

소프라노의 성악 발성에 대한 음향학적 특징 연구

A Study on Acoustical Properties of Soprano's Singing

임 동 철*, 문 소 연*, 이 행 세*

(Dong Chul Lim*, So Youn Moon*, Haing Sei Lee*)

요 약

본 논문에서는 소프라노가 성악 발성으로 한국어 단모음을 발음할 때, 그 단모음들의 포르مان트가 F0(Fundamental Frequency)에 따라 어떻게 바뀌어 지는 지 연구되었다. 일반적으로 다른 파트의 경우와는 달리, 소프라노가 노래를 할 때에는 포르مان트가 그 F0의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다. 따라서, 성악발성에 대한 연구를 위해서는 소프라노가 발성할 수 있는 전 음역 대의 F0에서 각 모음에 대한 포르مان트 분석이 필요하다. 이러한 분석 결과를 바탕으로 성악 발성의 특징들을 패턴화 하여 성악발성 평가 시스템이나 성악발성 합성 시스템을 구축할 수 있다. 5명의 전문 소프라노를 대상으로 '아, 에, 이, 오, 우' 5모음의 성악발성을 A3(220.0Hz)에서부터 A5(880.0Hz)까지의 피치에서 포르مان트 분석을 하였다. 또한, 일반적인 대화 시 이 5가지 모음의 포르مان트를 분석하여 성악발성의 경우와 비교하였다. 연구 결과, '아, 에, 이'의 F2/F1의 그래프가, B4(493.8Hz)이상의 F0에서는 거의 직선으로 나타났다. B4는 Changing Voice가 시작되는 곳으로, 성악가의 음색 변화가 포르مان트 형태의 변화와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 또한, A5에서는 '아, 에, 이, 오, 우'의 F1, F2의 수치가 거의 일치하는 것으로 나타났다. 즉, 최고음부에서 들려지는 모음들은 서로 구별되기가 어렵게 되는 것이다. 본 논문은 성악발성 평가 시스템이나 성악발성 합성 시스템을 구축할 때에, '아, 오, 우'의 경우에는 B4에서 A5의 F1, F2를 F0대한 기울기로 규정화 할 것을 제안한다. 이와 같은 규정화를 통하여 성악발성과 관련된 시스템 구축에 필요한 노력과 비용을 줄일 수 있을 것이다.

핵심용어: 포르مان트 분석, 성악발성, 성구전환

투고분야: 음악음향 및 음향심리 분야(8.1)

ABSTRACT

This paper studies the relation between the Fundamental Frequency (F0) and the formants of simple vowels in the Korean language sung by sopranos. It is known that, in soprano singing, the F0 of a vowel affects its formants. For this reason, the formants of simple vowels sung by sopranos must be considered in all over the soprano singing range. We recorded the five simple vowel sounds /a/, /e/, /i/, /o/, and /u/ sung by five professional sopranos from A3 (220.0Hz) to A5 (880.0Hz) in the major scale and compared the formants of the sung vowels with those of spoken vowels. We observed that F1 and F2 of sung vowels were stable in low F0 (lower than B4) but in high F0 (higher than B4), F1 and F2 lost their stabilities. In the case of /a/, /o/, and /u/, the slope of the F1-F2 graph was about 2.6, and those of the F0-F2 and F0-F1 graphs were 2.2-2.5 and 0.7-1.0, respectively. And as the F0 increases, the F1 and F2 of sung vowels /a/, /e/, /i/, /o/, and /u/ were almost the same. At A5, the F1 and F2 of five sung vowels had the same values. This results suggest that the relation between the F0 and the formants be used to synthesize soprano's singing vowels.

Key words: Formant analysis, Soprano singing, Changing voice.

1. 서 론

1.1. 연구 목적

일반적으로 다른 파트의 경우와는 달리, 소프라노가

노래를 할 때에는 그 모음의 포르مان트가 그 F0의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다. 따라서, 성악발성에 대한 연구를 위해서는 소프라노가 발성할 수 있는 전 음역 대에서 각 모음에 대한 포르مان트 분석이 필요하다. 본 논문은 소프라노의 F0와 F1, F2와의 관계를 밝히고 그 관계를 어떻게 규정 할 수 있는 지를 알아보려고 한다. 이렇게 규정 된 성악발성의 특징들을 사용하여 성악발성 평가

* 아주대학교 전자공학부

접수일자: 2000년 1월31일

시스템이나 성악발성 합성 시스템을 구축할 수 있다. 또한 한국인의 성악 발성 방법을 규정 하는데 필요한 기반을 마련할 수 있다.

