynx Stroboscope에 연결된 컴퓨터에 저장한 다음 후두 영상 데이터를 삼성 6 헤드 비디오 테크 Winner SV-7150에 복사한 다음 파나소닉 비디오 칼라 프린터 모델 VES3으로 출력하여 분석하였다.

2.3 실험 과정

피실험인은 음성 검사를 시작하기에 앞서 긴장을 풀고 편안한 자세를 취하게 한 다음 초시계를 사용하여 최대 발생시간을 3회씩 발생하게 하여 기초 검사를 시행하였다. 이어서 전문 성악가의 음악과학적인 특성을 규명하기 위해 본 연구팀이 개발한 자체 평가 문형을 제시하여 음성 측정 장비별 음성 실험을 실시하였다. 표 2는 음성 측정 장비별 음성 언어 표본 및 음성 분석 파라미터이다. Visi-Pitch(이하 비지 피치라 함)는 발화 및 발생시 기저 주파수의 변화를 측정하기 위해 사용한 장비로 발화시 음성 검사는 피 실험인 이 평소 말하는 습관대로 평가 문장을 읽게 하여 측정하였고, 후두 음역의 측정은 음성 검사를 실시하기에 앞서 비지 피치판에 설치된 필터 A, B, C, D 버튼 중에서 여성 피실험인은 C 버튼을 선택하고 남성 피실험인은 B 버튼을 선택 한 다음 비지 피치에 설치된 마이크를 피실험인 입에서 약 5 cm 간격을 유지하여 평소 발생 연습 때처럼 선 자세를 취한 다음 여성의 경우는 피아노 건반 C3(131 Hz)을 기준으로 하고 남성의 경우는 C2(65 Hz)를 기준으로 하여 피아노 건반에 따라 모음 /a/를 한 음계씩 위로 최고음까지 발생케 한 다음 다시 기준음에서부터 한 음계씩 아래로 낮춰 최저음까지 발생하게 하여 기저 주파수를 측정하였다. 그림 1은 피아노 건반 기준음으로부터 최고성(Hi)과 최저성(Lo)까지의 피치 변화를 나타낸 것이다.

CSL은 전문 성악가의 '음색'을 측정하기 위해 사용한 장비이다. 피실험인은 발화 및 발생시로 나누어 평가 문형을 측정하였으며, 발화시의 평가 문형은 단순 모음 /i, e, u, o, a, ɔ, ʊ/를 평소 말하는 습관대로 발화케 하여 측정하였고, 발생시의 평가 문형은 피실험인에게 피아노로 A4(440 Hz)를 들려 준 다음 그 음에 맞춰 단순 모음/i, e, u, o, a, ɔ, ʊ/을 발생케 하여 측정하였다. 발화 및 발생시 분석 파라미터는 모음 포먼트 F_1 , F_2 및 F_3 값이었다. 또한 모음 발생시 음향 신호 중에서 후설모음 /ʊ/를 중심으로 피치 추출을 선택한 다음 1초 동안 비브라토(vibrato)의 회수와 진폭의 변화를 측정하였고, 에너지(dB)를 추출하여 비브라토 강도의 변화를 측정하였다. 음악 포먼트의 측정은 스펙트럼 상에서는 후설 모음 /u/를 기준으로 발화 및 발생시 음악 포먼트의 형성을 시각화한 다음 파워 스펙트럼 및 LPC 곡선으로 음악 포먼트의 주파수(Hz) 및 강도(dB)를 측정하였다.

표 2. 음성 측정 장비 별 음성 언어 표본 및 음성 분석 파라미터.

실험 장비	평가 문형	분석 파라미터
Visi-Pitch	① 지속모음 /e-/ ② 문장 읽기 '고향의 봄' ③ 기준음(남: C2, 여: C3)에서 최고음 및 최저음 발성	-최대발성 지속 시간(s) -최고 및 최저 피치(Hz) -음역(Hz)
CSL	① 발화시 모음 /i, e, u, o, a, ɔ, w/ ② 발성시 모음 /i, e, u, o, a, ɔ, w/	- 발화시 F ₁ 및 F ₂ - 발성시 F ₁ 및 F ₂ -Vibrato: ① 회수 ② 진폭(Hz) ③ 강도(dB) -Singer's formant
Rhino-larynx stroboscope	기준음(남: C2, 여: C3)을 중심으로 최고음 및 최저음 발성.	성대의 수직 및 수평 길이

음향 음성학적인 측정과는 별개로 전문 성악가의 발성시 후두 형태는 Rhino-larynx stroboscope를 사용하여 정상 발성을 중심으로 최고음까지 올려 발성한 다음 다시 최저음까지 내려 발성하는 과정을 비디오 테이프에 녹화한 다음 비디오 칼라 프린터로 출력하여 비교하였다. 그림 2는 발성시 성대의 모양을 나타낸 것이다. 그림 맨 위는 고음역 발성시(Hi) 성대의 모양을 나타낸 것이고 그림 가운데는 기준음 발성시(C3) 성대의 모양을 그리고 그림 맨 아래는 저음역 발성시(Lo) 성대의 모양을 나타낸 것이다

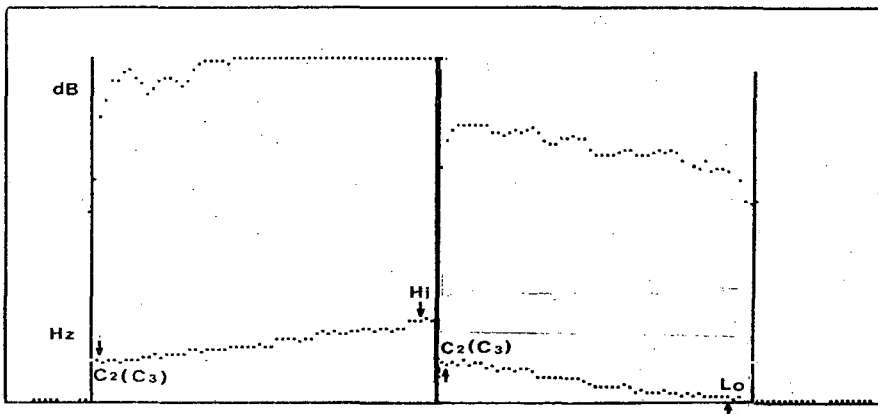


그림 1. 비지피치를 사용한 음역의 측정. 피아노 건반 남: C2, 여: C3을 기준으로 최고음(Hi) 및 최저음(Lo)을 발성케 하여 각각 기저 주파수(Hz)를 측정하였다.

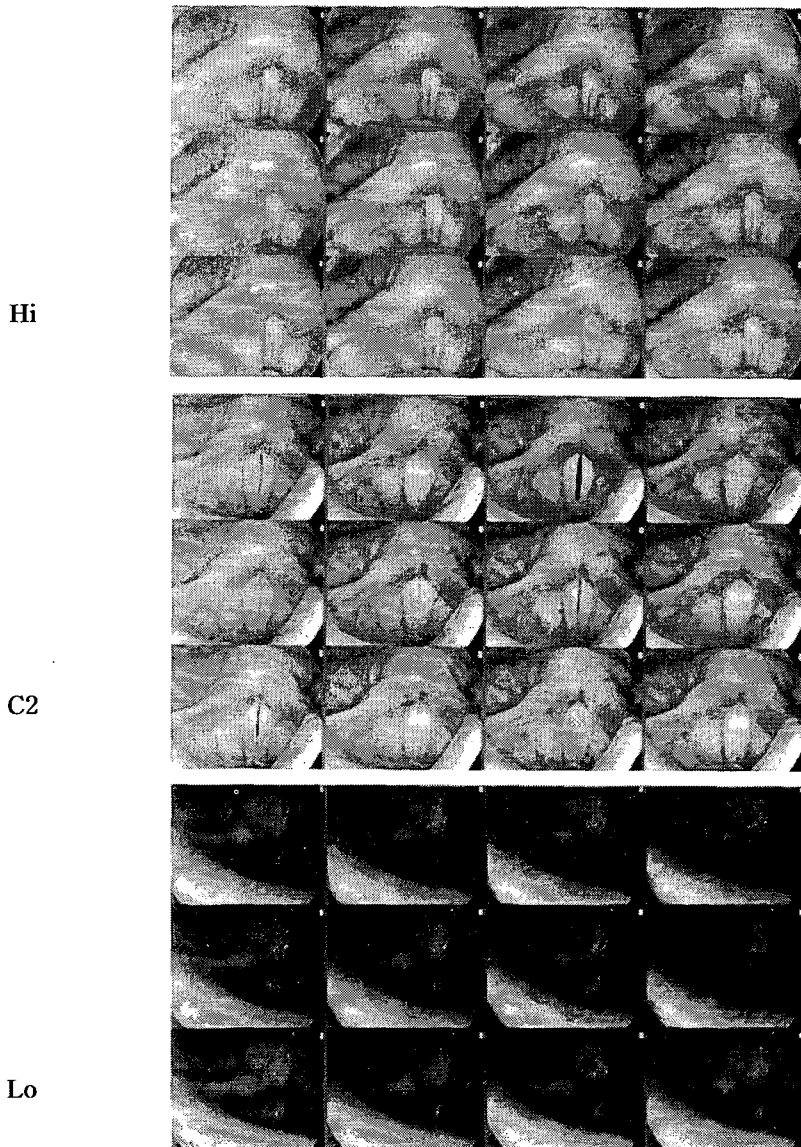


그림 2. 고속 스트로브 스코피 촬영에 의한 바리톤 발성시 성대의 모양
기준음 C2를 기준으로 최고성(Hi) 및 최저성(Lo)시 성대의 모양

3. 연구 결과

3.1 발성 지속시간

가창시 모음의 지속적인 발성은 음을 안정하게 하는 중요한 파라미터로 본 연구에서는 초시계를 사용하여 모음 /e/를 최대로 길게 3회씩 발성케 하여 그 가운데 최대 지속시간을 평가 단위로 선택하였다. 표 3은 파트별 발성 최대 지속 시간 및

표준 편차를 나타낸 것이다.

