

Long Term Average Spectrum을 이용한 성악가들의 Speaking Voice 분석

성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 이비인후과학교실
이경철 · 홍석진 · 진성민

= Abstract =

Long Term Average Spectrum Characteristics of Speaking Voice of Western Operatic Singers

Kyung Chul Lee, MD, Seok Jin Hong, MD and Sung Min Jin, MD

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

Background and Objectives : Many studies have described and analyzed the singer's formant and it has been shown that the epilaryngeal tube in the human airway is responsible for vocal ring, or the singer's formant. A similar phenomenon produced by trained singers in their speech led some authors to examine the speaker's ring. This study was designed to analyze the speaking voice of the singers and speaker's ring.

Materials and Methods : Ten tenors, fifteen baritones, fifteen sopranos and ten mezzo sopranos attending the music college, department of vocal music were chosen for this study. Fifteen male and fifteen female untrained normal speakers were chosen for control group. Each subject was asked to produce a sample of a sustained spoken vowel /ah/ sound for at least five seconds and read sentence 'Kaeul'. The sound data was analyzed using the Fast Fourier Transform (FFT) - based power spectrum, Long term average (LTA) power spectrum using the FFT algorithm of the Computerized Speech Lab (CSL, Kay Elemetrics, Model 4300B, USA). Statistical analysis was performed using the Mann-Whitney test of the Statistical Package for Social Sciences (SPSS).

Results : For LTA Power spectrum of /ah/ sound, a significant increase was seen in the 2,500-3,500Hz region ($p < 0.01$) in four trained singer group compared with untrained speaker group, and a significant increase in the 9,000-10,000Hz region ($p < 0.01$) in soprano group. Similarly, in sentence 'Kaeul', there was a significant increase in energy in the tenor, baritone, mezzo soprano group compared with the untrained speaker group in the 2,500-3,500Hz region ($p < 0.01$), and a significant increase in all frequency region ($p < 0.01$) in the soprano group.

Conclusions : The LTA power spectrum suggests that trained singers group show more energy concentration in the 'singer's formant' region in the speaking voice, and authors believe this region to be the 'speaker's ring'. Further research is needed on the effect of singing training on the resonance of the speaking voice.

KEY WORDS : Singer's formant · Speech · Voice.

서 론

성악가들에서 연주시 관찰되는 음악 음형대(singer's for-

mant)에 대하여 여러 학자들은 많은 의문점을 제기하며 이들의 형성에 대한 증명을 하기 위한 다양한 연구를 하였다.¹⁻³⁾ 이러한 음악 음형대의 형성 기전은 노래를 부를 때 후두를 적절히 하강시킴으로써 전체적인 발성관이 길어지고 넓어지며, 인두 이상외에 보다 독립적인 공명강이 형성됨으로써 고유한 음형대가 생성되는 것이고,³⁾ 이 사실은 한 쪽이 열려 있는 단일 음향관에서 공명주파수를 구하는 공식에 이용하여 간접적으로 증명되었다.²⁾ 그리고 이와 유사한 현상이 성악가들의 경우, 말을 할 때도 관찰될 수 있

논문접수일 : 2004년 10월 7일

심사완료일 : 2004년 10월 25일

책임저자 : 진성민, 110-746 서울 종로구 평동 108번지
성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 이비인후과학교실

전화 : (02) 2001-2264 · 전송 : (02) 2001-2273

E-mail : strobojin@hanmail.net

을 것이라는 의문이 제기되어 소위 speaker's ring 여부에 대한 연구가 또한 이루어 지고 있다. 최근 Oliveira Barrichelo 등⁴⁾은 성악가를 남자와 여자로 나누어 그들이 말할 때 목소리에 대한 스펙트럼을 4,000Hz 영역까지 분석하여 그 결과를 발표한 바 있다.

그러나, 대상을 성부에 따라 좀 더 세분하여 분석할 경우 각 성부의 성악가들에서 어떤 차이점들이 나타나는지, 또한 여성 성악가의 경우 4,000Hz 이상의 영역에서 다른 특징적인 음향 에너지 분포를 나타내는지에 대한 의문이 들었다. 이에 저자들은 성악가들의 성부를 테너, 바리톤, 소프라노, 그리고 메조 소프라노로 세분하여 각각의 성부에서 말할 때의 목소리에 대한 음향학적 특징에 대하여 알아보려고 하였다.

