

음도 고정 시 강도 변화에 따른 일반인과 성악인 발성의 성대접촉률 변화 특성의 비교

이화여자대학교 의과대학 이비인후과학교실
김한수 · 전용선 · 정성민 · 조근경 · 박은희

= Abstract =

The Changes in the Closed Quotient of Trained Singers and Untrained Controls Under Varying Intensity at a Constant Vocal Pitch

Han Su Kim, MD, Yong Sun Jeon, MD, Sung Min Chung, MD,
Kun Kyung Cho, MD and Eun Hee Park, MD

Department of Otolaryngology, Ewha Womans University College of Medicine, Seoul, Korea

Background and Objectives : The most important two factors of the voice production are the respiratory function which is the power source of voice and the glottic closure that transform the air flow into sound signals. The purpose of this study was to investigate the differences between trained singers and untrained controls under varying intensity at a constant vocal pitch by simultaneous using the airway interruption method and electroglottography (EGG).

Materials and Methods : Under two different intensity condition at a constant vocal pitch (G/), 20 (Male 10, Female 10) trained singers were studied. Mean flow rate (MFR), subglottic pressure (Psub) and intensity were measured with aerodynamic test using the Phonatory function analyzer. Closed quotients (CQ), jitter and shimmer were also investigated by electroglottography using Lx speech studio. These data were compared with that of normal controls.

Results : MFR and Psub were increased on high intensity condition in all subject groups but there was no statistically significance. Statistically significant increasing of CQ. were observed in male trained singers on high intensity condition (untrained male : $51.31 \pm 3.70\%$, trained male : $55.52 \pm 6.07\%$, $p=.039$). Shimmer percent, one of the phonatory stability parameters, was also decreased statistically in all subject groups ($p<.001$).

Conclusion : The trained singers' phonation was more efficient than untrained singers. The result means that the trained singers can increase the loudness with little changing of mean flow rate, subglottic pressure but more increasing of glottic closed quotients.

KEY WORDS : Voice training · Speech acoustics.

서 론

발성의 원리를 보면, 폐에서 발생한 호기류가 음성의 에너지원으로 작용하여 적당히 닫힌 성문을 통과하면서 성대를 진동 시켜 먼저 후두원음을 생성한다. 이 후두원음이 하

인두, 구인두, 비인두, 구강등의 성도를 지나면서 여러 가지 주파수의 모임으로 변형이 되는 공명이 일어나고, 혀와 입술의 운동으로 최종적으로 조음이 이루어져 우리가 귀로 듣는 음성이 되는 것이다.¹⁾ 이 가운데 음성을 만드는데 가장 중요한 요소 두 가지를 든다면, 하나는 소리의 에너지 원이라 할 수 있는 호흡이고 다른 하나는 성대 접촉에 의한 성대의 진동이다. 이 과정은 일반인이나 성악인이나 공통적인데 성악인의 발성은 확연히 일반인과는 많은 차이가 있다.

기존의 연구에 의하면, 성악인은 같은 폐압에서도 호기류율을 일반인들보다 3~4배 이상 변화시킬 수 있으며 이

논문접수일 : 2005년 5월 13일
심사완료일 : 2005년 6월 19일
책임저자 : 김한수, 158-710 서울 양천구 목 6동 911-1
이화여자대학교 의과대학 이비인후과학교실
전화 : (02) 2650-2686 · 전송 : (02) 2653-5135
E-mail : sevent@ewha.ac.kr

