

## 성악도들의 음성관리 및 성대화상술상의 문제점과 발성에 대한 음향분석학적 특징

성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 이비인후과

진성민 · 김대영 · 반재호 · 이상혁 · 송윤경 · 권기환 · 이경철 · 이용배

= Abstract =

### Problems of Stroboscopedaryngoscopic Findings and Usual Voice Management of Vocal Major Students, and Acoustic Characteristics of Singing Voice

Sung Min Jin, M.D., Dae Young Kim, M.D., Jae Ho Ban, M.D.,  
Sang Hyuk Lee, M.D., Yun Kyung Song, M.D., Kee Hwan Kwon, M.D.,  
Kyung Chul Lee, M.D., Yong Bae Lee, M.D.

*Department of Otolaryngology, Kangbuk Samsung Hospital, College of Medicine,  
Sungkyunkwan University, Seoul, Korea*

**Objectives** : The purpose of this study was to systematically analyze and compare the acoustic sound structure of vocal major student's singing voice.

**Materials and Methods** : The nineteen vocal major students were the subject group and healthy nineteen females were the control group for this study. The subject group was taken a stroboscopedaryngoscopy by the use of flexible nasopharyngoscopy. And acoustic analysis was taken between two groups. Additionally the inquiry on usual voice problems and management was performed by thirty-six vocal major students.

**Results** : The subject group presents many functional voice disorder findings such as AP contraction(44%), phase difference(36%), tremor(25%), posterior gap(17%), hyperadduction of vestibular fold(6%), and anterior gap(3%) on stroboscopedaryngoscopy. And the vocal major students did reveal an enhanced number of high frequency harmonic partials when singing compared to the control group in the narrow band spectrum study. But there was no significant difference in jitter, shimmer and noise to harmonic ratio in both groups. Almost all vocal major students present a lot of voice problems in singing such as loss of high note(17%), loss of quiet voice(17%), effortful and tired voice(36%) etc on inquiry. And they always effort to prevent vocal dysfunction by the use of various type of method such as voice rest(28%), hydration(28%), gargling with salt(11%) etc.

**Conclusions** : The vocal major students always take care of maintaining a good voice condition, but a lot of vocal major students revealed abnormal stroboscopedaryngoscopic findings and they are absent in the conception of systemic and scientific voice management. Therefore,

the young singers need a good voice training and voice therapy program under the good relationship of laryngologist and voice training teacher.

**KEY WORDS** : Vocal major students · Voice management · Strobovideolaryngoscopy · Singer's formant · Harmonic partials.

## 서 론

성악을 전공하는 성악가들은 효과적인 성도공명을 이루고, 아름다운 목소리를 만들어내기 위하여 성악을 공부하는 초기 시절부터 수년간 체계적인 발성교육을 받고, 평소 일상 생활 중에서도 최적의 발성 상태를 유지하기 위하여 많은 노력을 하고 있다. 교육적으로 체계적인 음성 훈련을 받은 성악가들은 음성훈련을 받지 않은 정상인과 다른 음성 특징을 나타내며, 이들 성악가들의 음성 특징에 대한 객관적인 평가는 이비인후과 의사에게 음성 이상을 호소하는 성악가들의 임상적 진단과 치료를 위한 귀중한 정보를 제공할 것이다.<sup>1)2)</sup> 이를 위하여 성악가들이 연주를 할 때의 음의 구조의 특징에 대한 연구가 있어왔으며,<sup>3)4)</sup> 이들의 음성 특징이 음향분석기기의 발달로 밝혀지고 있다.

본 연구는 서양음악을 전공하여 직업적인 성악가가 되고자 음악대학교에 재학중인 성악도들의 평소 음성 관리 실태와 음성관리에 대한 인식도 및 발성시 성대 운동의 특징, 그리고 오랜 기간동안 체계적인 발성 교육을 받은 이들의 연주시 음성의 음향분석학적 특징을 알아보고자 하였다.