대상 및 방법

연구대상은 동일한 음악대학교 성악과에 재학 중이거나 성악과를 졸업하였으며, 신체검사상 발성 기관에 이상이 없는, 테너 10명, 바리톤 15명, 소프라노 15명, 그리고 메조 소프라노 10명을 대상으로 하였고, 후두 및 조음 기관에 이상이 없고, 평소 발성에 문제가 없으며 대조군과 연령대가 비슷한 일반 성인 남자와 여자 각각 15명을 대조군으로 하였다. 대조군에서 성악에 대한 교육을 받은 기간은 테너의 경우 평균 7.9년, 바리톤 6.3년, 소프라노 9.4년, 메조 소프라노 15.6년이었으며, 평균 연령은 각각 23.9세, 21.6세, 22.7세, 31.2세이었다.

음성 표본은 방음 장치가 된 방에서 평소 말할 때의 발

성으로 한국인의 모음 /아/를 5초 이상, 그리고 '가을' 문장을 각각 3회씩 읽도록 하여 가장 안정되고 편안하게 발생된 소리를 선택하였다. 발생된 음성은 SONY DAT recorder TCD-D7을 이용하여 우선 녹음하였으며, 후에 컴퓨터에 입력하였고 이때 표본에 대한 녹취 비(sampling rate)는 20,000Hz로 하였으며 음압 준위(sound pressure level)는 70dB에 일치하도록 노력하였다. 입력된 신호는 Computerized Speech Lab.(CSL, Kay elemetrics Corp., Model 4300B, USA) 프로그램 중 FFT의 algorithm을 이용한 Long term average(LTA) power spectrum을 이용하여 분석하였다. LTA power spectrum에서 프레임 크기는 64point(3.2msec)로 하여 각 주파수 별 에너지 이득을 비교하였다. 통계학적 검증은 통계분석 패키지인 Statistical Packages for Social Science(SPSS) 중 Mann-Whitney test를 이용하여 각 결과치를 비교하였고 유의 수준은 99%로 하여 검증하였다.

결 과

LTA power spectrum을 사용한 분석 결과, /아/ 모음의 경우 4가지 성부 모두에서 음악 음형대가 형성되는 것과 유사한 양상으로 2,500~3,500Hz 영역에서 대조군에 비하여 의미 있게 에너지가 증가된 영역이 관찰되었고($p < 0.01$), 소프라노에서만 9,000~10,000Hz영역에서 또 다른 에너지 증가 영역이 관찰되었다($p < 0.01$) (Fig. 1) (Table 1, 2).

'가을' 문단의 경우는 테너, 바리톤, 메조 소프라노에서는

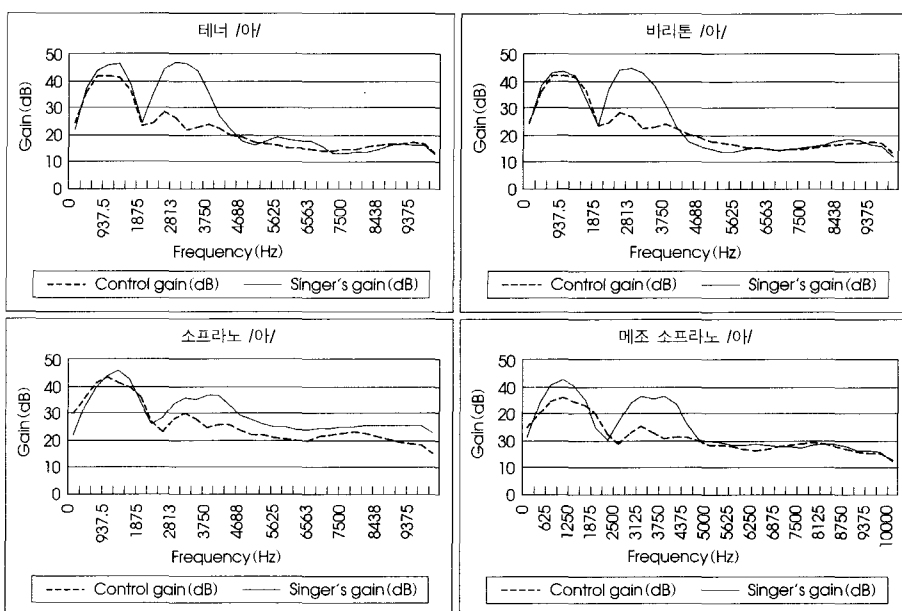


Fig. 1. Long term average power spectrum of /ah/ sound of singers and control group.