1.2. 서양의 성악발성에 관한 연구

성악발성의 포르만트에 대한 연구는 이미 1900년대 중반이후부터 유럽을 중심으로 시작되었다. 1970년도부터 스웨덴의 KTH에서 음악음향 연구그룹(Music Acoustic Research Group)을 이끌어오면서 성악발성에 대하여 많은 연구를 해온 Sundberg(1972, 1977)는 전문 성악가들을 대상으로 실험하여 성악발성 포르만트(Singing formant)와 음성 포르만트(Speech formant)에 차이가 있다는 것을 발견하였다[1]. 또한, 솔리스트들이 합창단이나 오케스트라와 함께 공연을 할 때에 자신의 목소리가 청중에게 잘 전달되도록 사용하는 소위 '싱어스 포르만트(Singer's formant)'에 대한 개념을 발표하였다. Cleveland(1976)는 남성 성악가들을 대상으로 싱어스 포르만트를 분석하여, 피치의 주파수가 베이스에서 테너 음역으로 올라감에 따라 포르만트도 함께 움직인다는 것을 알아내었다. Rosy et al(1986,1987)은 솔리스트와 합창단원으로 활동한 경험이 있는 성악가들을 대상으로 실험을 하였다. 그는 이 실험을 통하여 합창(Choir mode)의 음향학적 특징들이 독창(Solo mode)에서와는 다르게, 음성의 특징에 가까워지는 것을 발견하였다. 또한, Sundberg(1989)는 8명의 비전문 베이스를 대상으로 성악발성의 포르만트에 대하여 연구하였다. 그는 이 연구에서 성악발성시 F1, F2, F3의 분포가 대화음성의 경우보다 더 안정적이라는 것을 발견하였다. 그리고 성악발성시의 F4가 대화음성에서의 F4보다 대체로 낮다는 것도 알아내었다[2].

그러나, 지금까지의 연구는 서양 모음을 기준으로 한 것이 대부분이어서 이 연구 결과를 바로 한국어 모음에 적용하기에는 무리가 있다. 따라서, 한국인 성악가가 성악발성으로 발음한 한국어 모음에 대한 연구 결과와 선행 연구 결과를 비교하는 것이 필요하다.

II. 한국어 단모음과 성악발성

2.1. 한국어 단모음의 종류

모음은 혀의 위치와 입술의 모양에 따라 분류한다. 혀의 위치를 전설, 중설, 후설로 구분할 때, 이는 조음과정에서 혀의 부위에 따라 모음을 구별한 것이다. 또 모음은 혀의 높낮이 즉 개구도의 정도에 따라 구별하고 조음시 입술 모양이 둥그런 모양이 되느냐 아니면 입술을 양옆으로 당기면서 조음하느냐에 따라 구별한다. 국어의 모음도 역시 혀의 위치, 고저, 입술모양에 따라 분류한다. 현대국어에서 단순 모음의 체계는 표1과 같다. 괄호 안의 기호는 한글 음성 기호에 해당하는 IPA(International Phonetic Association)기호이다[3].

표 1. 현대 국어의 모음 체계
Table 1. The Korean simple vowels.

고저 \ 위치	전설	후설	
	평순	평순	원순
고	ㅣ (i)	ㅡ (u)	ㅜ (u)
중	ㅓ (e)	ㅓ (ø)	ㅛ (o)
저	ㅑ (ε)	ㅑ (a)	

이들 모음에 대한 포르만트 수치들은 여러 연구 결과에서 제시되어 있다. 표2는 한국인 여성으로부터 조사된 기본적인 5가지 모음에 대한 포르만트 값의 평균이다[4].

표 2. 기본 모음에 대한 포르만트 측정값(한국인 여성)
Table 2. The average of formants by 16 Korean women.

	/a/	/e/	/i/	/o/	/u/
F1(Hz)	1,050	590	270	460	420
F2(Hz)	1,570	2,410	2,790	820	780
F3(Hz)	3,060	3,100	3,500	2,880	2,810

2.2. 성구와 성구전환

성악가의 목소리에서 일련의 같은 음색을 가진 음역을 하나의 성구라고 한다. 보통 소프라노의 음역에는 3개의 성구가 존재하는데 흉성, 중성, 두성구로 나눌 수 있다. 다른 두 성구가 교차되는 곳이 Changing Voice 이다. 이 음역에는 명백한 변화가 나타나는 4개 정도의 음이 있으며 이 음역에서 성악가들은 포르만트의 위치를 이동시키는 소위 '포르만트 튜닝'의 기술을 사용한다. 일반적으로 소프라노의 경우 첫 번째 Changing Voice는 E4(329.6Hz)에서부터 시작되고 두 번째 Changing Voice는 D5(557.3Hz)에서부터 시작된다[5].