것으로 음의 크기를 10~12dB 정도 변화 시킬 수 있음이 밝혀져 있다.²⁾ 국내의 경우, 정이³⁾ 기류저지법을 이용하여 성악인과 일반 정상인을 비교한 연구를 보면, 성악인의 음의 높이와 음의 강도는 통계적으로 의미 있게 정상인에 비해 증가되어 있었고, 호기류율과 호기압도 통계적인 의미는 없었지만 평균적으로 정상인들에 비해 증가된 소견을 보였다고 보고하였다. 즉, 성악인은 일반인에 비해 호흡을 좀더 효율적으로 사용하고 있음을 시사한다고 할 수 있다. 이처럼 성악인이 일반인에 비하여 더 풍성하고 웅장한 소리를 내는 데는 단순히 호흡의 증가뿐만 아니라 성대 접촉의 변화가 관계할 것은 명확한 일이며 두 요소 사이에 밀접한 연관이 있음도 의심의 여지가 없다. 하지만 기존의 연구 중 호흡과 성대 접촉 중 어느 것이 더 주요한 차이를 유발하는지에 대한 연구는 많지 않다. 또 손익⁴⁾ 연구를 보면 발성시 음도 및 강도의 변화가 음성분석검사에 미치는 영향은 지대한 것으로 되어있어, 이러한 것을 고려한 연구가 필수적이다. 이에 성대 접촉의 변화를 유발할 수 있는 음도(주파수)를 고정한 후, 음의 크기(강도)만을 변화 시키면서 전기성문파형검사와 공기역학적 검사를 진행하여 음의 강도 변화에 따른 성대접촉 및 호흡의 상관관계를 분석하고, 성악인의 성대접촉의 양상이 일반인과 어떻게 다른지 알아보고자 한다.

대상 및 방법

1. 연구대상

성악인 군은 서양음악을 전공으로 하는 10대에서 30대 사이의 남/여 성악인 각 10명씩을 대상으로 하였다. 이들은 성악과에 재학중인 대학생, 대학원생, 그리고 전문 성악인들로 구성하였으며, 후두 질환의 병력이 없으며 간접후두내시경 상 특이 소견이 없고 현재 음성장애를 호소하지 않는 자들로 하였다. 일반인 군은 성악 훈련을 받지 않았으며 과거력 상 음성장애가 없고 간접후두내시경상 정상성대를 가진 남/여 각 10명으로 성악인 군과 비슷한 연령대로 구성하였다.

평균 연령은 일반인 남자 28.7세(24~31세), 일반인 여자 24.4세(20~29세), 성악인 남자 23.1세(19~29세), 성악인 여자 21세(19~23세)였다. 경력은 성악인 남자는 평균 6.1년(1~10년)으로 성악과 대학생 3명, 대학원생 이상 7명 이었고, 음역은 테너가 4명, 바리톤이 4명, 베이스가 2명이었다. 성악인 여자는 평균 5.9년(1~10년)으로 대학생 5명 대학원생 이상 5명으로 음역은 모두 소프라노였다.

2. 연구방법

1) 음향학 및 전기성문파형검사

Lx Speech Studio(Laryngograph Ltd., London, UK)의 SPEAD(Speech Pattern Element Acquisition and Display) 프로그램을 이용하였다. 공기역학적 검사의 기류저지셔터가 눌러지기 직전의 안정된 발성구간 중 약 200ms를 분석구간으로 지정한 후, Voice Profile Analysis를 하여 기본주파수(F₀), 성문폐쇄율(CQ), Jitter, Shimmer를 측정하였다.

2) 공기역학적 검사

Phonatory function analyzer(Nagashima, Model PS 77H, Japan)를 이용하였다. 호흡이 새어나가지 않도록 마스크를 사용하며 안정된 발성이 2초 이상 지속된 후 기류저지 셔터를 눌러 기본주파수, 성문하압, 평균호기류율, 음의 강도를 측정하였다. 최대발성지속시간은 초시계를 이용하여 편안한 자세에서 충분히 흡기한 후 편안한 발성으로 '아' 모음을 가능한 길게 지속하게 하여 이를 3회 측정한 후 가장 큰 값을 채택하였다.