Table 1. Long term average power spectrum of /ah/ sound of male singers and control group

Frequency (Hz)	Control gain (dB)	Tenor gain (dB)	Baritone gain (dB)
0	24.67	22.08	23.87
312.5	35.82	37.46	38.08
625	41.59	43.78	43.06
937.5	41.69	45.73	43.38
1,250	41.12	46.26	42.01
1,562.5	36.15	38.83	32.67
1,875	23.33	24.57	23.62
2,187.5	24.51	35.21	36.89*
2,500	28.46	44.20*	43.90*
2,812.5	26.47	46.87*	44.78*
3,125	22.14	46.65*	42.67*
3,437.5	22.98	43.87*	37.91*
3,750	23.92	35.35	31.06
4,062	22.24	27.01	23
4,375	20.14	22.08	17.39
4,687	19.27	17.34	15.54
5,000	17.37	16.25	14.54
5,312.5	16.83	17.85	13.74
5,625	16.21	19.21	13.61
5,937.5	15.31	18.42	14.86
6,250	15.18	18.09	15.02
6,562.5	14.62	17.91	14.9
6,875	14.12	15.62	14.28
7,187.5	14.43	13.26	14.50
7,500	14.71	13.51	14.95
7,812.5	14.98	14.01	15.70
8,125	15.60	13.83	16.46
8,437.5	16.18	15.03	17.95
8,750	16.61	16.45	18.37
9,062.5	17.04	16.73	17.73
9,375	17.47	16.47	16.17
9,687.5	16.81	16.36	15.85
10,000	13.06	12.94	11.99

* : p<0.01

Table 2. Long term average power spectrum of /ah/ sound of female singers and control group

Frequency (Hz)	Control gain (dB)	Soprano gain (dB)	Mezzo gain (dB)
0	29.80	22.05	25.5
312.5	35.71	32.43	40.88
625	41.08	39.60	48.57
937.5	43.02	43.83	51.05
1,250	40.96	45.94	48.26
1,562.5	39.16	42.81	42.04
1,875	35.79	33.80	30.00
2,187.5	26.42	26.22	24.54*
2,500	22.62	28.14*	31.92*
2,812.5	27.44	33.63*	40.83*
3,125	30.02	35.65*	43.64*
3,437.5	27.48	34.94*	42.24*
3,750	24.71	36.51*	43.74*
4,062	25.69	36.72*	40.21
4,375	25.39	33.19*	31.55
4,687	23.63	29.14*	24.15
5,000	21.92	27.43*	23.40
5,312.5	21.58	25.87*	22.91
5,625	21.01	25.08	21.52
5,937.5	20.13	24.85	21.82
6,250	19.53	23.74	22.37
6,562.5	19.84	23.93	21.88
6,875	21.04	24.24	21.20
7,187.5	21.68	24.67	20.94
7,500	22.58	25.04	20.88
7,812.5	22.81	25.25	21.65
8,125	22.17	25.32	22.40
8,437.5	21.28	25.34	22.63
8,750	20.21	25.38	21.18
9,062.5	18.95	25.45*	19.37
9,375	18.47	25.58*	19.63
9,687.5	18.31	25.60*	19.02
10,000	15.02	22.72*	14.64

* : p<0.01

2,500~3,500Hz 영역에서 /아/ 모음의 경우와 유사한 양상의 에너지 집중대가 관찰 되었다(p<0.01). 그러나 소프라노는 대조군에 비하여 모든 영역에서 에너지가 의미있게 증가되어 있는 것이 관찰되었다(p<0.01) (Fig. 2) (Table 3, 4).

고 찰

음성의 특성은 호흡 기전, 성대 주름의 진동, 그리고 성도의 공명 등이 상호 밀접하게 조합되어 결정된다.⁵⁾ 발성 교육을 받은 성악가들은 이러한 요소들을 잘 조절하여 특유의 스펙트럼을 그들의 목소리에서 만들어 내고, 공명에

의한 음의 전달을 한다.⁶⁾⁷⁾ 이러한 이유로 오케스트라 연주 속에서 성악가의 노래가 우리 귀에 명료하게 들리게 되며, 이렇게 특유한 주파수역에서 형성된 에너지 집중대를 음악 음형대라 한다.¹⁾³⁾⁸⁾ 음악 음형대에 대한 여러 연구가 이미 이루어 졌으며, Sundberg¹⁾³⁾는 성도내의 후두 주변부에 위치하는 작은 공명기의 존재를 modeling을 통하여 설명함으로써 음악 음형대의 형성에 대하여 증명하고자 하였고, Titze²⁾는 한쪽이 막혀 있는 공명관에서 공명 주파수를 산출해 내는 공식을 이용하여 음악 음형대의 형성을 설명하였다.