2.3. 포르만트 튜닝과 명료도

소프라노 음역의 주파수는 250-1000Hz에 이른다. 따라서 피치(Fundamental frequency)가 대화에서 나타나는 F1의 주파수보다 높아지는 경우가 발생한다. 이런 경우, 음량에 손실이 발생하여 무대에서의 공연 시 큰 문제가 된다. 전문 소프라노 성악가들은 이러한 문제를 해결하기 위하여 F1을 피치 쪽으로 이동시키는 '포르만트 튜닝'의 기술을 사용한다. 즉, 후두와 인두를 낮추거나, 턱을 아래로 내리거나, 입술과 혀의 모양을 바꾸어 F1의 위치를 이동시키는 것이다(Rossing, 1989)[6]. 소프라노의 '포르만트 튜닝'을 통하여 음량의 이득을 얻지만, 한편으로는 모음의 명료도에 손실을 가져오게 된다. 따라서, 성악가는 성악발성시 발성음량의 이득과 명료도의 유지를 놓고 둘 중 한 가지에 비중을 두어야 한다. 또한 높은 음역에서는 포르

만트를 결정할 배음들이 없기 때문에, 피치가 높아질수록 모음의 명료도에는 더욱 손실이 생기게 된다(Strong & Plimik, 1992)[7].

2.4. 싱어스 포르만트 (Singer's Formant)

성악가들은 일반적으로 다음 두 가지의 상황에서 노래를 한다. 즉, 솔리스트로 독창을 하게 되거나 합창단원으로 합창을 하게 되는 것이다. 이 두가지의 경우 중 솔리스트로 독창을 하게 될 때에, 성악가는 자신의 목소리가 오케스트라 반주나 합창단의 노래 중에도 청중에게 잘 전달되어야 한다. Rossy et al는 1986년 남성 성악가들과 몇몇 알토 파트의 성악가들이 '싱어스 포르만트'를 사용하여 이런 문제를 해결한다는 것을 확인하였다. '싱어스 포르만트'는 3000Hz 부근에 나타나는 포르만트로, 성악발성 시 독특한 음색을 내도록 하는 역할을 한다[8].

III. 한국인 소프라노의 단모음 발성

3.1. 실험 대상 및 장비

현재 전문 성악인으로 활동하고 있으며 대학에 실기교사로 출강중인 소프라노 성악가 5명을 대상으로, 기본 5가지 모음을 여러 위치의 피치에서 성악 발성으로 그림 1과 같이 부르게 한 뒤, 이것을 분석하였다. 실험장비로는 Sure사의 Beta50 마이크와 IBM PC, Kay사의 CSL4300을 사용하였다.

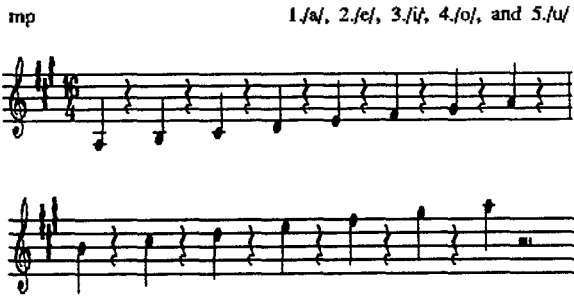


그림 1. 성악발성을 위한 악보
Fig. 1. Music sheet for this study.

3.2. 실험과정

피험자들에게 음성 '아, 에, 이, 오, 우'를 발음하게 하여 각 모음에 대한 포르만트를 분석하였다. 그리고 A3(220Hz)부터 A5(880Hz)까지 메이저 스케일로 15개의 피아노 음을 들려준 후 모음 '아, 에, 이, 오, 우'를 이 15개의 피치에서 부르게 하였다[9]. A3부터 A5까지의 음역은 소프라노 파트의 음역에 해당되는 것이며, 일반적으로 음악가들에게 익숙한 메이저 스케일로 부르게 하여 피험자들이 심리적으로 부담이 적은 상태에서 발성을 할 수 있도록 하였다. 각 모음은 가능한 한 정확하게 발음하도록 하였으나, 실제로 성악 연주 시에 발성하는 방법으로 발음하도록 하여 좀 더 음악적인 성악발성을 분석하였다. 성악발성의

음량은 mp (조금 여리게)로 정하여 전체 음역에서 일정하게 부르도록 하였다. 성악발성을 분석하기 위해 Speech Analyzer인 CSL4300을 사용하였으며, LPC로 포르만트를 추출하였다. 샘플링 주파수는 10,000Hz, LPC차수는 12로 설정하였다[11]. 각 피치에서 분석한 성악발성 모음들을 음성 모음들과 비교하여 분석하였다[12]. 그림 1은 성악가들에게 부탁한 성악발성의 악보이고, 그림 2는 성악발성 신호의 한 예이다.