## 대상 및 방법

음악대학교 성악과에 재학중인 소프라노를 전공하는 18세부터 26세사이의 여학생 36명을 대상으로 하여 설문조사와 성대화상술검사를 시행하였고, 이 중 19명의 여학생을 대상으로 하고, 증상 및 이학적 검사상 음성장애의 소견을 보이지 않는 21세부터 26세사이의 건강한 여성 19명을 대조군으로하여 대화시 /아/발성에 대한 Multidimensional voice program분석과 256Hz에 맞춘 연주시의 /아/발성에 대하여 Spectrum분석을 시행하였다.

설문조사는 성악도들의 평소 대화시의 음성의 유형, 성대 건조감을 유발하는 카페인이나 탄 음식물의 섭취나

금연여부, 연주시 발성의 문제점, 발성 장애나 음성에 대한 성악도들의 주관적 견해, 음성을 보호하기 위한 이들의 노력의 형태 등에 대한 질문을 하여 이에 대한 분석을 시행하였다.

공기역학적 검사는 음성생성능력을 양적으로 표현하여 주는 최장발성지속시간(Maximum phonation time, MPT)을 측정하였고, 이때 피검자는 편안한 자세에서 최대흡기 후 편한 발성으로 /아/ 모음을 가능한 한 지속적으로 길게 발성케하여 그 발성의 지속시간을 3회 측정하고 그 중 가장 큰 값을 채택하였다.

음향분석학적 검사는 편안한 자세에서 편안한 목소리로 최소 3초 이상의 연속된 /아/ 모음소리를 세 번 내도록 하고 그 중 가장 안정된 발성을 나타낸 것과 256Hz의 소리굽쇠에 맞추어 발성한 연주시의 /아/ 모음소리를 택하여 SHURE사 Model SM 48 unidirectional ; dynamic microphone을 통하여 컴퓨터에 입력한 후 분석하였다. 음성분석은 Kay사의 CSL 시스템을 사용하였고 Hardware는 CSL model 4300B와 Kay사에서 제공된 486DX 33MHz 컴퓨터를 사용하였으며, 분석에 사용된 Software는 Multidimensional Voice Program 4305 이었다.

성대화상술검사는 피검자가 편안하게 앉은 자세에서 정상 발성시와 연주시 발성시의 성대의 운동을 CCD Camera(Panasonic<sup>®</sup>)와 Television Monitor(SO-NY<sup>®</sup>)에 연결된 flexible nasopharyngoscopy를 사용하여 기록하였으며 모든 기록은 Video-Cassette recorder(Panasonic<sup>®</sup>)를 이용하여 녹화 및 재생하였다.

통계학적 검증은 통계분석패키지인 Statistical packages for Social Science(SPSS) 중 t-test를 이용하여 각 결과치를 비교하였고 유의수준은 5%로하여 검정하였다.

## 결 과

설문지 조사에서 성악도들이 발성훈련을 받은 기간은 평균 6.1년이었고, 주당 연습 시간은 평균 8.58 시간

이었다. 또한 평소 대화시의 음영역에 관한 질문에서 주로 중음을 사용한다고 생각하는 응답자가 20명(56%)으로 가장 많았고, 주로 고음 및 저음을 사용한다고 대답한 성악도는 각각 6명(16%), 5명(14%)이었으며, 잘 모르겠다고 답한 경우가 5명(14%) 있었다. 그리고, 일상 생활에서 큰 소리로 이야기하는 경향이 있다고 답한 경우도 5명(14%) 있었다. 성대 건조감을 유발시키는 제제인 알코올의 경우 응답자의 53%인 19명이 주당 1~2회 정도로 먹고 있었으며, 카페인이 들어 있는 음료는 거의 대부분인 35명(97%)이 하루 1~2잔씩 마시고 있는 것으로 조사되었으나, 흡연의 경력이 있는 성악도는 없었다(Table 1).