표 3. 파트별 발성 최대 지속시간(초)

	소프라노	메조소프라노	테너	바리톤
평균*	17'17	14'01	14'51	21'86
편차	±3'98	±1'79	±2'06	±6'20

n=소프라노: 14, 메조소프라노: 5, 테너: 4, 바리톤: 5

파트별 발성 최대 지속 시간은 여성 파트에서 소프라노는 평균 17'17(±3'98)이었고 메조 소프라노 평균 14'01(±1'79)로 소프라노의 발성 최대 지속 시간이 메조 소프라노의 발성 최대 지속 시간보다 약 3'16초 길게 나타났다. 그러나 남성 파트에서 테너는 평균 14'51(±2'06)이었고 바리톤은 평균 21'86(±6'2)으로 바리톤의 발성 최대 지속 시간이 테너의 발성 최대 시간보다 약 7'35 길게 나타났다.

3.2 음역 및 성문의 형태

전문 성악가 또는 성악 교육자들이 정의하는 음역은 일반적으로 주관적인 청각 판정에 의해서 결정되기 때문에 파트의 결정에 논란의 소지가 많다. 특히 전문 성악가가 발성시 2-3 옥타브까지 음역을 변화시키는 과정은 호흡 방법뿐만이 아니라 후두의 역할이 중요하기 때문에 본 연구에서는 비지 피치를 사용하여 파트별 발성 단계를 기준음에서 최고음역까지 그리고 기준음에서 최저음까지의 후두 음역을 객관적으로 측정할 다음 동일한 과정의 성문 형태도 후두 회신경 촬영을 통하여 상호 연관 비교하였다.

표 4는 전문 성악가의 음역(vocal range)을 파트별 측정된 값의 최저 및 최고값과 평균값을 나타낸 것이다. 음역의 분류는 Hirano(1981;1989)식 분류법⁹⁾을 채택하여 피아노 건반에 의한 음계 분류와 비지 피치상에서 나타나는 음계별 주파수 값을 기준으로 하였다.

표 4. 파트별 음역 범위. 음역은 Hirano의 건반 음계 분류법을 비지 피치는 기저주파수 음계 분류값을 나타낸 것이다.

표기	파트	소프라노	메조소프라노	테너	바리톤
음역		B ₃ -B ₅	G ₃ -G ₅	B ₂ -B ₄	G ₂ -G ₄
비지피치		245-988 Hz	196-784 Hz	123-494 Hz	98-392 Hz

표 5는 본 연구에서 성악 전공인들의 파트별 음역 측정 최저값 및 최고값과 평균값(Hz)을 나타낸 것이다. 피실험인 소프라노의 경우 고성시 최고 주파수 값은 1,460 Hz이었고 저성시 최저 주파수 값은 119 Hz이었으며 평균 음폭은 1,023 Hz이었다. 메조 소프라노는 고성시 최고 주파수 값은 1,093 Hz이었고 저성시 최저 주파수는 126 Hz이었으며 평균 음폭은 810 Hz이었다. 테너는 고성시 최저 주파수 값은

414 Hz이었고 저성시 최저 주파수 값은 75 Hz이었으며 평균 음폭은 355 Hz이었다. 바리톤은 고성 최고 주파수 값은 539 Hz이었고 저성시 최저 주파수 값은 73 Hz이었으며 평균 음폭은 305 Hz이었다.

표 5. 전문 성악가의 파트 별 음역 측정 최저 값 및 최고 값과 평균값(Hz).

		소프라노		메조 소프라노		테너		바리톤	
		측정값	영역	측정값	영역	측정값	영역	측정값	영역
고	최저값	1015	445	778	315	414	89	333	206
성	최고값	1460		1093		503		539	
저	최저값	119	119	126	37	75	11	73	23
성	최고값	238		163		86		96	
평	최저값	167	1023	146	810	81	355	80	305
균	최고값	1190		956		437		385	

n=소프라노: 15, 메조소프라노: 5, 테너: 4, 바리톤: 5

파트별 성대 모양과 음역의 변화에 따른 성대의 작용은 후두 회신경을 사용하여 평상 발성시를 기준으로 최고성 시와 최저성 시를 촬영한 다음 비디오 프린터로 인화한 다음 임의의 길이를 정하여 성대의 수직 길이와 성대(Vocal fold)를 좌우로 가로지르는 수평 길이를 mm로 측정하여 비교하였다. 그림 2는 파트별 음역 변화에 따른 성대 상하 및 좌우 임의 길이를 측정한 값이다. 각 파트에서 성대의 수직 길이는 고성에서 저성으로 내려 갈수록 줄어들었으나 성대의 수평 길이는 고성에서 저성으로 내려 갈수록 늘어났다.

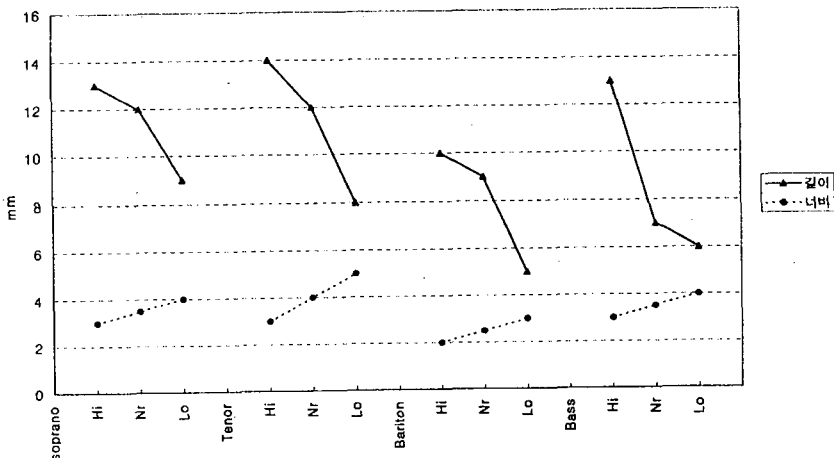


그림 3. 파트별 음역 변화에 따른 성대 상하 및 좌우 길이의 변화

3.3 비브라토

비브라토는 성악가의 천부적인 아름다운 노래 소리에서 발견되는 특징 중의 한 현상³⁾으로 본 연구에서는 CSL을 사용하여 스펙트로그램 상에서 1초 당 비브라토 회수, 주파수의 변화 및 강도의 변화와 음색을 구분하여 측정하였다. 표 7은 파트 별 비브라토의 회수를 나타낸 것이다. 그림 4는 모음 발생시 비브라토의 음향학적인 특성을 시각화 한 것이다. 그림 3-A는 비브라토의 파형을 그림 3-B는 비브라토의 진동 회수를 그리고 그림 3-C는 협포먼트 상에 나타난 비브라토의 음색을 나타낸 것이다. 주파수 비브라토는 1초당 진동 리듬을 5-7회를 평가 기준으로 할 때 본 연구에 참여한 피실험인 성악가 중 소프라노에서는 약 47 %, 메조 소프라노에서는 100 %, 테너에서는 75 %, 바리톤 및 베이스에서는 100 % 비율로 나타났다. 그러나 비브라토의 진동 리듬 회수가 5-7회 이내이고 진동 폭의 변화가 거의 균일하게 나타난 경우는 소프라노의 경우 단 두 가지 경우와 바리톤 단 한가지 경우밖에 나타나지 않았으며 대부분의 경우 진동 리듬의 회수가 적거나 진동 폭의 변화가 불규칙적으로 나타났다. 특히 일부 피실험 성악가 중에는 비브라토의 리듬 회수 및 진동 폭이 거의 평가 기준에 가깝게 나타났지만 상대 관리의 부주의로 발생시 양성대의 접촉 상태가 불량하여 기식음이 발생하는 vocal fry 현상이 나타나는 경우가 있었다.

표 6. 파트 별 초당 비브라토의 횟수

회수	소프라노	메조소프라노	테너	바리톤	베이스	비고
6	6	2		2		vfl
5	2	1	3	1	1	vfl
4	3					
3	2		1			vfl
2	2					
1						
0	2					
합계	17	3	4	3	1	3

vf: 비브라토 중에 나타난 vocal fry의 예.