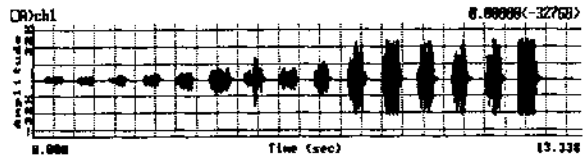


그림 2. 성악발성 신호의 한 예('아')
Fig. 2. An example waveform of singing vowel.

3.3. 실험 결과

먼저, 소프라노의 음성 모음들의 포르만트 값을 분석한 결과, 그 수치가 한국인 여성의 평균치와 다소 차이가 있었다. 그림 3은 그 결과를 보여준다. 성악가들의 F1, F2의 수치가 평균치보다 전반적으로 낮게 나타났다. 이는 성악가들이 오랜 기간에 걸친 성악발성 훈련을 한 결과, 그들의 음성 모음에도 영향을 미친 결과로 보인다. 표 3은 소프라노들의 성악발성 및 음성에 대한 포르만트의 평균값들이다.

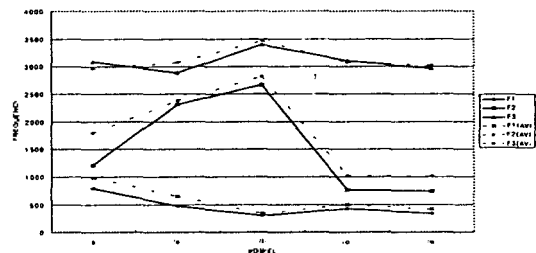


그림 3. 5명의 소프라노와 16명의 한국 여성들의 음성 포르만트 평균

Fig. 3. The average of formants spoken by 5 sopranos (solid lines) and 16 Korean women (dashed lines).

표 3. 소프라노의 성악발성 및 음성의 포르만트 평균
Table 3. The average of formants of vowels spoken and sung by sopranos.

	아	에	이	오	우
F1	798.0	477.2	305.6	432.4	342.8
F2	1215.8	2305.4	2663.8	760.6	738.2
F3	3089.0	2887.6	3395.0	3104.2	2955.0
F4	4074.2	4164	4283.2	3887.6	3872.8

(a) 성악발성 (Speech)

	/a/	/e/	/i/	/o/	/u/
F1(Hz)	745	617	297	424	313
F2(Hz)	1,104	1,969	2,439	850	760
F3(Hz)	3,051	2,768	3,230	2,999	2,910
F4(Hz)	3,724	3,962	4,089	3,611	3,895

(b) 성악발성(Singing)

둘째, 성악발성 '아, 오, 우'의 경우 F2/F1의 그래프가 B4이상의 피치에서는 기울기가 약 2.6인 직선으로 나타났다. 그림 4은 이 세 모음의 포르مان트 분석 결과를 나타낸 것이다. 그림 4에서 보면, B4는 Changing Voice 음역이 시작되는 곳으로 포르مان트의 변화가 이 Changing Voice의 시작에 영향을 미치는 것으로 보인다. F2/F0와 F1/F0의 그래프도 직선으로 나타나며 그 기울기는 각각 2.2-2.5, 0.7-1.0 이다.

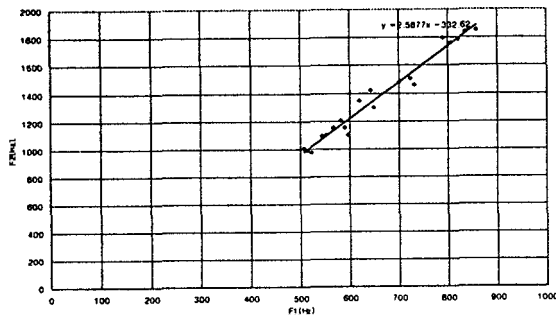


그림 4. F2/F1의 그래프 (B4-A5, 모음 '아, 오, 우')
Fig. 4. Graph of F2/F1 (B4-A5, Vowel /a/, /o/, and /u/).

그림 5는 '아'의 예이다. 타원에 둘러싸여진 점들은 B4보다 낮은 피치의 포르مان트로 이 포르مان트들의 집합과 그림에 표시된 speech 포르مان트와의 관계는 Sundberg(1989)의 연구 결과와 거의 같다. 즉, '아, 오'의 F1의 수치가 speech시에 더욱 커진다.