연주시 발성상의 문제점에 대한 질문에서는 '연주시 목에 힘이 들어가 피곤하거나 아프다'는 경우가 13명(36%)으로 가장 많았고, '목소리 전체의 영역 중 고음역이나 저음역의 발성이 안된다'고 응답한 사람이 각각 6명(17%), 5명(14%)이었으며, '노래 등을 할 때 큰소리나 작은 소리가 안된다'고 답한 경우가 각각 3명(8%), 6명(17%)이었다. 또한 말을 할 때 '첫소리가 난다'고 호소한 경우가 3명(8%), 애성을 호소한 성악도는 5명(14%)이었다(Table 2).

**Table 1.** Knowledge of subject group

Years of voice training(years)	6.1
Amount of practice/week(hours)	8.58
Speaking voice type	
High voice	6(16%)
Medium voice	20(56%)
Low voice	5(14%)
Don't know	5(14%)
Loud voice use in speaking	5(14%)
Use of drying agents	
Alcohols	19(53%)
Caffeine	35(97%)
Tobacco	0( 0%)

**Table 2.** Voice problems of subject group in singing

Loss of H-note	6 (17%)
Loss of L-note	5 (14%)
Loss of loud voice	3 ( 8%)
Loud of quite voice	6 (17%)
Strained voice	3 ( 8%)
Hoarseness	5 (14%)
Effortful & tired voice	13 (36%)

연주시 발성상의 문제점에 대한 응답자들의 주관적인 견해는 잘못된 발성 훈련이 원인으로 생각하는 경우가 7명(19%)으로 가장 많았고, 과도한 연주나 무리한 발성이 원인일 것으로 생각하는 경우가 6명(17%)이었으며, 일상 생활 속에서 성대의 무리한 사용이 주된 이유일 것으로 응답한 성악도는 5명(14%)이었다. 그 외에 알레르기성 비염, 빈발하는 상부호흡기 감염, 과도한 긴장, 혹은 건조한 주위의 환경이 원인일 것으로 생각하는 응답자가 각각 1명(3%)씩 있었다(Table 3).

발성 장애를 예방하기 위한 성악도들의 주관적인 노력여부에 대한 질문에 대하여 음성 안정(10명, 28%)이나 수분 섭취(10명, 28%)를 한다는 답이 가장 많았고, 그 외에 소금 양치질(4명, 11%), 목을 따뜻이 한다(2명, 6%), 약을 먹는다(1명, 3%), 평소애 무리하지 않는다(1명, 3%) 등의 대답도 있었다(Table 4).

성악도들의 성대화상술검사에서 전후 구축(AP con-

**Table 3.** Students' point of view in causes of singing problems

Inappropriate vocal technique	7 (19%)
Extensive voice use in singing	6 (17%)
Over-singing and trained voice	6 (17%)
Voice abuse in speaking	5 (14%)
Allergy	1 (3%)
Frequent URI	1 (3%)
Strain and tension	1 (3%)
Drying effect of environments	1 (3%)

**Table 4.** The habits for prevention of vocal dysfunction

Voice rest	10(28%)
Hydration	10(28%)
Gargling with salt water	4(11%)
Warming the neck	2( 6%)
Decongestants	1( 3%)
General health care	1( 3%)

**Table 5.** Strobosvideolaryngoscopic findings

Arytenoid injection & pachydermia	19(53%)
AP contraction	16(44%)
Phase difference	13(36%)
Tremor(periodicity)	9(25%)
Nodule	9(25%)
Posterior gap	6(17%)
Hyperadduction of vestibular fold	2( 6%)
Anterior gap	1( 3%)

**Table 6.** Acoustic measures from singing and speaking vowel sound, and MPT

	Singing		Speaking	
	Subject	Control	Subject	Control
Fo(Hz)	256.72	254.52	230.30*	215.78
Jitt(%)	1.27	0.97	0.68	0.81
Shim(dB)	8.20	7.21	4.43*	1.12
NHR	9.77	10.03	7.05	5.80
MPT(sec)			19.2	18.6