강도 비브라토는 강도 곡선의 변화를 3 dB를 초과하지 않은 경우 청중이 비브라토를 청취하는 평가 기준으로 하였다. 그림 4는 표준 강도 비브라토를 시각화한 것이다. (A)는 파형 (B)는 강도 (C)는 스펙트럼을 나타낸 것이다. 본 연구에서 강도 비브라토를 측정된 결과 소프라노의 경우 0,7 dB~4,1 dB까지 다양하게 나타났으며, 메조 소프라노의 경우는 0,9 dB~2,3 dB 사이, 테너는 2 dB~2,6 dB사이, 바리톤은 0,9 dB~1,8 dB사이로 다양하게 나타났으며 본 연구 평가 기준이 정한 3 dB 기준에 근접한 경우는 소프라노의 경우 3,2 dB 한 경우밖에 없었다. 음색 비브라토의 특징은 스펙트럼 상에서 고주파수대에 강도가 세고 주기의 변화가 나타날

때 청취되는 현상으로 그림3-C는 강도 주파수와 함께 음색 비브라토를 시각화한 것이다.

3.4 음악 포먼트

전문 성악가가 악기음이 큰 오케스트라와 협연할 때 노래 소리가 청중들에게 멀리까지 전달되는 현상을 음향학적 및 청각적으로 규명한 이론이 음악 포먼트이다. 음악 포먼트는 음향학적인 관점에서 보면 전문 성악가의 발성시 협음역대 스펙트로그램 상에서 약 3,000 Hz대 주변, 즉 제 3포먼트 및 제 4포먼트 주변 주파수 영역 대에서 음성 강도가 높아진다는 현상을 일반 포먼트와 차별화 하여 음악 포먼트라 하였다. 이러한 음악 포먼트는 청각적인 관점에서 보면 인간의 귀는 2,000 Hz~3,000 Hz대에서 가장 예민한 반응을 보이는 특성으로도 설명된다. 그림 5는 스펙트로그램 상에서 소프라노가 모음 /u/를 발화(A) 및 발성(B)하였을 때 나타난 음악 포먼트를 시각화한 것이다. 음악 포먼트는 3,000 Hz~3,500 Hz 사이에서 강도가 높게 나타나 있다. 표 8은 전문 성악인들의 파트별 모음 /u/ 발화 및 발성시 포먼트 값과 평균과 음악 포먼트의 평균값을 나타낸 것이다.

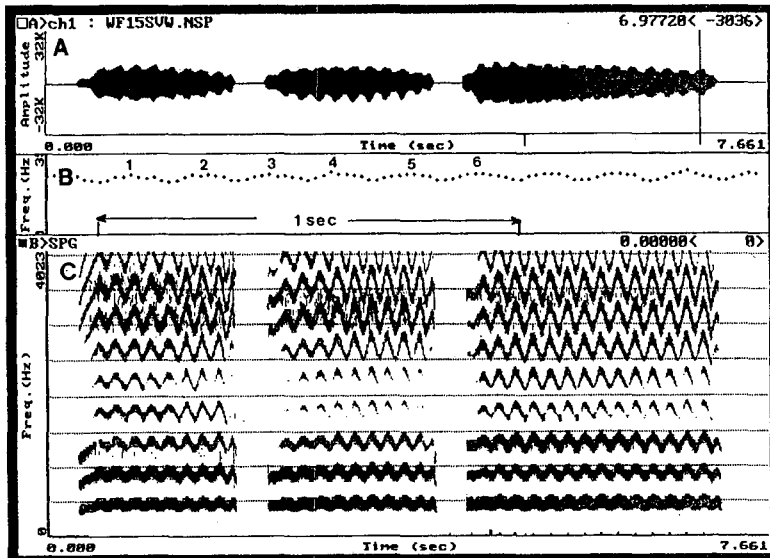


그림 4. 모음 발성시 비브라토의 음향학적인 특성. (A) 비브라토의 파형(B) 비브라토의 진동 회수 (C) 협 포먼트 상에 나타난 비브라토의 음색의 시각화

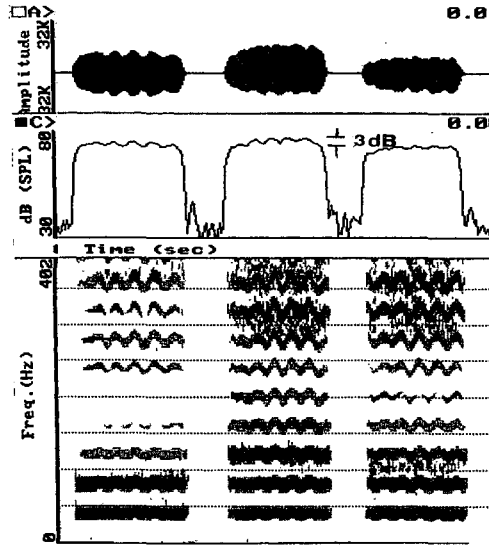


그림 5. 표준 강도 비브라토의 시각화

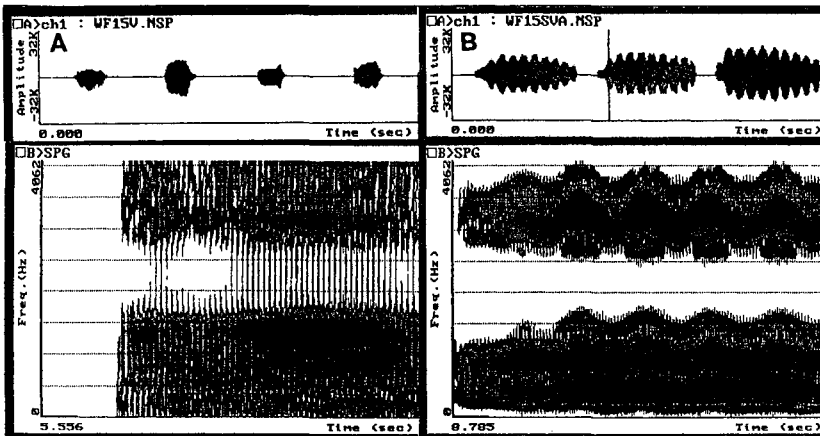


그림 6. 소프라노의 모음 /w/ 발화(A) 및 발성(B)시 스펙트로그램 고주파수 영역에서 포먼트 및 음악 포먼트의 비교

표 7. 파트 별 음악 포먼트 값

	소프라노		메조 소프라노		테너		바리톤	
	발화시	발성시	발화시	발성시	발화시	발성시	발화시	발성시
주파수(Hz)	3,077	3,207	2,576	3,057	2,557	2,754	2,099	2,560
강도(dB)	13	34	9	35	30	39	26	40

n=소프라노: 13, 메조소프라노: 6, 테너:4, 바리톤: 3

소프라노의 음악 포먼트는 평균 3,207 Hz에서 34 dB이었으며 발화시 모음 주파

수 3,207 Hz에서 음성 강도 13 dB보다 21 dB 높게 나타났다. 메조소프라노의 음악 포먼트는 평균 3,057 Hz에서 35 dB이었으며 발화시 모음 주파수 2,576 Hz에서 음성 강도 9 dB보다 26 dB 높게 나타났다. 테너의 음악 포먼트는 평균 2,754 Hz에서 39 dB로 발화시 모음 주파수 2,557 Hz에서 음성 강도 30 dB보다 9 dB 높게 나타났으며 바리톤의 음악 포먼트 평균은 2,560 Hz에서 40 dB로 발화시 모음 주파수 2,099 Hz에서 음성 강도 26 dB보다 14 dB 높게 나타났다. 따라서 음악 포먼트는 여성 전문 성악인의 경우 남성 전문 성악인 보다 강도의 변화 폭이 크게 나타났다.

