# 성악인과 일반인 발성의 음향학적 및 공기역학적 특성에 대한 연구

연세대학교 대학원
의학과
안 성 윤

# 성악인과 일반인 발성의 음향학적 및 공기역학적 특성에 대한 연구

지도교수 최 홍 식

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2003년 6월 일

연세대학교 대학원

의학과

안 성 윤

# 안성윤의 석사학위논문을 인준함

심사위원_____인

심사위원_____인

심사위원_____인

연세대학교 대학원

2003년 6월 일

# 감사의 글

다른 사람들보다 늦었지만 이제나마 논문을 마칠 수 있다는 사실 하나만으로도 가슴이 뿌듯해짐을 느낍니다. 본 연구를 무사히 끝낼 수 있게 물심양면으로 지도편달을 아끼지 않으셨던 최홍식 교수님, 김영호 교수님, 이혜연 교수님께 깊은 감사를 드리며, 바쁜 와중에도 많은 도움을 주신 김한수 교수님, 통계를 도와준 음성언어의학 연구소의 이성은 연구원님께 이 지면을 빌어 감사의 말을 전하고 싶습니다. 아직도 감사드릴 분들이 많이 남아있습니다. 감사의 글인 만큼 고마운 사람들 모두에게 감사함을 표현해야 하나, 지면을 핑계로 미처 다 적지 못하고 마음으로 대신 하려함을 송구스럽게 생각합니다.

이 논문은 저 혼자만의 노력으로 완성된 것이 절대 아님을 알고, 앞으로도 부족한 면을 여러 선생님들의 도움에 의지해 더 열심히 공부할 것을 스스로에게 다짐해 봅니다.

마지막으로 논문 완성 후에 누릴 수 있는 모든 기쁨을 이제까지 수고해주신 모든 여러분들과 저를 위해 모든 지원을 아끼지 않으신 부모님, 장인장모님, 그리고 사랑하는 저의 아내 지영, 두 아이 세환 세윤과 함께 하고 싶습니다.

2003년
4월
안 성 윤

# 차례

# 그림 차례

# 표 차례

**국문요약**

성악인과 일반인 발성의 음향학적 및
공기역학적 특성에 대한 연구

**연구 배경** : 최근 들어 음성언어 진단 기기가 발달 함에 따라 가수, 성악인과 같이 음성 전문인을 대상으로 많은 연구가 진행되어 왔다. 하지만 성악인과 정상인에게 동시에 음성역학적검사를 시행하여 그 차이를 비교해 보려는 연구는 많이 진행되지 않은 상태이다. 객관적인 음성역학적 검사 중 최근에 대두되고 있는 음성효율도와 전기성문파형검사를 이용하여 노래를 전공으로 하는 성악인과 일반인들의 결과를 분석하여 각 집단의 특성을 알아보고 발성 특징을 비교해 보았다. **연구 방법 :** 성악인과 일반인 남녀 각 10명에게 Nagashima phonatory function analyzer를 이용하여 기본주파수, 음강도, 평균호기류율, 성문하압을 구하였고 , Lx speech studio로 성대접촉율, jitter, shimmer를 분석하였다. 가곡 "그네"(김말봉시, 금수현곡)의 첫 부분인 "세모시 옥색치마 금박물린 저댕-기가"에 해당부분을 모음/아/로 바꾸어 부르면서, 첫 음인 /세/(D)와 이보다 한 옥타브 위의 음인 /저/(D)에서 상기 두 검사를 진행하여 음성효율도와 성대접촉율을 산출하였다. 각 피검자에게서 한 조건에서 3회를 측정하여 평균값을 분석에 이용하였다. 통계학적 검증은 SPSS(Statistical Package for the Social Science)중 independent t-test를 이용하여 각 결과의 평균, 표준편차를 비교하였고 유의 수준은 95%로 하였다. **결과:** 남자 성악인의 경우 일반인 군에 비해 고음에서 음의 강도($p < .001$), 성대접촉율($p = .025$)이 통계적으로 유의하게 증가 하였으며, 이의 영향으로 음성효율도도 크게 증가하였다($p < .001$). 반면 여자의 경우 두 군 사이에 큰 차이가 없었다. **결론:** 남자의 경우 성악인은 일반인에 비해 효율적인 발성을 하며 이는 공기역학적으로 호기류율과 성문하압을 증가시킬 뿐 아니라 적절한 수준으로 성문의 접촉을 증가시키기 때문으로 생각되며 여자의 경우 다양한 결과는 아마도 성구 변환 및 여성의 특이한 발성 때문으로 생각된다.

---

**핵심 되는 말** : 성악인, 전기성문파형검사, 공기역학적검사, 음도, 강도, 평균호기류율, 성문하압, 성문폐쇄율

성악인과 일반인 발성의 음향학적 및
공기역학적 특성에 대한 연구

<지도교수 **최홍식**>

연세대학교 대학원 의학과

**안 성 윤**

# I. 서론

발성의 과정을 물리학적으로 설명하면, 성대의 내전에 의해서 폐쇄된 성문에 폐에서 발생한 호기가 도달하면 성문하압(subglottic pressure)과 성대의 탄력 및 베르누이 효과(Bernoulli effect)가 서로 작용하여 성문은 수동적으로 개폐운동을 시작하게 되며 그 결과로 호기류는 단속되어 소밀파(refraction and compression)인 후두원음(glottal sound)이 생성된다[1]. 이 후두원음이 성도(vocal tract)를 지나면서 여러 가지 주파수의 모임으로 변형이 되는 공명(resonance)이 일어나고, 혀와 입술의 운동으로 최종적으로 조음(articulation)이 이루어져 우리가 귀로 듣는 음성이 된다.[2]