Fo : Fundamental frequency, Jitt : Jitter, Shim : Shimmer  
 NHR : Harmony to Noise Ratio, MPT : Maximum Phonation Time  
 \*p<0.05

traction)이 16명(44%), 양측 성대 진동의 위상차(phase difference)가 13명(36%), 성대 진동의 주기성(periodicity)의 이상이 9명(25%), 성대 결절이 9명(25%), 후반부 성문틈(post. gap)이 6명(17%)으로 나타났으며, 후두 추벽의 과내전(Hyperadduction of vestibular fold) 및 전반부 성문틈(ant. gap)이 각각 2명(6%), 1명(3%), pachydermia가 19명(53%)에서 관찰되었다(Table 5).

대화시의 /아/발성에 대한 음향분석학적 검사에서 성악도와 정상 대조군의 기본 진동수(fundamental frequency)는 각각 230.30Hz, 215.78Hz로 대상군이 높았으며, Shimmer는 각각 4.43dB, 1.12dB로 대조군이 낮았다(p<0.05). 또한 Jitter와 잡음 대 조파비(NHR)는 성악도가 각각 0.68%, 7.05 이었고, 정상 대조군이 각각 0.81%, 5.80 이었으나 이들간의 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 256Hz의 소리굽쇠에 맞춘 연주시의 /아/발성에 대한 음향분석학적 검사에서 기본 진동수, Jitter, Shimmer, 잡음 대 조파비는 성악도에서 각각 256.72Hz, 1.27%, 8.20dB, 9.77 이었고, 정상 대조군에서는 각각 254.52Hz, 0.97%, 7.21dB, 10.03 이었으며, 이들 중 통계적으로 유의한 차이는 없었다(p>0.05). 공기 역학적 검사에서 성악도의 평균 최장 발성 지속시간은 19.2초로 정상 대조군의 18.6초에 비하여 길게 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다(p>0.05)(Table 6).

Narrowband spectrum을 이용한 음향분석에서 성악도들의 제 1음형대는 1058.9Hz, 제 2음형대는 3262.1Hz, 제 3음형대는 3985.2Hz, 제 4음형대는 6476.5Hz 이었고, 정상 대조군에서는 각각 1247.3Hz, 2989.9Hz, 4451.9Hz, 5476.4Hz로 나타났으나 이들간의 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. narrowband spectrum 그

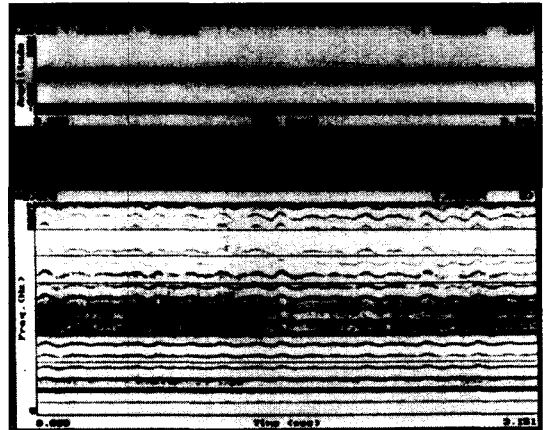


Fig. 1. Narrow band spectrum of vocal major student.



Fig. 2. Narrow band spectrum of control group.