최근에는 성악가들의 연주 시 목소리에 대한 음향학적 연구와 함께 일반 대중 가수들의 목소리에 대한 연구도 활발

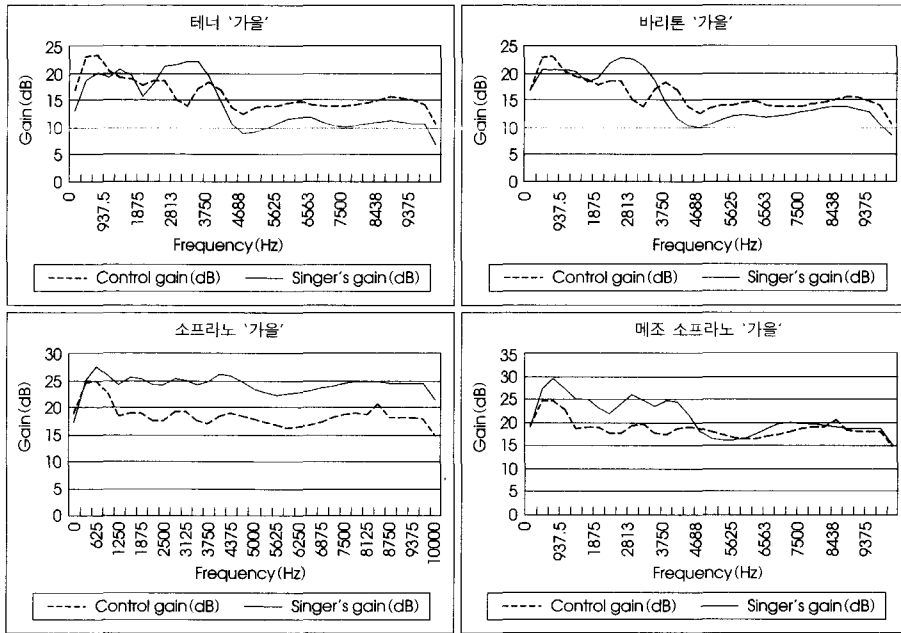


Fig. 2. Long term average power spectrum of sentence 'Kaeul' of singers and control group.

하게 이루어지고 있다. Hoit 등⁹⁾은 성문하압 측정 등 음성 검사를 통해 대중 가수(country singers)들의 호흡 조절 습관에 대해 연구하여, 그들이 노래할 때와 말을 할 때 유사하게 호흡을 조절한다고 하였고, Stone 등⁵⁾은 대중 가수들이 말을 하거나 노래할 때, 유사한 주파수의 음형대를 보인다고 보고하였다. 그리고 Burns⁶⁾와 Cleveland 등⁷⁾의 보고에서는 유명 가수들은 말을 할 때의 소리와 노래 소리 시에 후두의 적절한 하강 없이 성대의 진동을 유발하기 때문에 음악 음형대와 같은 특정 주파수역에서의 에너지 집중대는 형성되지 않는다고 하였다.

그러나 성악가들은 말을 할 때에도 노래를 부를 때 나타나는 음악 음형대와 같은 에너지 집중대가 형성된다는 연구가 있다.⁴⁾ 그러나 이들의 연구는 4,000Hz까지의 영역에서 단모음 /아/에 대한 음향 에너지 스펙트럼을 여성 성악가와 남성 성악가에서 각각 살펴 보았다. 그러나 말을 할 때의 목소리에 대한 분석을 할 경우 단모음뿐 아니라 표준화된 문단에 대한 음향 분석을 동시에 시행하는 것이 더 의미가 있을 것으로 생각되며, 또한 여자의 목소리는 10,000Hz까지는 분석할 필요가 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구는 성악가들을 성부에 따라 테너, 바리톤, 소프라노, 메조 소프라노로 세분하였고, 표본에 대한 녹취비를 20,000Hz로 하여 10,000Hz까지 음향 에너지 스펙트럼의 상태를 관찰 할 수 있도록 설정 하였다. 또한 /아/ 모음과 '가을' 문단 두 가지에 대하여 녹취를 하여 단모음과 문장에 대한 발화에 대하여 모두 관찰하고자 하였다.