3.5 모음 포먼트

가창시 구강 구조 내 모음 공명 현상은 성악가의 발성 및 발음방법을 평가하는 중요한 자료가 된다. 부록 1, 2에서 보는 바와 같이 남성 성악가(부록 1) 및 여성 성악가(부록 2)의 우리말 모음 /i, e, u, o, a, ɔ, u/의 발성 및 발화시 F₁, F₂ 및 F₃ 측정값을 나타낸 것이다. 제 1포먼트 값의 변화는 발성 및 발화시 개구도의 변화를 나타내며 제 1 포먼트의 값이 크면 클수록 개방의 정도가 크고 제 1포먼트 값이 작으면 작을수록 개방의 정도가 작은 것으로 평가된다. 남성 성악가의 발성 및 발화시 제 1 모음 포먼트 값의 비교에서 모음 /a/는 발성시 641 Hz로 발화시 695 Hz보다 낮게 나타났다. 그러나 모음 /i/, /e/, /u/, /o/, /ɔ/, /u/에서는 발성시 407 Hz~565 Hz~449 Hz~526 Hz~589 Hz~487 Hz로 발화시 266 Hz~490 Hz~361 Hz~426 Hz~695 Hz~562 Hz~376 Hz보다 높게 나타났다. 여성 성악가는 모음 /a/ 및 /ɔ/에서 발성시 각각 757 Hz 및 663 Hz로 발화시 967 Hz 및 668 Hz보다 낮게 나타났으나 모음 /i/, /e/, /u/, /o/, /u/에서는 발성시 420 Hz~533 Hz~425 Hz~436 Hz~440 Hz로 발화시 295 Hz~514 Hz~373 Hz~450 Hz~444 Hz보다 높게 나타났다. 제 2 포먼트 값의 변화는 발성 및 발화시 조음 장소의 이동 및 순음화 현상을 평가하며 제 2 포먼트 값이 클수록 조음 장소가 전방으로 이동하고 동일한 개구도 상에서 제 2 포먼트 값이 작은 경우는 순음화현상으로 평가된다. 남성 성악가의 발성 및 발화시 제 2포먼트 값의 비교에서 모음 /i/, /e/, /a/, /u/는 발성시 1,890 Hz~1,514 Hz~1,079 Hz~1,087 Hz로 발화시 2,029 Hz~1,704 Hz~1,099 Hz~1,233 Hz보다 낮게 나타났으며 모음 /u/, /o/, /ɔ/에서는 발성시 861 Hz~862 Hz~987 Hz로 발화시 800 Hz~716 Hz~913 Hz보다 높게 나타났다. 여성 성악가는 모음 /i/, /e/, /a/에서 발성시 2,338 Hz~2,081 Hz~1,183 Hz로 발화시 2,730 Hz~2,422 Hz~1,408 Hz보다 낮게 나타났으나 모음 /u/, /o/, /ɔ/, /u/에서는 발성시 1,030 Hz~835 Hz~1,238 Hz~1,576 Hz로 발화시 843 Hz~757 Hz~988 Hz~1,519 Hz보다 높게 나타났다. 제 3 포먼트 값의 변화는 혀끝의 조음 작용으로 작은 공명관이 형성되는 것으로 평가한다⁷⁾. 본 연구에서는 남·녀 성악가 모두 전설 모음 /i/와 /e/에서 발성시 제 3포먼트 값이(남: 2,616 Hz~2,364 Hz, 여: 2,929 Hz~2,774 Hz) 발화시 제 3포먼트 값(남: 2,826 Hz~2,485 Hz, 여: 3,465 Hz~2,959 Hz) 보다

낮게 나타났으며, 그 이외의 모습에서는 큰 차이가 없었다.

4. 총괄 및 고찰

1983년 미국 Symposium on The Care of the Professional Voice에서는 첨단 과학 시대를 살고 있는 성악 교육자의 책무로 전통적인 성악 교육 방법을 현대적인 분석 방법을 도입하여 전통 성악 교육을 해석·확대함과 동시에 성악 교육 방법을 체계화하여 생동감 있는 성악 교육이 되도록 해야 한다고 결의하였다¹⁰⁻¹¹⁾. 따라서 성악 교육자들은 음성 생성의 생리학적인 원리인 호흡기관, 후두 및 발음기관의 상호 작용을 정확히 이해한 다음 음향학 및 심리학의 지식을 바탕으로 성악 전공 학생들의 발성 및 수련 과정을 객관적으로 지도해야한다¹²⁾. 더불어 성악 교육자는 시대적인 학문의 변화를 수용하여 해박한 지식으로 성악 전공 학생들이 발성 과정 중에서 발생하는 치명적인 발성기관의 손상을 사전에 예방하고 곡에 따라 개인의 능력이 부족한 경우 특별한 형태의 발성법을 이끌어내어 학생의 잠재성을 개발하고 개인의 한계를 이해시키도록 노력해야한다¹³⁻¹⁵⁾.

음악 과학(music science)또는 음악 음향학(music acoustic)은 독일의 물리학자 Herman Von Helmholtz가 음악 이론의 궁극적인 목적이 청각적으로 음을 지각하는 방법을 연구하는 것(Die Lehre von den Tonempfindungen als Physiologische Grundlage der Musikthorie)¹⁶⁾이라고 주장한 이래 음악은 인간의 정서만을 다루는 예술의 한 분야로만 간주해오던 편견에서 벗어나 음악의 과학적인 분석을 통한 보편적 학문화로 이끌어왔다. 문헌적으로 음악과학의 연구 방법은 훨씬 그 이전으로 거슬러 올라가 이미 중세 때부터 오페라 가수들의 발성법을 연구하는 것을 시작으로 근대 과학의 발달과 함께 꾸준히 연구발전 하여왔다. Berard(1775)는 전문 성악가의 발성법 및 발성 기관의 작용에 에 관한 규명을 하였고, 19세기 초 Garcia(1847)의 후두경을 발명하여 전문 성악인의 목소리를 실질적·과학적으로 규명하였으며, Bouhuys(1970)와 Hixon(1980)등 은 발성 기관의 생리학적인 연구 업적을 남겼다. 음향학의 발달은 Mancini(1774)의 모음 추적 연구를 시작으로 Bartholomew(1935)의 가창시 목소리의 음향학적인 연구는 현대에 이르기까지 많은 학자들이 연구 대상으로 삼고있으며¹⁷⁻¹⁸⁾ Backus의 음악 음향학적인 연구는 음악 현상을 물리학적으로 이해하는데 많은 도움을 주고 있다¹⁹⁾. 그러나 현실적으로 음악 과학이 성악 교육자들에게 중요한 학문 분야로 관심을 갖게 된 것은 극히 최근의 일로 성악 교육자 및 음성 병리학자들은 작곡한 곡들을 연주가가 연주하여 청중의 귀에 전달하는 과정을 음향 신호 체계로 보고 생리학, 음향학 및 심리학이론을 도입하여 연구하고 있다.

성악 교육의 관점에서 음악 과학은 이러한 시대적인 학문의 흐름에 따라서 음악 대학 및 전문 음악원에서 음악전공 학생들이 필요로 하는 음성 생리학, 음향학,

심리학, 음성언어의학 등 성악 전공 학생들에게 폭 넓은 전문 지식과 개개인의 잠재력을 키울 수 있는 이론 및 실험 방법 등을 제시하고 있다. 특히, 발성 및 수련 과정에서 발생하는 성악 전공인의 한계 및 가능성을 보완하고 계발하는 객관적이고 표준적인 평가 방법의 개발은 성악 전공인들은 물론 성악 교육자들에게도 상호 학술 및 정보교환의 수단이 될 수 있다²⁰⁾. 그렇지만 복합적인 성악의 문제점들을 간소화하여 평가하는 방법은 쉬운 일이 아니다. 따라서 본 연구는 세계적으로 공인되고있고 국내에 이미 설치되어있는 연구 장비들을 사용하여 국제적으로 이미 검증된 전문 성악인의 평가 결과를 중심으로 국내 성악 전공인 및 성악 전공 학생들에게 적용한 결과 국제간 학술 및 정보 교환에 활용될 수 있는 표준 평가 프로그램을 제시하고자 하였다.

4.1 발성 지속시간 평가

발성 지속시간은 발성의 능력을 간편하게 정량적으로 평가하는 방법이다. 발성 지속시간의 평가는 성악 전공자들에게 최대로 호흡하도록 지시한 다음 일정한 음높이 및 세기로 가능한 길게 단순 모음 /e-/를 지속적으로 발성케 하여 그 지속시간을 측정하였다. 이 방법은 음성 검사를 본격적으로 시작하기에 앞서 예비 준비를 시키는 목적 이외에 특별한 기구를 사용하지 않고 초시계만으로 호흡, 후두 조절을 포함한 발성 최대 능력을 평가하는 방법으로 성문에 있어서 호기가 어느 정도 효율적으로 음성의 음원으로 변환되는가 정량적으로 추정하는데 사용되는 파라미터이다.

파트별 발성 최대 시간은 여성 파트의 경우 소프라노가 17'17(SD=3'98)로 메조 소프라노 14'01(SD=1'79)보다 길게 나타났고, 남성 파트의 경우 바리톤이 21'86(SD= 6'20)이 테너 14'51(SD=2'06)보다 길게 나타났다. 이러한 결과는 발성 지속 최대 시간 14초 이상을 기각한게 기준으로 할 때²¹⁾ 피실험인 성악가 모두 길게 나타났다.

4.2 음역 및 성문 형태의 평가

음역은 전문 성악가 및 성악 교육자들의 경험에 의한 주관적인 평가로써 30여년간 논쟁을 계속해 오는 동안 현재로써는 잘 정립되어있지만²²⁻²³⁾ 일부 과학자들 사이에서는 음역을 거부하는 경우도 있다²⁴⁾. 전통적으로 음역은 성악 전공가의 주관적인 청각 판정에 기초로 크게 흉성부(chest register) 및 두성부(head register)로 분류하는 경우도 있고 흉성부(voix de poitrine), 가성부(voix de fausset) 및 혼성부(voix mixte)로 분류하고 악음의 정도에 따라 strohbass 및 sifflet로 다시 세분하는 경우도 있다(표 8). 그러나 음역은 후두에서 발생하는 것이지 폐 또는 두개골에서 발생하는 것이 아니기 때문에 음역에 관한 생리학 및 음향학적인 특성은 기저 주파수 및 음향 에너지 등으로 규명되어야 한다. 가장 대표적인 연구는 Hirano의 연