림에서 성악도들은 굵고 규칙적인 음형대를 형성하는데 비하여(Fig. 1), 정상 대조군에서는 얇고 불규칙적인 음형대를 형성하였고(Fig. 2), 연주시의 /아/발성에서 0-8kHz 사이의 Harmonic partial의 수는 성악도들이 평균 14.61개로 정상 대조군의 14.21개에 비하여

**Table 7.** Mean formant frequency & number of partials in singing

Formant(Hz)	Subject group				Control group			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
		1058.9	3262.1	3985.2	6476.5	1247.3	2989.9	4451.9
No of partials	0-8kHz	14.61			14.21			
	4-8kHz	7.07*			5.74			

F1 : 1st formant, F2 : 2nd formant, F3 : 3rd formant, F4 : 4th formant

\*p<0.05

유의한 차이는 없었으나, 4~8kHz 사이의 고음역에서, Harmonic partial의 수는 성악도가 7.07개, 정상 대조군이 5.74개로 유의한 차이를 보였다(Table 7).

## 고 찰

훌륭한 성악가가 되기 위하여 성악도들은 어려서부터 체계적인 발성 훈련을 받고 있으며, 이를 위하여 성대에 영향을 미치는 음식물의 섭취를 피하고, 규칙적인 발성 연습, 금연, 평소 대화시 성대의 과사용 방지 및 음성에 영향을 미치는 질병의 예방 등을 위해 노력하고 있으며, 후두 질환 발병시의 치료에 대하여 지속적인 관심을 갖고 최적의 음성 상태 유지를 위한 노력을 경주하고 있다.

Sataloff<sup>6)</sup>는 직업적 성악가들은 어려서부터 좋은 발성 습관(good vocal habits)을 갖도록 하는 것이 중요하고, 이러한 조기교육은 모든 종류의 음성 과사용과 무리한 사용을 피할 것을 권고하고 있으며, 사춘기 시절에는 노래를 피하거나 최소화해야 하고, 음성은 10대 초기부터 30대 까지 성숙하므로 자신의 음역을 벗어나는 무리한 성대의 사용이 젊은 성악가에서 음성 이상을 초래하는 원인이 된다고 하였다. 본 연구의 설문지 조사에서도 개개의 성악도들은 최적의 음성 상태를 유지하기 위하여 평소 큰소리로 얘기하거나, 자신의 음역을 넘는 무리한 성대의 사용을 자제하고 있으며, 음성 이상을 예방하기 위하여 금연, 음성 안정, 수분 섭취, 소금을 이용한 양치질 등의 노력을 하고 있음을 알 수 있었다. 그러나, 설문 조사 결과에서 보여주는 성대 건조감을 유발하는 알코올이나 카페인이 들어 있는 음료에 대한 이해의 부족, 성대 관리를 위한 전문가와의 정기적인 검사나, 후두 질환에 대한 근본적인 치료의 부족은 이들에게 보다 객관적인 음성관리 프로그램이 필요하다는 것을 반영한다고 할 수 있다.

성대화상술검사는 미세한 성대의 점막 운동을 관찰함으로써 후두 질환의 정확한 진단과 치료를 위하여 이용되고 있는데,<sup>6)</sup> Elias 등<sup>7)</sup>은 65명의 건강한 성악가들을 대상으로 한 기본적인 성대화상술검사 분석을 시행하여 이들 중 58%에서 역류성 후두염, 성대 결절, 성대 낭종, 양측 성대 진동의 위상차 등의 이상 소견을 발견하였고, 성악도들을 대상으로 하였던 본 연구에서도 전후 구축, 양측 성대 진동의 위상차, 성대 진동의 주기성의 이상, 후반부 성문틈, 성대 추벽의 과내진, 전반부 성문틈 등의 많은 기능적 음성 이상을 시사하는 소견을 발견할 수 있었다. 이러한 결과에 대하여 Elias 등<sup>7)</sup>은 성악가들이 성대화상술검사상 기능적 음성장애의 소견을 보이지만, 장기간의 체계적인 발성 훈련의 결과로 이러한 소견을 극복하여 일상 대화시나 특히 연주시 음성 이상의 증상을 나타내지 않은 것으로 생각하였으며, 성악도들을 대상으로 한 본 연구에서는 성악에 대한 교육과 발성 훈련을 계속중인 이들이 성대의 발달과 성장이 완성되기 전에 자신의 성량에 맞지 않는 무리한 발성을 한 결과로 인한 것으로 생각된다.