3) 검사 진행

피검자에게 pitch pipe(Fig. 1)를 이용해 /G/ 음을 들려준 후 여러 번 발성연습을 하여 일정한 음정을 유지한 상태에서 70dB에서 80dB으로 약 10dB 정도 음강도를 변화시킬 수 있도록 훈련을 시켰다. 그 후 70dB를 저강도 조건으로 80dB를 고강도 조건으로 하여 연구를 진행하였다. 피검자가 원활한 발성을 할 수 있게 되면, 경부에 전기성문파형검사 전극을 부착하고 Phonatory function analyzer의 마스크에 입을 부착시킨 후 발성을 하여 동시에 두 검사를 시행하였다. 안정된 발성이 2초 이상 지속되면 기류저지 셔터를 눌러 검사를 종료하였고, 각 피검자에게서 한 조건에서 3회를 측정하여 평균값을 분석에 이용하였다.



Fig. 1. Pitch pipe.

4) 통 계

각 피검자에서 3회 이상 반복 측정하여 나온 개인별 평균값을 이용하였다. 이 때 전기성문파형 검사와 공기역학적 검사에서 나온 기본주파수와 음강도를 서로 비교하여 너무 큰 차이가 나는 것은 측정값으로 택하지 않았다. 기본주파수의 분석에는 전기성문파형 검사에서 측정된 값을 이용하였다. 통계학적 검증은 SPSS 중 반복측정 이원분산분석을 이용하여 실험조건의 유의성을 입증하였고, 각 군의 비교는 independent t-test를 이용하여 각 결과의 평균, 표준편차를 구하였고 유의 수준은 95%로 하였다.

결 과

1. 공기역학적 검사

1) 강 도

남자군의 경우 평균 변화량은 일반인 군은 9.80dB, 성악인 군은 9.37dB로 실험조건에 맞는 강도 변화가 이루어졌다. 여자의 경우에도 일반인 군과 성악인 군의 평균 변화량은 각각 10.70dB, 9.84dB가 되어 모두 실험조건에 맞는 강도 변화가 이루어졌으며, 각 군간 동일 강도 내에서 통계적인 차이는 없었다(Table 1).

2) 평균호기류율

모든 실험군에서 고강도 조건에서 평균적으로 증가하였으나 통계적인 유의성은 없었다(Table 1).

3) 성문하압

저강도 조건에서 고강도 조건으로 변화 시 모든 군에서

통계적으로 유의하게 증가하였으나($p<.05$) 같은 조건 하에서는 일반인 군과 성악인 군 사이에 통계적인 차이는 없었다(Table 1).

4) 최대발성지속시간

최대발성지속시간은 성악인 군에서 일반인 군에 비해 모두 통계적으로 유의하게 증가되어 있었다(Table 1).

2. 음향학 및 전기성문파형검사

1) 음도, 기본주파수

남자의 경우 저강도 조건에서 일반인 군은 191.11 ± 3.16 Hz, 성악인 군은 193.11 ± 2.52 Hz 였으며, 고강도 조건에서 일반인 군은 193.99 ± 2.69 Hz, 성악인 군은 193.80 ± 2.44 Hz로 각 비교군 간, 또한 강도 변화 간 통계적으로 차이가 없었다. 여자군의 경우 저강도 조건에서 일반인 군은 389.61 ± 5.23 Hz, 성악인 군은 389.62 ± 6.80 Hz 였으며, 고강도 조건에서 일반인 군은 385.83 ± 11.94 Hz, 성악인 군은 389.47 ± 4.81 Hz 였다. 이 결과를 ‘반복측정 이원분산분석 법’을 이용하여 성별 및 성악 여부를 변수로 하여 강도조건 하에서 통계 분석한 결과 서로 차이가 없었다. 즉, 음도는 실험조건에 맞게 강도 변화에도 불구하고 일정하게 유지되었다.

2) 성문폐쇄율

남자의 경우 같은 군 내에서는 고강도 조건에서 통계적으로 의미있게 성문폐쇄율이 증가하였으며($p<.05$) 일반인 군과 성악인 군을 비교할 때, 저강도 조건에서는 두 군 간에 통계적으로 차이가 없었으나 고강도 조건에서는 성악인 군의 성문폐쇄율 증가가 통계적으로 유의하였다($p<.05$).