구로⁷⁾ 흉성부 소리는 성대 인대의 긴장이 적고 성대 근육은 저음에서 고음으로 올라 갈수록 긴장이 늘어나고 이 음역 내에서 聲量의 증가는 성대 근육이 긴장하고 후두 공기가 유출되며 윤상 갑상근의 작용이 크다고 하였다. 따라서 고성으로 올라 갈수록 배음이 풍부하게 나타난다. 가성부 소리는 윤상 갑상근의 작용으로 성대 인대의 긴장이 세고 성대 길이가 최대로 길어지나 성대 근육은 이완된다. 이 음역 내에서 성대 인두의 긴장은 증가하고 윤상 갑상근이 압축되며 후두 공기는 거의 새어나가지 않는다. 따라서 고성부에 배음이 빈약하게 나타난다. 혼성부는 고성으로 올라갈 때는 흉성부의 특성을 나타내고 저성부로 내려갈 때는 가성부의 특성을 나타낸다. 성대 근육 및 인대의 수직 긴장은 균형이 잡혀 조화를 보이고 있다. Strobbass는 피열연골 뒤 부위가 완전히 접촉되어 있으나 성대 돌기는 접촉되지 않아서 저음조성음을 나타낸다. 진동 진폭은 성문 폐쇄 시간이 짧아서 성문 하압이 낮다. 이와는 반대로 Sifflet는 성대 진동이 없고 성대 돌기는 접촉되어 있으나 내 갑상피열골의 뒤쪽에 공기가 새어나가서 실현되는 음이다. 성별 음역의 분류는 남성의 경우 흉성부 소리의 특징은 배음이 풍부하고 음계가 올라 갈수록 강도도 증가하며 흉부 및 두성부 소리로 C2-E4-F4까지의 음역을 말한다. 가성부 소리는 상대적으로 배음이 빈약하고 강도도 약하며 흉부 소리만 나고 두성부 소리는 나지 않는 F3-C6까지의 음역을 말한다. 혼성부 소리의 특징은 흉성부와 가성부의 중간적인 특징으로 화려하며, 부드럽고 둥그러운 음색을 보인다. 이때 후두 긴장은 비교적 작고 부드러우며 대부분 두성부 소리를 나타내지만 단계적으로 흉부음도 포함하고있는 C3-C5까지의 음역을 말한다. 여성의 경우 흉성부 소리는 C3, A3 또는 G3에서 F4-A4를 초과하지 않으면서 최대 C5까지 가능한 음역을 말한다. 가성부 소리는 여성 성악가에게서는 특징적으로 두성부 소리를 보이며 F6까지의 음역을 말한다.

전통적인 의미에서의 음역 설정과 다르게 Hollien은 음역을 후두 음역(laryngeal register)이라 명칭하고 “음역이란 전적으로 후두에서 발생하는 현상으로 연속적인 음성 주파수의 영역이 거의 동일한 음질로 생산되면서 기저주파수는 중복하지 않고 기능적으로 청각적, 음향학적, 생리학적 및 공기역학적으로 증명된다” 하고 후두 음역을 음성 주파수에 따라 다음과 같이 분류하였다. 1. Modal register(남: 75~459 Hz; 여: 130~520 Hz) 2. Pulse register(남: 25~80 Hz; 여: 20~45 Hz) 3. Loft register(남: 275~620 Hz; 여: 490~1,130 Hz)⁷⁾ 표 8은 전통적인 음역 분류와 후두 음역을 분류한 것이다.

표 8. 전통 음역의 분류(Cornut) 및 후두 음역의 분류(Hollien)

전통적인	홍성부		두성부		혼성부	
음역 분류	남성 소리	여성 소리	남성 소리	여성소리	남성소리	여성소리
	65-349	248-440	175-2,046	349-1,397	131-523	220-1,046
후두 음역	Pulse		Loft		Modal	
분류	25-80	20-45	275-620	490-1,130	75-450	130-520

본 연구에서 비지피치를 사용한 전문 성악가의 음역을 분석한 결과 여성 성악가의 음역은 소프라노의 경우 음역 범위는 245 Hz~988 Hz이었고 메조 소프라노의 경우 음역 범위는 196 Hz~784 Hz로 혼성부와 Modal register에 속해 있었다. 남성 성악가의 경우 테너의 음역 범위는 123 Hz~494 Hz로 혼성부와 Modal register에 근접하였고 바리톤의 음역 범위는 98 Hz~392 Hz와 베이스의 음역 범위 82 Hz~330 Hz는 홍성부와 Pulse register에 가까웠다.

파트별 음역의 변화에 따라 성대의 모양의 변화는 기준음(남: C2, 여: C3)을 시작점으로 최고음 발생시와 최저음 발생시 성대 상하 및 좌우 임의 길이를 측정하여 비교하였다. 그림 6은 파트별 음역 변화에 따른 성대 상하 및 좌우 길이의 변화를 나타낸 것이다. 모든 파트에서 성대의 수직 길이는 고성에서 저성으로 내려 갈수록 줄어들었으나 성대의 수평 길이는 고성에서 저성으로 내려 갈수록 늘어났다.

4.3 비브라토 평가

천부적으로 아름다운 노래 소리에서는 일반적으로 비브라토 현상이 나타난다. Seashore(1936)는 비브라토를 “일반적으로 고음부에서 강도 및 음색을 동시에 동반하여 진동하므로서 쾌적하고 부드러우며 화려하면서도 유연한 소리”라 정의하였다²⁾. 청각적인 관점에서 비브라토는 1초당 5-7번의 규칙적인 리듬과 진폭이 반음을 초과하지 않을 때 비록 비브라토의 진동은 듣지 못할지라도 음색이 풍부하고 표현이 강한 소리로 청취될 때의 현상이다. X-선 촬영을 통한 비브라토의 특징은 성대 뿐만이 아니라 후두, 혀, 목젖 및 하악과 경부근 등에서 미세한 진동이 발견되었으며 근전도(EMG) 상에서는 윤상 감상근이 활동적이며, 전문 성악인의 경우 생리 신호가 4~6 Hz 떨림이 비브라토의 현상이라 하고 있다²⁵⁻²⁶⁾.

비브라토의 평가는 일차적으로 지속 모음 /w-/ 발성을 중심으로 1초 동안 진동 리듬의 회수를 측정하였다. 그 결과 전체 파트 중에서 1초 동안 진동회수 5 이상인 비율은 약 64 %이었으며 고음역대에서 비교적 비브라토가 잘 나타났다²³⁾. 그러나 진동 리듬회수가 5~7회 이내이고 진동폭의 변화가 균일하게 나타난 경우는 전문 소프라노에서 2 경우와 바리톤에서 단 1 경우만이 발견되어 성악 완숙 정도에 따라 비브라토의 형성도 평가 기준에 근사하게 나타났다. 비브라토 형성 과정 중에 특기할 사항은 일부 성악 전공 학생 중에는 비브라토 평가 기준은 거의 완벽하나 후두 관리의 부주의로 vocal fry 현상이 나타나 음색이 변하는 경우도 발견되었다.

그림 7은 vocal fry를 시각화한 것이다. Vocal fry는 피치 곡선 상에서 피치가 두 갈래로 갈라지고 협음역대 스펙트로그램 상에서는 정상적인 배음들 사이에 비정상적인 배음이 나타나서 발생시 기식성음을 포함하는 경우이다. 이러한 경우는 비록 비브라토 평가 기준에 맞을지라도 음색이 변질되어 평가 기준에 제외시켰다. 이 밖에 강도 비브라토는 3 dB을 기준 강도로 정할 때 소프라노 한 경우에서만 이 표준 강도를 보였고 나머지는 모두 불규칙적으로 나타났다.

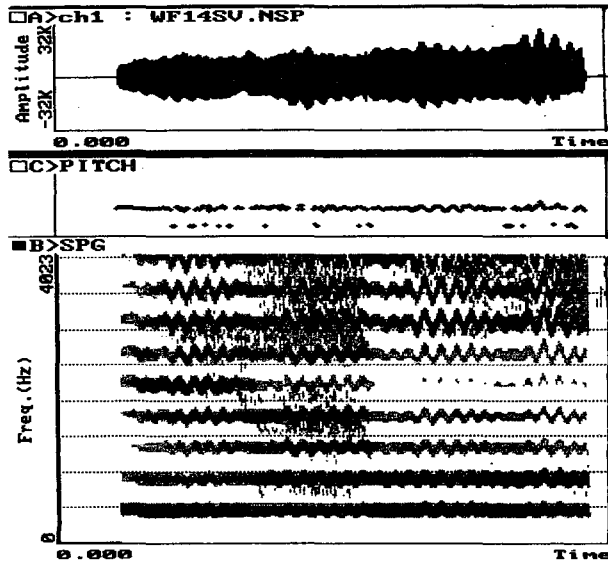


그림 7. Vocal Fry의 시각화

이상의 비브라토의 음향학적인 특징을 평가 기준으로 할 때 비브라토는 정상적인 성악 교육을 받지 않은 사람일지라도 약 20 % 정도는 자생적인 비브라토를 가지고 있다는 점을 고려한 경우를 제외하면 성악 전공 학생들의 경우에는 꾸준한 성악 연습을 계속하는 동안 점진적으로 나타나기 때문에 비브라토는 발생시 음질을 규명하는 중요한 평가 자료는 물론 성악 숙련 단계를 평가하는 중요한 파라미터로 나타났다.