직업적 성악가들에 대한 음향분석학적 연구는 아직 미비한 실정이나, 연주시 성악도들과 대조군의 /아/ 발성에서 Jitter나 Shimmer, 잡음 대 조파비에서 의미 있는 차이를 발견할 수 없었으며, 일상 대화시의 /아/ 발성에서 성악도들의 shimmer가 대조군에 비하여 증가된 것은 이들이 발성 훈련을 통하여, 연주시에는 성대 결절이나 다른 기능성 음성장애의 상태를 극복한 상태이나, 평소 발성시에는 이러한 문제점들이 그대로 반영되었기 때문으로 생각된다.

Sunberg<sup>8)9)10)</sup>는 스펙트럼분석을 이용한 성악가들의 음성분석에서 2500~3000Hz의 wide band region의 제3음형대와 제4음형대에서 나타나는 spectral-energy peak를 성악가들에게서 특징적으로 나타나는 'singer's formant'로 명명하고, 오페라 가수들의 lateral cinera-

diographic x-ray pictures에 대한 연구에서 'singer's formant'의 형성이 '노래시 후두의 하강(lowering the larynx during singing)'과 관계 있다고 하였다. 이러한 'singer's formant'의 형성에 대하여 Sunberg<sup>9)</sup>는 연주시 후두를 적절히 하강시킴으로써 전체적인 발성관이 길어지고 넓어지며, 인두 이상외에 보다 독립적인 공명강이 형성됨으로써 고유한 음형대가 형성되는데, 이음형대는 제3 혹은 제4 음형대보다는 주파수가 약간 낮고 소리 에너지는 커지며, 또한 전체적인 인강이 넓어지고 혀의 운동이 보다 자유로워져서 이로 인한 음형대의 에너지도 증가하게 된다고 설명하였다.

서양음악을 전공하는 성악가에게서 형성되는 이러한 'singer's formant'의 level은 음역에 따라 조금씩 차이를 보이는데, Pelsky<sup>11)</sup>는 테너와 베이스의 구별없이 남성 성악가의 경우 2500에서 3200Hz 사이에서 형성되고, 여성 성악가의 경우에는 메조 소프라노는 3200Hz, 소프라노는 4000Hz 근처에서 'singer's formant'가 형성된다고 한 반면, Sunberg<sup>12)</sup>는 3kHz 근처에서 'singer's formant'가 형성되는데, base는 조금 낮게, tenor는 조금 높은 곳에서 형성이 되며, soprano의 경우는 확연히 구별되는 energy peak를 형성하지 않고 일반인의 제3음형대와 제4음형대와 같은 모습을 보인다고 하였다. 서양음악 가수와 전통음악 가수의 노래를 비교한 홍 등<sup>13)</sup>의 연구에서, 서양음악 가수는 특징적인 'singer's formant'를 형성을 관찰할 수 있었고 전통음악 가수에서는 이를 볼 수 없었으나, 소프라노를 전공하는 성악도를 대상으로 한 본 연구에서는 대조군에 비하여 확연히 구별되는 3kHz 근처에서 형성되는 저명한 spectral peak인 'singer's formant'는 관찰할 수 없었다.

Burns<sup>14)</sup>는 오페라 가수와 country and western 팝가수를 대상으로 한 음향분석학적 연구에서 고음역에서의 harmonic partial의 수를 비교하여 장기간 체계적인 발성훈련을 받은 오페라 가수들이 4kHz에서 8kHz사이의 고음역에서 country and western 팝가수에 비하여 많은 수의 harmonic partials을 나타냄을 보고하였는데, 본 연구에서도 성악도들이 정상 대조군에 비하여 1kHz부터 8kHz사이의 harmonic partials의 수에서는 의미 있는 차이를 보이지 않았으나, 4kHz에서 8kHz사이의 고음역에서 대조군에 비하여 선명하고 의미 있게 증가된 harmonic partials의 수를 나타

냈다. 이는 오랜 기간 체계적인 발성 훈련을 받은 성악도들이 정상인에 비하여 성음강의 공명구조를 잘 활용하고 있음을 나타내는 소견으로 생각된다.