본 연구에서 성악가들은 4가지 성부 모두에서 /아/ 모

음의 경우 음악음형대가 형성되는 것과 유사한 양상으로 2,500~3,500Hz 영역에서 대조군에 비하여 의미있게 에너지가 증가된 영역이 관찰되었고, '가을' 문장을 읽도록 하면서 목소리를 분석한 경우에도 같은 영역에서 대조군에 비하여 의미있게 에너지가 증가된 영역이 관찰되었으며, 이 주파수 범위가 speaker's ring 영역으로 생각된다. 소프라노에서는 /아/ 모음의 경우 speaker's ring 이외의 9,000~10,000Hz 영역에서 에너지가 의미있게 증가되어 있는 것이 관찰되어 Titze 등¹⁰⁾과 진¹¹⁾이 보고한, 2nd singer's formant와 연관된 부분으로 생각되나, 다른 성부에서는 이 영역의 에너지 증가가 관찰되지 않아 2nd singer's formant와의 상관관계에 대해서 단언할 수는 없을 것으로 생각된다. '가을' 문단을 읽게 한 목소리 분석에서, 소프라노의 경우는 다른 성부와 달리 전체 영역에 걸쳐 에너지가 증가되어 있는 것을 볼 수 있었다. 그런데 Sundberg¹⁾는, 소프라노에서 보여지는 음악 음형대는 다른 성부에 비하여 높은 음에서 나타나야 함에도 불구하고 그렇지 않다는 이유로 단순한 제 3, 4 음형대 일 수 있다고 주장한바 있다. 따라서 본 연구의 소프라노에서 나타난 현상에 대한 정확한 이유를 설명하기는 어려우나, 몇 가지 가능성에 대하여 추론하여 볼 수 있을 것으로 생각한다. 첫 번째로, 소프라노는 다른 성부의 성악가들에 비하여 소리를 집중시키는 능력은 떨어질 수 있으나, 소프라노만이 할 수 있는 고음 영역을 발생하기 위한 훈련에 따라 말을 할 때도 습관적으로 유사한 발생법을 이용하게 되고, 따라서 타 성부들에 비하여 고주파수의 영역에서 고른 음향 에너지의 증가를 관찰

Table 3. Long term average power spectrum of sentence 'Kaeul' of male singers and control group

Frequency (Hz)	Control gain (dB)	Tenor gain (dB)	Baritone gain (dB)
0	16.73	12.89	16.84
312.5	22.86	18.65	20.49
625	23.1	19.88	20.53
937.5	20.23	19.21	20.56
1,250	19.25	20.72	20.13
1,562.5	18.7	19.33	18.14
1,875	17.67	15.70	19.05
2,187.5	18.54	17.80	21.86*
2,500	18.42	21.06*	22.85*
2,812.5	15	21.50*	22.61*
3,125	13.79	21.94*	21.37*
3,437.5	17.09	22.04*	18.48*
3,750	18.36	19.48	14.58
4,062	16.64	14.72	11.60
4,375	13.66	10.60	10.26
4,687	12.5	8.71	10.10
5,000	13.45	9.01	10.54
5,312.5	13.89	9.80	11.19
5,625	13.91	10.61	11.92
5,937.5	14.54	11.34	12.25
6,250	14.78	11.90	12.08
6,562.5	14.07	11.79	11.81
6,875	13.8	10.90	11.89
7,187.5	13.71	10.16	12.29
7,500	13.83	10.12	12.64
7,812.5	14.25	10.27	13.04
8,125	14.48	10.62	13.16
8,437.5	14.92	10.96	13.71
8,750	15.48	11.13	13.67
9,062.5	15.41	10.9	13.33
9,375	14.86	10.63	12.83
9,687.5	14.12	10.60	10.55
10,000	10.55	6.70	8.56

* : p<0.01

할 수 있으며, 또한 9,000Hz 주변에서 다른 음형대가 관찰될 수 있었을 것으로 생각할 수 있다. 두 번째로, 고음역의 목소리를 갖는 소프라노의 경우 문단을 읽는 과정에서 다른 성부의 목소리에 비하여 소음(noise)이 많이 발생하는 현상이 나타날 수 있을지에 대한 점과 목소리 녹취 과정에서 발생한 알 수 없는 오류의 가능성에 대하여 생각해 볼 수 있다.