4.4 음악 포먼트의 평가

전문 성악가들이 가창시 오케스트라와 협연할 때 청취되는 현상을 음악 과학적으로 설명한 이론이 음악 포먼트이다. 음악 포먼트를 최초로 명명한 사람은 Barthelomew로 그는 음악 포먼트와 상응하는 개념의 용어로 ring of voice라 부르고 남자는 2,800~2,900 Hz 사이에서 여자는 3,200 Hz에서 동일한 현상이 발견된다고 주장하였다. 이 음악 포먼트는 성악의 복잡한 문제들을 간소하게 평가할 수 있

는 음향 심리적인 현상으로 첫째, 오케스트라 음의 강도는 500 Hz에서 가장 높고 고주파수대로 올라 갈수록 음의 강도가 떨어지는 것과는 대조적으로 전문 성악가의 노래 소리는 고주파수대에서 음의 강도가 크다는 점. 둘째, 심리 음향학적으로 인간의 귀는 2,000~3,000 Hz대에서 청취가 예민하다는 점이 숙련된 성악가의 목소리가 오케스트라 음과 혼합되어 있을지라도 청중에게 잘 전달되는 현상으로 설명하고있다.²⁸⁻³⁰⁾ 음악 포먼트는 일반적으로 여성 파트 중 고음의 소프라노에서 특징적으로 나타나지만 파트별로 소프라노는 3,200 Hz, 메조 소프라노는 2,900 Hz, 테너는 2,800 Hz, 바리톤은 2,600 Hz, 베이스는 2,400 Hz에 나타난다고 한다³¹⁾ 그러나 일부 학자 중에는 파트별 주파수 영역에 관해서 일치하지 않는다는 주장³²⁾도 있으나 대부분의 학자들은 전문 성악가의 음악 포먼트는 정설로 받아들이고 있다.

음악 포먼트의 생리학 및 음향학적인 특성은 학자에 따라 그 설명이 모두 다르다. 그러나 대부분 후두 진동에 의해서 또는 특징적인 음성 공명기관의 작용에 의해서 발생한다는 점은 모두가 일치하고 있다. 그 가운데 가장 대표적인 학자는 Sunberg로 전문 성악가의 경우 후두의 위치는 낮아지고 인두 밑부분에 공명이 일어나면서 음악 포먼트가 발생한다는 사실을 MRI를 통해 구명하였다. 그림 8은 Power spectrum을 사용하여 소프라노 모음 /u/ 발화시 FFT 및 LPC 곡선과 발성시 FFT 및 LPC 곡선 상에 나타난 음악 포먼트를 비교한 것이다. 발성시 약 3,000 Hz대의 음성 강도가 발화시보다 높게 나타났다. 음악 포먼트의 실현은 그림 2의 후두 형태에서 전문 성악가의 경우 Venticular 부위 후두강이 보이거나 성악 전공 저학년 학생은 후두강이 두드러지게 나타나지 않는 점과도 비교할 수 있다. 파트별 음악 포먼트의 값은 소프라노 및 메조 소프라노의 경우 각각 3,207 Hz와 3,057 Hz로 테너 및 바리톤의 2,754 Hz와 2,560 Hz보다 높은 주파수 대에서 형성되었으나 음성 강도는 소프라노 및 메조 소프라노의 음성 강도는 각각 34 dB 35 dB로 테너 및 바리톤의 음성 강도 39 dB 및 40 dB보다 낮게 나타났다. 그리고 발화시 모음 포먼트의 강도와 발성시 음악 포먼트 강도와 의 차이는 메조소프라노의 경우 26 dB로 가장 현저한 차이를 보였다.

4.5 모음 포먼트의 평가

발성시 모음의 음색은 음성관 내 조음 기관의 변동으로 음성관의 길이 및 형태가 달라지면서 공명 형태도 달라지기 때문에 구별된다. 이러한 음성 공명을 음향학적으로는 포먼트로 시각화하여 모음의 음색을 결정하는 중요한 파라미터로 사용하고 있다. 일반적으로 전체의 모음 포먼트가 낮아지는 것은 순음화 및 후두의 위치가 낮아져 음성관의 길이가 증가하기 때문이다. 그러나 개별 포먼트(F_1 , F_2 , F_3)으로 음성 기관의 작용과 연관한 포먼트의 변화는 F_1 은 개구도의 개방 정도가 클수록 F_1 은 증가하고 F_2 는 혀의 위치가 전설 상방향으로 이동할수록 F_2 는 증가한다. 또한 F_3 은 개별적인 음의 특성을 나타내지만 혀끝과 치조 아래 부분에 조그마한 음성

관이 형성될 때 변화가 나타난다. 그러나 모음의 음색은 대부분 F_1 및 F_2 값으로 평가하며 여성의 목소리보다 남성의 목소리에서 포먼트 값이 더 분명하게 나타난다.

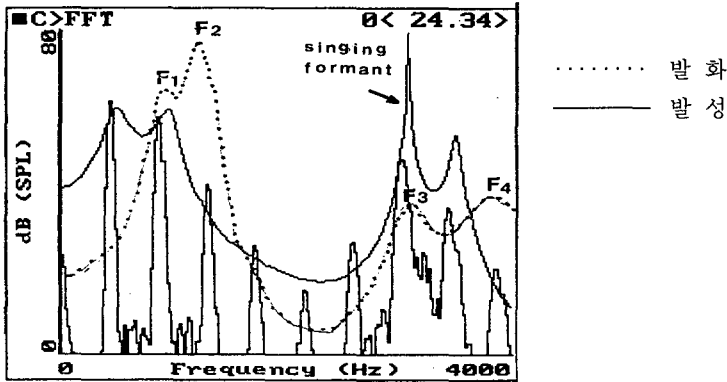


그림 8. Power Spectrum상에서의 음악 포먼트

그림 9는 남성 성악가의 단순 모음 전체 발화 및 발성시 포먼트의 평균값을 비교한 것이다. 발성시 F_1 주파수 값은 발화시 F_1 주파수 값보다 증가하여 발성시 개구도가 더 커져있는 것을 평가할 수 있었다. 또한 발성시 F_2 주파수 값은 발화시 F_2 주파수 값보다 감소하여 발성시 혀의 위치가 후방으로 이동하였음을 평가할 수 있었다. 특히 전설 모음 /i/ 및 /e/에서는 남·녀 성악가 모두 발성시 F_3 값이 발화시보다 낮아 F_3 의 혀끝과 치조 아래 부위의 음성 공명 현상에 관한 구멍이 요구된다.

음향학적인 관점에서 성악 전공인들의 어법(diction)에 관한 올바른 훈련 방법은 거의 전무한 상태이다. 또한 모음 발성시 대부분은 안정한 모음을 구사하지 못해서 모음 포먼트가 불규칙적으로 형성되어 발음의 명료도가 떨어지는 경우가 있다. 그러나 발성시 F_1 및 F_2 의 모음도를 시각화하는 프로그램의 개발로 독일어, 이태리어 및 프랑스어 등의 외국어의 올바른 어법 훈련이 가능해졌다. 그림 10은 Sona Match 프로그램을 사용하여 발성 및 발화시 모음도를 비교한 것이다. + 부호 옆 회색의 큰 음성 기호는 발화시 목표음 모음도를 나타낸 것이고 검정색 작은 점들의 군 옆의 작은 음성 기호는 발성시 모음도를 나타낸 것이다. 화살표의 표시 방향은 목표음 쪽으로 조음을 이동해야 음의 명료도가 정확해지는 방향을 나타낸 것이다. 본 연구 결과에서 발화시 전체 모음은 정확한 모음도를 형성하였으나 발성시에는 모음도의 형성이 불분명하게 나타났으며, 개별음 분석에서 모음 /ε/, /α/, /a/, /ɔ/에서 개구도가 발화시보다 발성시 특히 크게 나타났으며, 모음 /a/, /u/에서는 발화시보다 발성시 조음 장소가 후설 쪽으로 이동해 있었다. Sona Match 프로그램은 발화 및 발성시에 발견되는 모음 음색의 문제점들을 시각적으로 나타내어 각 외국

어의 조음운동 평가시 목표 모음의 F_1 및 F_2 의 표준값 설정으로 성악 전공 학생들의 정확한 어법 훈련 및 평가에 활용할 수 있다.