## 결 론

성악도들은 장기간의 발성연습으로 연주시에 정상인에 비하여 많은 공명에너지가 형성할 수 있으며, 고음역에서 정상인보다 모양이 뚜렷하고 많은 수의 harmonic partial을 형성한다. 또한 성악도들이 체계적인 발성 교육을 받았으나 자신의 나이와 성량에 맞지 않는 무리한 성대의 사용 및 과사용으로 인하여 성대화상술 검사상 기능적 음성 장애의 소견이 많았으며, 음성관리 및 치료에 관한 인식부족으로 평소 성대관리에 소홀한 면이 있어, 이러한 점들을 극복하기 위하여 음성 훈련을 지도하는 음악 교사와 성악도들의 음성 장애에서 치료를 담당하는 이비인후과 음성 전문가 사이의 긴밀한 유대관계 속에서 이들에 대한 보다 체계적이고 과학적인 음성 훈련과 음성 관리 교육 및 음성 치료가 필요할 것으로 생각된다.

## References

- 1) Rubin HJ : *Role of the laryngologist in management of dysfunction of the singing voice. Eye Ear Nose Throat Monthly. 1964 ; 43 : 45-55*
- 2) Shapiro SL : *On the management of professional voice disorder. Eye Ear Nose Throat Monthly. 1973 ; 52 : 37-45*
- 3) Bartholomew WT : *A physical definition of 'good voice quality' in the male voice. J Acoust Soc Am. 1934 ; 6 : 25-33*
- 4) Rzhavkin SM : *Certain results of the analysis of a singer's voice. Sov Physics Acoust. 1956 ; 2 : 215-220*
- 5) Sataloff RT : *Professional singers : The science and art of clinical care. Am J Otolaryngol. 1981 ; 2 : 251-266*
- 6) Sataloff RT, Spiegel JR, Hawkshaw MJ : *Stroboscopy : Results and clinical care. Ann Otol Rhinol Laryngol. 1991 ; 100 : 725-727*
- 7) Elias ME, Sataloff RT, Rosen DC, Heuer RJ, Spiegel JR : *Normal stroboscopy : Variability in healthy singers. J Voice. 1997 ; 11 : 104-107*

- 8) Sundberg J : *Articulatory differences between spoken and sung vowels in singers. Speech Transmission Laboratory, Quarterly Progress and Status Report. 1969 ; 1 : 33-42*
- 9) Sundberg J : *Formant structure and articulation of spoken and sung vowels. Folia Phoniatr. 1970 ; 22 : 28-48*
- 10) Sundberg J : *An articulatory interpretation of the singing formant Speech Transmission Laboratory, Quarterly Progress and Status Report. 1972 ; 1 : 25-33*
- 11) Miller R : *The singer's formant. In : Miller R. The structure of singing. 1st ed. New York : Schirmer Books, 1986 : 55-56*
- 12) Sundberg J : *Vocal tract resonance. In : Sataloff RT. Professional voice : The science and art of clinical care. 2nd ed. Sandiego : Singular publishing group. 1997 : 167-184.*
- 13) Hong KH, Park BA, Yang YS, Kim HK : *The characteristics of musical formant and vocal fold vibration in the classical and western-style singers. Korean J Otolaryngol. 1998 ; 41 : 238-245*
- 14) Burns P, Austin : *Acoustical analysis of the underlying voice differences between two groups of professional singer : Opera and county and western. Laryngoscope. 1986 ; 96 : 549-554*