Table 1. The values of phonatory function analyzer parameters according to the changes of phonatory condition

		Intensity (dB)		MFR (ml/sec)		Psub (mmH ₂ O)		MPT (sec)
		LI	HI	LI	HI	LI	HI*	
M	NS	70.2±1.3	80.0±1.3	166.6±48.8	240.1±54.0	63.0±10.9	102.4±18.5	21.6± 2.1
	S	72.9±2.6	82.2±2.3	175.9±47.8	267.5±83.1	59.2±26.8	113.6±48.7	33.2±10.4*
F	NS	67.6±3.0	78.3±3.1	141.4±23.8	172.9±49.6	74.0±31.7	104.7±38.9	15.7± 2.6
	S	68.9±3.3	78.7±2.8	170.8±52.4	224.2±66.1	71.4±22.7	112.5±41.0	25.9± 6.3*

M : Male, F : Female, NS : Non singers, S : Singers, MFR : Mean Flow Rate, Psub : Subglottic pressure, MPT : Maximal phonation time, LI : Low intensity, HI : High intensity, * : $p<.05$

Table 2. The values of acoustic parameters according to the changes of phonatory condition

		Closed quotient (%)		Jitter (%)		Shimmer (%)	
		LI	HI	LI	HI	LI	HI*
M	NS	47.0±7.4	51.3± 3.7*	.33±.15	.33±.13	11.10±5.98	5.46±3.39*
	S	48.2±4.0	55.5± 6.1*	.47±.49	.62±.43	8.45±4.37	5.09±2.95*
F	NS	39.7±6.6	44.3± 9.7	.51±.21	.43±.20	9.84±4.48	5.35±2.89*
	S	44.7±9.2	42.0±11.7	.46±.27	.32±.12	9.33±5.13	5.57±3.69*

M : Male, F : Female, NS : Non singers, S : Singers, LI : Low intensity, HI : High intensity, * : $p<.05$

여자의 결과를 보면, 저강도 조건과 고강도 조건 사이에 통계적 차이가 없었으며 남자 군과는 달리 오히려 고강도 조건에서 성악인 군의 성문폐쇄율이 감소하였다(Table 2).

3) Jitter/Shimmer

Jitter는 강도 변화에 따라서 변화가 없었으나 shimmer는 고강도 조건에서 모든 군에서 감소하였다(Table 2).

고 찰

이번 연구에서 사용한 /G/음은 일반적으로 사람들이 가장 편하게 발성할 수 있는 음으로 실제로 많은 가곡에서 가장 많이 나오는 음 중에 하나라고 한다. 결과에서 보듯이 일반인과 성악인 군 모두에서 강도 변화와 상관 없이 남자는 /G3/음(196Hz)을 여자는 /G4/음(392Hz)을 비교적 정확하게 발성하였다. 발성의 크기는 저강도는 70dB, 고강도는 80dB부근으로 정하였는데 이는 기존의 연구에서 보면 이번 연구에 사용한 Phonatory function analyzer를 이용하여 측정된 한국인의 편안한 발성 크기가 남녀 모두 70dB이었고 큰 발성은 80dB이상이 가능하였으며, 음의 강도 변화폭은 성악인과 일반인 사이에 큰 차이가 없었기 때문이다.⁵⁾ 목표음도의 허용기준은 남자군은 $196 \pm 10\text{Hz}$, 여자군은 $392 \pm 10\text{Hz}$ 로 했으며, 목표강도의 허용기준은 저강도 조건은 $70 \pm 5\text{dB}$, 고강도 조건은 $80 \pm 5\text{dB}$ 로 정하여 먼저 고강도 환경에서 검사를 진행한 후 고강도 평균 소리 크기에서 10dB이 작은 소리를 목표 수치로 정하여 연습한 후에 저강도 검사를 시행하였다. 이러한 기준은 Gelfer⁶⁾의 연구에서 한 조건 내에서 목표음의 변동 허용 기준을 $\pm 1\text{semitone}$ (반음), $\pm 5\text{dB}$ 로 정한 것을 참고로 하였으며 남녀군 모두에서 실험조건을 만족하였다.