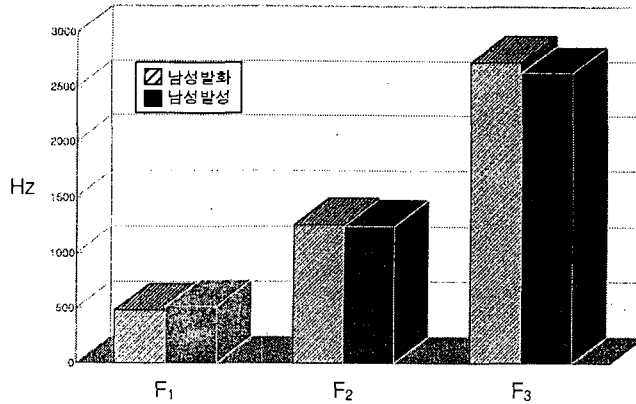


그림 9. 남성 성악가의 단순 모음 전체 발화시 및 발성시 포먼트의 평균 값

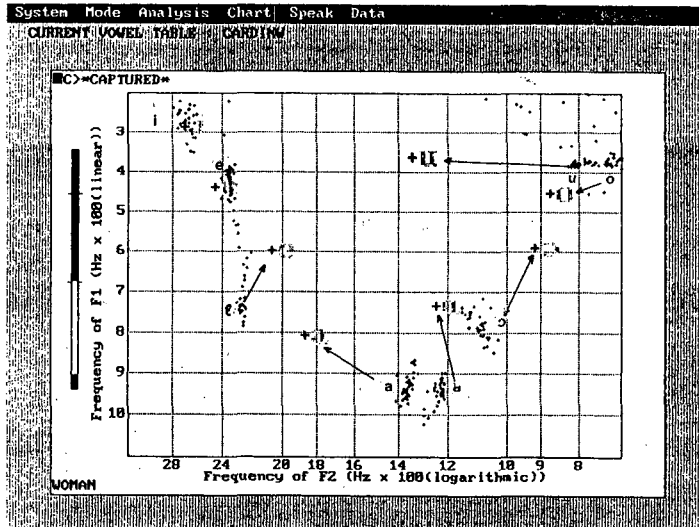


그림 10. Sona Match 프로그램을 사용하여 발성 및 발화시 모음도의 비교

5. 결론

성악 전공인들은 천부적인 재능과 높은 수준의 교육 그리고 올바른 발성법을 통해서만이 성공할 수 있다. 이러한 관점에서 성악 교육자들은 깊은 성찰과 폭넓은 지식을 연마하여 끊임없이 자신의 능력을 개발하고 성악 훈련 프로그램을 개발하여 시대성에 맞는 양질의 교육을 수행해야 한다. 본 연구에서는 성악 교육자의 편

에서는 객관적인 평가 프로그램을 개발하고 성악 학습자의 편에서는 숙련 정도를 확인하는 자료로 활용하고자 최첨단 의학 장비 및 음성 분석 장비를 사용하여 성악 전공인들의 음성적인 특성을 분석한 결과 다음과 같은 평가 자료를 얻었다.

1. 전문 성악인은 최대 발성시간의 평가는 일 회 깊게 호흡한 후 최하 14초 이상을 경과해야 한다.
2. 비지 피치를 사용한 후두 음역의 평가는 소프라노는 평균 167 Hz~1,190 Hz, 메조 소프라노는 146 Hz~956 Hz, 테너는 75 Hz~503 Hz, 바리톤은 73 Hz~385 Hz를 평가 기준으로 파트를 정할 수 있다.
3. 발성시 성대의 모양은 전체 파트에서 고피치에서 저피치로 내려올수록 성대 수직 길이는 감소하나 성대 수평 길이는 증가하는 추세로 평가되었다.
4. 비브라토는 1초간 진동회수 5~7회, 진동 주파수는 5~6 Hz 그리고 진동 강도는 3 dB를 평가 기준으로 성악 숙련 정도를 평가할 수 있다.
5. 음악 포먼트는 전문 성악인의 파트 별 음악적인 특성을 간소하게 평가하는 중요 항목으로 소프라노는 3,207 Hz, 메조 소프라노는 3,057 Hz, 테너는 2,754 Hz, 바리톤은 2,569 Hz로 평가되었다.
6. 어법의 평가는 F₁, F₂를 중심으로 전설모음 /i/와 /e/에서 발성 빛 발화시 포먼트의 변화가 특징적으로 평가되었으며, 전체적으로 발성시에서 발화시보다 개구도는 크고 조음 장소는 후방으로 이동하며 F₃의 변화는 치조 부위에 공명관이 형성되어 있는 것으로 평가되었다.

참 고 문 헌

1. 전원배 역. 1969. *미학*. 을유문화사.
2. Cornut, G. 1983. *La Voix, Que sais-je?*. Press Univ. de France, Paris.
3. 박관우·안정모 역. 1991. *음악을 위한 음향학*. 삼호출판사.
4. 고도홍·구회산·김기호·양병곤 역. 1993. *음성언어의 이해*. 한신문화사.
5. Liberman, P. Blumstein, S. E. 1988. *Speech Physiology, Speech Perception and Acoustic Phonetics*. Cambridge Univ. Press, NewYork.
6. Hollien, H. 1974. "On vocal registers." *Journal of Phonetics* 2, 125-143.
7. Sunberg, J. 1991. *The Science of Musical Sounds*. Academic Press, Inc., San Diego.
8. 中山一郎. 1992. 傳統藝能における 歌唱表現法の音響的 特徴-洋樂的 歌唱との比較, -'日本語音聲' 國際 シソホ シ"ム, 89-96.
9. Hirano, M. 1989. *Clinical examination of voice*. New ork: Springer-Verlag.
10. Hollien, H. 1993. "The Golden Voice-Talent or Training?." *Journal of Voice* 7. No. 3. 195-205.

11. Richard, M. 1991, "The Singing Teacher in the Age of Voice Science." in *Professional Voice: The Science and Art of Clinical Care*, Robert T. Sataloff, Raven Press, Ltd, NewYork, 375-380.
12. 김경업. 1991. *성악 기법 원리*. 청우출판사.
13. 대학음악저작연구회. 1989. *성악 예술*. 삼호출판사
14. 대학음악저작연구회. 1989. *벨칸토 발성법*. 삼호출판사.
15. Barthélémy. 1984. *La voix libérée*. Robert Laffont, Paris.
16. Helmholtz, H. V. 1862. "The Science of Tone perception as a physiological basis for Music theory." in *The Science of Musical sounds*. Sundberg, 1991.
17. Leipp, E. 1980. *Acoustique et Musique*. Masson, Paris.
18. Kent, R. D. 1993, "Vocal Tract Acoustics." *Journal of Voice* 7, 97-117.
19. Backus, J. 1969. *The acoustical Foundation of Music*. W. W. Norton & Company, INC.
20. Linda, M., C., Sataloff, R. T. 1991. "The Singing voice." in *Professional Voice: The Science and Art of Clinical Care*. Robert T. Sataloff, Raven Press, Ltd, NewYork, 381-401.
21. 안희영 역. 1992. *음성 검사법 -일본음성언어의학회 편 -, 진수출판사.*
22. Large J. 1973. *Vocal registers in singing*. The Hague: Mouton.
23. Titze, L. 1988. "A framework for the study of vocal register." *Journal of voice* 2, 183-194.
24. Winckel, F. 1971. "How to measure the effectiveness of stage singer's Voice." *Folia Phonetica* 23, 228-233.
25. Hsiao, T. Y., Solomon, N. P., Luschei, E. S., Titze, I. R. 1994. "Modulation of Fundamental Frequency by Laryngeal Muscles during Vibrato." *Journal of Voice* 8, No 3, 224-229.
26. Titze, I. R., Solomon, N. P. Luschei, E. S., Hirano, M. 1994. "Interference between Normal Vibrato and Artificial Stimulation of Laryngeal Muscles at Near-Vibrato Rates." *Journal of Voice* 8, No 3, 215-223.
27. Raming, L., Shipp, T. 1987. "Comparative measure of vocal tremor and vocal vibrato." *Journal of voice* 1, 162-167.
28. Sundberg, J. 1970. "Formant Structure and articulation of Spoken and Sung Vowels." *Folia Phoniatica* 22, 24-28.
29. Sundberg, J. 1973. "The Source Spectrum in Professional Singing." *Folia Phoniatica* 25, 71-90.
30. Sundberg, J. 1991. *The Science of Musical Sounds*. Academic Press, San Diego.
31. Vennard, W. 1967. *Singing : The Mechanism and the technic*. NewYork : Carl Fischer, INC.
32. Sataloff, R. T. 1992. "The Human Voice." *Scientific American*, 64-71.
33. Hollien, H. 1983. "The Puzzle of the singer's formant." in Bless D., Abbs J. (eds.), *Vocal fold Physiology*, San Diego : College Hill Press, 158-169.

접수일자 : '98. 9. 1.

계재결정 : '98. 11. 5.

▲ 김선숙

대전광역시 유성구 궁동 220(우 : 305-764)

충남대학교 음악대학 성악과

Tel: (042) 821-6927 (O)

▲ 김현기

전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

전북대학교 불어불문학과 (우 : 560-190)

Tel : (0652) 270-3196 (O), 270-3671 (Phonetics Lab.)