결 론

성악가들은 말을 할 때에도, 음악 음형대가 형성되는 위

Table 4. Long term average power spectrum of sentence 'Kaeul' of female singers and control group

Frequency (Hz)	Control gain (dB)	Soprano gain (dB)	Mezzo gain (dB)
0	18.97	17.17	18.87
312.5	24.5	24.87	26.92
625	24.61	27.38*	29.13*
937.5	22.49	25.74*	26.91*
1,250	18.37	24.07*	24.88*
1,562.5	18.84	25.43*	24.72*
1,875	18.87	25.41*	23.02*
2,187.5	17.61	24.05*	21.56*
2,500	17.54	24.27*	23.80*
2,812.5	19.07	25.23*	25.73*
3,125	19.30	25.02*	24.61*
3,437.5	17.54	24.13*	23.24*
3,750	17.05	24.78*	24.36*
4,062	18.39	26.06*	24.16*
4,375	18.87	25.95*	21.24
4,687	18.38	24.63*	17.67
5,000	17.81	23.46*	16.18
5,312.5	17.22	22.74*	15.83
5,625	16.53	22.35*	15.86
5,937.5	16.20	22.43*	16.28
6,250	16.32	22.77*	17.18
6,562.5	16.75	23.11*	18.41
6,875	17.32	23.49*	19.54
7,187.5	17.92	24.01*	19.69
7,500	18.50	24.37*	19.30
7,812.5	18.80	24.61*	09.31
8,125	18.67	24.69*	19.25
8,437.5	20.47	24.62*	18.86
8,750	18.07	24.45*	18.49
9,062.5	17.92	24.43*	18.41
9,375	17.93	24.54*	18.52
9,687.5	17.87	24.48*	18.36
10,000	14.59	21.46*	14.94

* : p<0.01

치와 동일한 위치에서 에너지 집중대가 형성됨을 알 수 있어서 노래할 때와 유사한 방법의 발성법을 이용하고 있는 것으로 생각되며, 높은 음역의 목소리를 갖는 소프라노의 경우는 다른 성부에서 볼 수 없는 또 하나의 에너지 집중대가 관찰되는 것을 알 수 있었다.

성악가들에 있어서 체계적이고 효과적인 발성 교육과 훈련을 통하여 얻어지는 성도의 적절한 조절이 그들의 회화나 발화에 영향을 주는지에 대한 연구와, 아울러 효과적인 노래 훈련이 일반 음성 질환 환자에 어떠한 도움을 줄 수 있는지에 대한 조사도 본 연구를 토대로 추후 이루어져야 할 과제라고 생각된다.

중심 단어 : 음악 음형대 · 회화 · 음성.

REFERENCES

- 1) Sundberg J. *Vocal tract resonance*. In Sataloff RT. *The Professional Voice: The Science and Art of Clinical Care*. New York, NY: Raven Press; 1991. p.167-84.
- 2) Titze IR. *Principles of voice production*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall Inc; 1994. p.252-78.
- 3) Sundberg J. *Formant structure and articulation of spoken and sung vowels*. *Folia Phoniatr* 1970;22:28-48.
- 4) Oliveira Barrichelo VM, Heuer RJ, Dean CM, Sataloff RT. *Comparison of singer's formant, speaker's ring, and LTA spectrum among classical singers and untrained normal speakers*. *J Voice* 2001;15:344-50.
- 5) Stone RE, Cleveland TF, Sundberg J. *Formant frequencies in country singers' speech and singing*. *J Voice* 1999;13:161-7.
- 6) Burns P. *Acoustic analysis of the underlying voice differences between two groups of professional singers: Opera and country and western*. *Laryngoscope* 1986;96:549-54.
- 7) Cleveland TF, Sundberg J, Stone RE. *Long-term-average spectrum characteristics of country singers during speaking and singing*. *J Voice* 2001;15:54-60.
- 8) Sundberg J. *Level and center frequency of the singer's formant*. *J Voice* 2001;15:176-86.
- 9) Hoit J, Jeks C, Watson P, Cleveland T. *Respiratory function during speech and singing in professional country singers*. *J Voice* 1996;10:39-49.
- 10) Titze IR, Jin SM. *Is there evidence of a second singer's formants?* *J Singing* 2003;59:329-31.
- 11) Jin SM. *Acoustic analysis of singing voice*. *J Korean Soc Logo Phon* 2002;13:51-8.