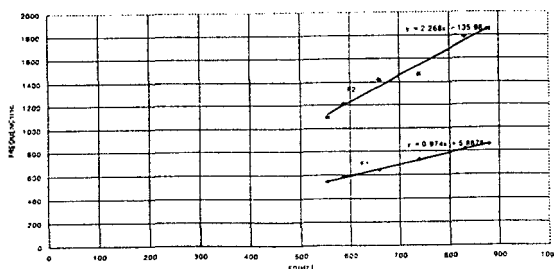


그림 5. F1/F0와 F2/F0의 그래프 (B4-A5, 모음 '아')
Fig. 5. Graph of F1/F0 and F2/F0 (B4-A5, Vowel /a/).

셋째, 성악발성의 경우 A5에서 '아, 에, 이, 오, 우'의 F1, F2의 수치가 거의 일치하는 것으로 나타났다. 즉, 최고음부에서 불러지는 모음들은 서로 구별되기가 어렵게 되는 것이다. F1은 800-900Hz, F2는 1,500-2,000Hz였다.

IV. 결론

연구결과, F0가 B4보다 낮을 때에는 F1, F2가 안정적이나, 그 이상일 때에는 포르مان트의 값들이 변하기 시작했다. '아, 오, 우'의 경우에는 F2/F1의 그래프가 약 2.6의 기울기를 갖는 직선으로 나타났다. B4는 Changing Voice 음역이 시작되는 곳으로 B4 이상의 음역에서는 어느 정도 음색이 유지되리라고 기대할 수 있다. 또한, 각 모음들은 A5에서는 거의 같은 포르مان트를 갖게 된다는 것을 확인하였다. F3, F4는 모든 모음이 약 3,000-4,000Hz에 위치하는 경향을 보였는데, 이는 성악발성의 음색 유지와 관련이 있을 것으로 추측이 된다.

본 논문은 성악발성 평가 시스템이나 성악발성 합성 시스템을 구축할 때에, '아, 오, 우'의 경우에는 B4에서 A5의 F1, F2를 F0대한 기울기로 규정됨을 보였다. 이와 같은 규정을 통하여 성악발성과 관련된 시스템 구축에 필요한 기반을 마련하여 추후 연구에 시간과 비용의 절감을 가져올 것으로 생각된다.

감사의 글

이 연구는 정보통신부 우수대학원 1999년도분 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- Johan Sundberg, "Music Acoustics on the Threshold of the 21st Century," Seminar at the Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig, 1996.
- Department of Speech, Music and Hearing in KTH, "Annual Report 1997," 1998.
- H. young Hwang, "An Introduction To Korean Phonetics & Phonology," Bando-Press, 1995.
- Bag Jong Cheol, "Sound Spectrographical Analysis of Korean Single Vowels,," Yonsei University. 1996.
- Sten Ternstrom, "Acoustical Aspects of Choir Singing," 1989.
- Thomas D. Rossing, "The Science of Sound," Addison Wesley, Chap.17, pp. 347-366, 1989.
- William J. Strong, George R. Plitnik, "Music Speech Audio," Sound Print, Chap. 29, pp. 247-264, 1992.
- Ternstrom, S., J. Sundberg, "Formant Frequencies of Choir Singers," J. Acoustics. Soc. Am. 86(2), pp. 517-522, 1989.
- Johan Sundberg, "Studies of the Soprano Voice," Journal of Research in Singing, 1/1, 25-35, 1977.
- 문소연, 강신규, 손희주, 이행세, "팻사지오에 대한 음향학적 연구." 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 17, 2(s), 77-80, 1998.
- 문소연, 이행세, "소프라노의 성구전환에 대한 음향학적 연구." 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 131-134, 1999.

▲ 임 동 철(Dong Chul Lim) 1969년 7월 1일생

1996년 2월: 아주대학교 전자공학과 학사 졸업

1995년 12월: LG 반도체 근무

1999년 2월: 아주대학교 전자공학과 석사 졸업

1999년 2월~아주대학교 전자공학과 박사과정

※ 주관심분야: 음성 신호처리 및 응용

▲ 문 소 연(So Youm Moon)

1999년 2월: 아주대학교 전자공학과 학사 졸업

1999년 2월: 아주대학교 전자공학과 석사과정

▲ 이 행 세(Haing Sei Lee)

1966년: 전북대학교 전기공학과 학사 졸업

1972년: 서울대학교 전자공학과 석사 졸업

1984년: 고려대학교 전자공학과 박사 졸업

1973년~현재: 아주대학교 교수