(0652) 77-5457 (H)

Fax : (0652) 270-3296, H/P : 011-241-5457

▲ 홍기환

전북 전주시 덕진구 금암동 산 2-20

전북대학교 의과대학 이비인후과교실(우 : 560-182)

Tel : (0652) 250-1980/1985, Fax : (0652) 77-5546

부표 1. 다섯 색약가의 네 무늬상판 색판상시 F₁, F₂, F₃ 값

색상표본	F ₁			F ₂			F ₃															
		/	/		/	/		/	/													
무늬상판	WSM1	328	1963	2891	420	1559	2513	403	788	2636	407	770	2660	595	980	2687	649	1027	2697	471	1082	2430
	WSM2	433	1865	2403	636	1467	2311	458	862	2533	479	855	2605	675	1045	2764	649	1027	2697	471	1082	2430
	WSM3	394	1783	2786	585	1321	2509	407	789	2573	475	942	2404	623	1130	2595	560	904	2535	407	1133	2611
	WSM4	343	1745	2509	458	1439	2318	343	789	2216	445	777	2292	535	1006	2318	484	955	2203	445	1006	2216
	WSM5	407	1981	2369	587	1577	2183	585	990	2165	587	980	2165	623	1174	2356	■	■	■	■	■	■
	WSM6	394	1963	2738	573	1681	2254	407	777	2495	579	764	2662	764	1146	2649	■	■	■	■	■	■
	WSM7	407	1770	2356	585	1388	2165	407	968	2331	420	788	2348	598	993	2330	573	955	2267	407	1174	2330
	WSM8	433	1987	2853	458	1559	2660	433	675	2433	445	862	2611	636	1057	2726	471	878	2611	445	890	2433
	WSM9	458	2238	2858	675	1559	2458	458	891	2623	649	878	2687	881	1108	2642	678	1078	2649	675	1363	2700
	WSM10	440	1724	2687	675	1579	2458	445	866	2343	649	891	2624	662	1108	2573	649	1082	2687	471	1121	2203
	WSM11	422	1746	2379	547	1559	2220	483	1082	2419	535	1002	2437	660	1123	2592	622	1082	2568	501	1100	2523
	WSM12	422	1926	2568	582	1486	2330	564	862	2605	547	844	2636	660	1082	2773	616	924	2739	564	924	2653
평균		407	1890	2616	565	1514	2364	449	861	2447	526	862	2510	641	1079	2583	589	987	2539	487	1087	2455
편차		38.3	150	210	82.6	98.1	154	68.7	111	158	85.4	81	174	57.2	63.2	164	73.3	81.2	195	85.4	143	182
무늬상판	WSM1	273	2036	2825	477	1577	2495	311	788	2477	414	708	2605	642	1082	2788	570	935	2738	330	1376	2385
	WSM2	275	2018	2697	496	1743	2403	359	890	2422	422	708	2293	678	1174	2495	532	954	2482	422	1174	2485
	WSM3	275	2146	2917	509	1821	2440	292	815	2280	422	708	2293	678	1192	2642	550	990	2642	380	1192	2333
	WSM4	242	2220	2917	369	1963	2547	343	825	2311	356	715	2477	713	1070	2560	687	936	2678	356	1284	2328
	WSM5	229	2000	2980	458	1706	2623	366	788	2550	433	678	2532	660	1082	2678	471	899	2678	380	1009	2568
	WSM6	256	1944	2660	495	1579	2420	366	733	2275	382	738	2433	715	1064	2458	■	■	■	■	■	■
	WSM7	238	2036	2990	477	1669	2605	385	862	2458	477	715	2623	715	1045	2660	■	■	■	■	■	■
	WSM8	280	2036	2733	532	1743	2550	394	807	2293	420	687	2440	788	1174	2477	■	■	■	■	■	■
	WSM9	385	1987	2752	495	1724	2330	496	862	2330	509	752	2330	623	1082	2275	■	■	■	■	■	■
	WSM10	238	1872	2945	547	1703	2338	343	700	2277	420	636	2611	652	1066	2563	522	815	2636	356	1146	2191
	WSM11	270	2038	2898	493	1624	2636	369	748	2452	398	652	2436	748	1114	2722	598	840	2700	394	1414	2433
	WSM12	238	2018	2704	532	1596	2440	308	788	2385	420	752	2623	733	1045	2697	564	935	2642	393	1264	2385
평균		266	2029	2826	490	1704	2485	361	800	2395	420	716	2482	695	1099	2594	562	913	2650	376	1233	2390
편차		41.5	88	112	46	111	107	52.9	55.8	100	43.1	56.7	116	48.3	52.2	142	63.1	58.8	75.9	28.5	131	114

부록 2. 여성 성악가의 모음발성 및 발성시 F₁, F₂, F₃ 값

음성표본	//			/e/			/u/			/o/			/a/			/ɔ/			/ɪ/		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
여성	403	2385	2788	427	1963	2366	403	807	2788	422	788	2788	788	1192	3174	479	807	3174	403	1596	2366
WSF1	403	2385	2788	427	1963	2366	403	807	2788	422	788	2788	788	1192	3174	479	807	3174	403	1596	2366
WSF2	407	2353	2743	462	2139	2770	422	807	2533	427	788	2807	788	1174	3137	788	1209	2858	407	2743	2610
WSF3	403	2385	3192	462	2139	2770	422	807	2533	427	788	2807	788	1174	3137	788	1209	2858	407	2743	2610
WSF4	403	2366	3098	422	2345	2858	410	855	2825	422	807	2825	807	1229	3211	802	1192	3174	422	2036	2862
WSF5	403	2642	3019	422	2348	2733	403	838	2858	407	788	3119	770	1155	3082	752	1137	3412	570	1192	3088
WSF6	403	2000	2789	789	1961	2751	422	1222	2853	445	815	2525	788	1174	3019	770	1155	3057	422	1614	2825
WSF7	458	2280	3171	481	1811	2729	471	917	3165	471	894	3119	458	917	3165	471	904	3171	458	1330	3073
WSF8	458	2224	3096	862	1770	3070	446	904	3121	476	904	3184	878	1350	3095	866	3095	3528	445	1363	3133
WSF9	458	2216	2649	458	2178	2624	445	1312	2624	458	891	3082	891	1324	3082	458	891	3057	445	1770	2624
WSF10	429	2213	3089	489	2216	3082	445	1353	3136	461	907	3121	891	1337	3082	458	891	3082	458	1363	3159
WSF11	458	2254	2713	458	2216	2636	445	1353	2887	458	891	2862	445	866	1732	84	904	2187	458	1363	2713
WSF12	403	2385	2788	802	2012	2840	422	815	2789	420	815	2789	788	1194	2733	784	1159	3082	422	1197	2770
WSF13	407	2356	2751	420	1981	2770	407	815	2895	407	804	2862	788	1174	3155	■	■	■	■	■	■
WSF14	432	2576	3424	448	2112	2960	432	1680	2976	448	864	3040	848	1264	2928	848	1712	2976	448	1680	2944
WSF15	384	2336	2720	400	1904	2686	400	1184	2352	400	800	2736	553	1168	3088	496	1168	2704	400	1568	2352
WSF16	416	2432	2832	416	2000	2800	416	832	3264	432	832	3312	816	1216	3232	784	1184	3136	416	1616	2816
평균	420	2336	2829	533	2081	2774	425	1030	2848	436	835	2919	757	1183	3004	683	1238	3097	440	1576	2888
편차	25	149	226	166	184	174	20.6	279	245	23.8	47.7	222	142	130	360	163	558	372	42.1	401	377
여성	385	2458	3350	407	2238	2954	382	777	2678	394	752	2810	733	1284	3119	■	■	■	■	■	■
WSF1	385	2458	3350	407	2238	2954	382	777	2678	394	752	2810	733	1284	3119	■	■	■	■	■	■
WSF2	323	2623	3431	433	2348	2954	394	788	2568	420	783	2667	972	1339	2880	624	972	2880	445	1577	2644
WSF3	254	2878	3328	636	2356	2980	420	1098	2850	458	853	2929	1003	1401	3057	636	1006	2993	433	1286	2968
WSF4	267	2866	3328	509	2509	3019	270	751	2929	471	726	3146	1121	1566	2891	675	904	3108	458	1324	3082
WSF5	394	2700	3312	611	2522	2929	420	834	2627	445	780	2793	1006	1222	2802	624	953	2942	433	1452	2828
WSF6	289	2751	3503	509	2331	2866	306	766	2657	496	764	2789	1019	1273	3041	789	1031	3286	445	1541	2636
WSF7	382	2624	3503	585	2336	2980	445	664	2784	458	630	2944	816	1216	3008	649	1040	3088	433	1426	2496
WSF8	256	2733	3666	585	2178	2789	382	764	2687	407	649	2759	891	1261	2997	770	954	2980	376	1299	2777
WSF9	276	2781	3639	311	2661	3133	293	827	2872	406	812	2857	1009	1596	3076	788	1123	3145	403	1376	2770
WSF10	293	2770	3871	550	2010	3247	432	1037	2973	466	844	3064	1119	1669	3064	568	825	3247	501	1688	2807
WSF11	247	2814	3282	460	2477	2920	345	812	2558	414	760	2507	938	1433	3079	477	955	2371	513	2194	2424
WSF12	283	2778	3529	495	2430	2814	477	752	2752	477	725	2407	938	1433	3079	477	955	2371	513	2194	2424
WSF13	280	2550	3559	535	2320	2844	323	752	2752	509	■	■	972	1449	2880	599	954	2844	445	1412	2568
WSF14	256	2832	3344	496	2448	2944	288	784	2880	480	720	3136	1120	1568	3136	880	1120	3136	464	1840	2976
WSF15	242	2784	3568	592	2560	3152	416	832	2832	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
WSF16	295	2730	3465	458	2608	3008	433	832	2688	445	800	2624	928	1488	2608	636	960	2880	433	1376	2944
평균	295	2730	3465	514	2422	2959	373	843	2737	450	757	2821	967	1408	2974	668	988	2982	444	1519	2755
편차	51.1	120	171	84.9	140	140	64.2	123	153	35.1	64.5	214	111	146	141	105	79.5	226	34.6	245	195