평균호기류율과 성문하압은 남녀 모두 일반인 군과 성악인 군 두 군 간에 통계적인 차이는 없었다. 하지만, 평균호기류율의 경우 성악인이 일반인에 비해 같은 강도에서 평균적으로 증가된 검사치를 나타냈으며 저강도 조건에서 고강도 조건으로 변화량 또한 더 컸다. 성문하압은 성악인 군에서 저강도 조건에서는 일반인 군에 비해 평균적으로 작으나 고강도 조건에서는 오히려 더 많이 증가하였다. 일반적으로 서양음악을 전공한 성악인은 호흡 및 공명 방법에 대해 훈련을 받게 되고 원활한 호흡조절에 의해 성문하압을 다양하게 변화시켜가며 강도 및 음도를 조절하는 것으로 되어 있고,⁷⁾ 그 능력 또한 일반인보다 뛰어나다고 한다.⁸⁾ 성문하압은 음성 조절의 첫 번째 중요한 인자로서 발성의 크기(강도)는 성문하압에 의해 주로 조절된다. 즉 성

문하압이 높을수록 소리의 강도도 증가하고 기본 주파수도 증가한다. 그러나 성문하압은 성문의 내전력, 기본 주파수, 음형대주파수에 의해서도 영향을 받게 된다.⁹⁾ 성악인에서 폐압과 음압, 강도 사이의 연관성을 연구한 결과에 의하면 성악인은 같은 폐압에서도 호기류율을 일반인 보다 3~4배 이상 변화시킬 수 있으며 이것으로 음의 크기를 10~12dB 정도 증가시킬 수 있다고 한다.²⁾ 본 연구 결과에서도 저강도 조건에서는 일반인 군이 성문하압은 더 높으나 평균 호기류율은 상대적으로 적은 반면 고강도 조건에서는 성악인 군에서 성문하압 및 평균호기류율의 상승폭이 더 커 기존의 연구 결과를 뒷받침 하고 있는 것을 알 수 있다.

그러나 이번 연구에서는 예상과는 달리 성악인과 일반인의 평균호기류율과 성문하압에 통계적의의가 없는 것으로 나왔다. 아마도 그 이유는 첫째, 강도의 변화가 10dB로 성악인의 우월한 호흡조절 능력을 드러낼 만큼 크지 않았고, 기준 강도가 비교적 편안한 크기였으며, 둘째, 피검자가 된 몇몇 성악가들의 경력이 짧아 일반인과 비슷한 수준의 발성을 했기 때문이라 생각된다. 하지만 이외에도 성악가들의 특수한 발성법에서 그 원인을 찾을 수도 있을 것으로 생각된다. 앞서도 언급 했지만, 발성의 강도는 성문하압 외에도 성대내전, 기본주파수, 음형대주파수에 의해서도 영향을 받는 것으로 되어있다.⁹⁾ 이 가운데 성대내전에 의한 성대 접촉의 정도가 중요한데 접촉의 정도에 따라서 호기의 흐름이 조절되기 때문이다. 즉 성악인들은 일반인들이 주로 사용하는 'pressed phonation' 과는 달리 'flow phonation' 구사하여 성문의 폐쇄기를 길게 함으로써(성문폐쇄율의 증가) 성문하압을 증가시키고 음압을 크게 하는 것으로 생각된다.¹⁰⁾ 실제로 본 연구 결과를 보더라도 남자 성악인의 고강도 조건 하의 성문폐쇄율이 일반인에 비해 통계적으로 유의하게 증가한 것을 알 수 있다. 즉, 음의 강도 변화에는 성문하압의 변화 뿐 아니라 성문의 내전을 통한 성대 접촉과 같은 다른 요소가 복합적으로 작용하며, 성악인의 경우 공기역학적으로 큰 변화가 없이도 성대 접촉을 증가 시킴으로써 좀 더 효율적인 발성을 한다고 추론할 수가 있다.

이외에도 성문폐쇄율에 영향을 미치는 요소는 여러 가지가 있는데, 그 중 가장 중요한 것은 발성 강도로, 발성 강도와 성문폐쇄율 사이에는 양의 상관관계가 있는 것으로 되어있다. 즉, 강도의 크기에 따라 성대의 진동주기의 비율에 차이가 발생하는데, 강도가 낮은 음일 때는 폐쇄기에 비해 개방기가 상대적으로 길며 강도가 증가할수록 폐쇄기의 비율이 커져 성문폐쇄율은 커지게 된다.¹¹⁾¹²⁾ 또한 음도(주파수)의 증가도 성문폐쇄율을 증가시키나 음도의 변화가 미치는 영향은 강도 변화에 비해 크지 않은 것으로 되어 있

다.¹³⁾ 결과에서도 남성 성악인의 경우 강도 증가 시 모두 성문폐쇄율이 증가하였다. 그러나, 여성 성악인의 경우 성문폐쇄율의 변화는 다양하며 많은 피검자에서 고강도 조건에서 오히려 성문폐쇄율이 감소하기도 하였다. 이와 같은 남녀간의 차이는 왜 발생하였을까? Howard 등의¹⁴⁾¹⁵⁾ 연구에 의하면 피검자들의 음성 전공/훈련 기간과 성문폐쇄율 사이에는 특수한 함수적 관계가 있는 것으로 되어있다. 즉, 남성 성악인의 경우 기본주파수에 상관없이 성악 훈련의 기간이 증가 할수록 성문폐쇄율이 증가하는 양의 상관관계가 있으나, 여성 성악인의 경우에는 일반적으로 낮은 음도에서는 양의 상관관계를, 높은 음도에서는 음의 상관관계를 나타내는 것으로 되어있다. 하지만 이 또한 훈련의 기간이 길어 지면 음도에 상관 없이 모두 양의 상관관계를 나타낸다고 하였다.

이처럼 여성의 경우 일정한 음도를 경계로 성문폐쇄율이 변하게 되는데 Howard는 이 경계음역이 약 400Hz에 해당한다고 하였다. 여성의 이런 특이한 현상은 아마도 성구(vocal register)와 관계가 있을 것으로 생각된다. 성구의 정의는 다양한데 일반적으로 음이 점차로 변화에 따라 같은 기전 하에서 낼 수 있는 연속된 음렬을 말한다. 따라서 한 성구에서 다른 성구로 바뀔 때는 현저한 이행음이 나타나게 되는데 이 부위를 '성구변환'(voice transition, 혹은 register break points)이라고 한다.¹⁶⁾ 여자의 경우 흉성에서 두성으로의 성구 변화는 약 400Hz부위에서 나타나게 되며 이 음을 경계로 어떤 성구로 발성을 하느냐에 따라서 성문폐쇄율의 값은 많은 변화를 가지게 된다.¹⁵⁾ 즉, 여성에서 기준음으로 사용한 /G4/음의 주파수가 392Hz로서 바로 이 이행대에 속하게 되어 피검자 마다 매우 다양한 성문폐쇄율 값이 나왔던 이유로 생각된다. 따라서 좀 더 높은 음을 기준음으로 사용하고 경력이 풍부한 여성 성악가를 대상으로 했다면 남성 성악가의 결과와 동일하게 강도 증가 시 성문폐쇄율이 증가하는 결과를 얻을 수 있었을 것으로 생각된다.

발성의 안정성을 나타내는 지표인 jitter, shimmer를 보면 shimmer만이 고강도 조건에서 모든 군에서 통계적으로 유의하게 감소되었다. 강도가 발성의 안정에 영향을 미치는 원인은 성대 진동 주기의 변화와 관계가 있는 것으로 생각된다. 앞서도 언급했지만, 강도가 작을수록 진동주중 폐쇄기보다 개방기가 증가하게 되며, 개방기는 폐쇄기보다 성문하압이나 와류, 성대근육의 긴장에 의한 떨림이 많으므로 섭동이 커지게 되는 것이다. 따라서 성문폐쇄율과 jitter 및 shimmer 사이에는 음의 상관관계가 있으리라 추측되는데 이는 앞으로의 연구에서 다루어져야

할 좋은 주제로 생각된다.

결 론

성악인은 일반인에 비해 효율적인 발성을 하며 이는 공기역학적으로 호기류율과 성문하압을 증가시킬 뿐 아니라 적절한 수준으로 성문의 접촉을 증가시키기 때문으로 생각된다. 앞으로 성구변환을 고려하여 다양한 음도에서 강도 변화에 따른 연구가 필요하며, 강도 고정 후 음도 변화에 따른 공기역학적검사 및 전기성문파형검사도 성악인의 발성을 이해하는데 많은 도움을 주리라 생각된다.

중심 단어 : 발성 훈련 · 음성 음향학.

REFERENCES

- 1) Chung SM. Vocal efficiency measures in classically trained singers. *J Korean Logo Phon* 1998;9:43-6.
- 2) Titze I, Sundberg J. Vocal intensity in speakers and singers. *J Acoust Soc Am* 1992;91:2936-46.
- 3) Chung SM. Aerodynamic study in Korean western classical singer. *J Korean Logo Phon* 1998;9:109-13.
- 4) Son YI, Yun YS, Kwon JK, Chu KC. The effect of frequency and intensity of /a/ phonation on the result of acoustic analysis. *J Korean Soc Logo Phon* 1997;8:12-7.
- 5) Moon YI. Aerodynamic test in phonation using the airway interruption method - a study of Korean normative data. *Korean J Otolaryngol* 1996;39:1087-92.
- 6) Gelfer MP. Fundamental frequency, intensity and vowel selection: Effect on measures of phonatory stability. *J Speech Hearing Research* 1995;38:1189-98.
- 7) Sundberg J, Jwarsson J, Holm Billstrom AM. Significance of mechanoreceptors in the subglottic mucosa for subglottal pressure control in singers. *J Voice* 1995;9:20-6.
- 8) Nam DH, Anh CM, Choi HS. Maximal inspiratory pressure, maximal expiratory pressure and maximum phonation time in singers, untrained normal person and patients with vocal cord disease. *J Korean Soc Logo Phon* 2002;13:117-23.
- 9) Gramming P, Sundberg J. Spectrum factors relevant to phonetogram measurement. *J Acoust Soc Am* 1988;83:2352-60.
- 10) Sundberg J, Titze I, Scherer R. Phonatory control in male singing: A study of the effects of subglottal pressure, fundamental frequency and mode of phonation on the voice source. *J Voice* 1993;7:15-22.
- 11) Glaze L, Bless D, Susser R. Acoustic analysis of vowel and loudness difference in childrens voice. *J Voice* 1990;4:37-44.
- 12) Orlikoff Rf, Kahane JC. Influence of mean sound pressure level of jitter and shimmer measures. *J Voice* 1991;5 (2):113-9.
- 13) Choi HS, Cho JI, Kim KM, Park SS. Electroglottographic analysis of voice in normal adults. *Korean J Otolaryngol* 1994;37:1017-25.
- 14) Howard DM, Lindsey GA, Allen B. Towards the quantification of vocal efficiency. *J Voice* 1990;4:205-12.
- 15) Howard DM. Variation of electrolyrnogographically derived closes quotient for trained and untrained adult female singers. *J Voice* 1995; 9:163-72.
- 16) Nam DH, Ahn CM, Choi SH, Hong JH, Lee SE, Choi HS. Analysis of voice parameters variation during passaggio of the trained male singers. *Kor J Speech Sciences* 2002;9 (4):15-24.