발성장애의 진단 및 평가를 하는데 있어서 호기가 얼마나 효율적으로 음성의 음원생성에 이용되고 있는지를 아는 것은 매우 중요한 일이다. 발성시의 호기사용의 효율을 가장 잘 나타낸 것은 Van den Berg[3]가 1956년에 처음으로 정의한 음성효율(vocal efficiency 혹은 glottal efficiency)이다. 이 정의에 의하면 성문에 있어서의 효율은 생성된 목소리의 힘과 성문하 호기의 힘의 비로 나타난다. 성문하의 힘은 성문하압과 호기류율의 합으로 표현되는데, Carroll은[4] 공기효율은 실제로 다

음과 같은 수식으로 계산이 가능하다고 했다.

Vocal efficiency (VE)

$$= \frac{\text{Acoustic power, watts}}{\text{Aerodynamic power, watts}} = \frac{4 \times 3.14 \times R^2 \times \text{Sound intensity}}{\text{airflow rate} \times \text{subglottic pressure}}$$

(R은 측정시의 반지름, 통상 0.3m에 해당함)

따라서 음성효율을 알기 위해서는 소리의 강도, 성문하압, 호기류율을 동시에 측정할 필요가 있다. 가장 직접적이면서 신뢰성이 높은 측정법은 기관내 천자법이다. 하지만 이 방법은 침습적이고 환자에게 많은 부담을 주게 된다. 또 성문을 통하여 소형의 압력 변환기를 삽입하는 방법이 있으나 자연스러운 발성을 기대하기가 어렵고 기기의 사용도 용이하지 않다[5]. 반면에 기류저지법(Airway interruption test)은 기관내 천자 법처럼 성문하압을 직접적으로 기록하는 것은 아니고 지속 발성중의 어떤 짧은 시점의 호기압을 측정하는 것이다. 폐로부터 나온 호기는 하기도의 기류저항을 거쳐 성문하에 도달하게 되므로 기류저지법에 의해 측정되는 호기압이 성문하압과 완전히 일치하지는 않는다. 그러나 Bonhuys 등의[6]. 보고에 의하면 정상인의 경우 폐포부터 성문하까지의 저항은 무시하여도 좋을 만큼 작은 양이므로 하기도의 기류저항에 변화가 없는 한 폐에서 방출되는 호기압으로 성문하압을 대치하여 사용 가능하다고 하였다. 기류저지법은 직접적인 방법은 아니나 비침습적이며 동시에 여러 검사를 간단히 시행할 수 있는 간편한 검사법으로 현재 많은 기관에서 사용되고 있다. 공기역학적검사에 널리 사용되는 Phonatory function analyzer (Nagashima Ltd., Model PS 77H, Tokyo, Japan)는 기류저지법을 이용한 간접적인 검사방법으로 발성시의 성문하압(subglottic pressure, $mmH_2O$)과 평균호기류율(Mean flow rate, MFR, ml/sec), 음압(Sound

pressure, dB) 및 기본주파수(Fundamental frequency, Hz)를 동시에 측정할 수 있는 장점을 가지고 있다(Fig 1).

Fig. 1. Phonatory function analyzer

음성을 만드는데 가장 중요한 요소 두 가지는 소리의 에너지원이라 할 수 있는 **호흡**이고 다른 하나는 **성대 접촉**에 의한 **성대의 진동**이다. 따라서 발성에 관한 연구를 하기 위해서는 위에서 언급한 성문하압, 호기류등을 알 수 있는 공기역학적검사 장치 외에도 성대의 접촉 및 진동 양상을 볼 수 있는 성문파형검사 장치가 필수적이다. 발성 시 성대의 진동 및 접촉 양상을 관찰하는 방법으로는 초고속영화촬영(ultra speed cinematography), 후두스트로스코피(Laryngeal stroboscopy), 전기성문파형검사(Electroglottography)등이 있다[7,8,9]. 이 중 전기성문파형검사는 갑상연골 양측 피부에 부착시킨 전극을 통해 전기의 저항(impedance)을 측정하는 것으로써, 성대가 열려있을 때에는 전기가 통하지 않아 저항이 커지고, 성대가 닫히면 저항이 작아지는 원리를 이용하여 특정한 그래프(성문파형)를 얻어 이것을 통해 성대의 접촉 및 진동양상을 보는 방법이다[10]. 전기성문파형은

원리에서도 알 수 있는 것처럼, 성대진동의 폐쇄기의 상태를 특징적으로 반영하게 되며 결국 성대접촉 면적의 변환을 나타낸다고 할 수 있다 [9]. 이 때 얻어지는 정보 중 가장 일반적인 것이 검사자가 주관적으로 파형의 모습을 보는 것이고, 보다 객관적인 정보를 얻기 위해서 진동 파형의 각 부위에서 시간별, 진폭별 변화를 계수화 시키는 방법이 사용되었다 [11]. 전기성문파형 검사에서 일반적으로 사용되는 수치로는 성문폐쇄율(closed quotient, CQ, Qx), 성대접촉속도율(speed quotient, SQ), jitter, shimmer, HNR(Harmonic-Noise Ratio)등이 있다. 본 실험에서 사용할 Lx Speech Studio(Laryngograph Ltd., London, UK)는 2000 년 영국에서 개발된 제품으로 window 환경에서 작동하는 소프트웨어와 기존의 전기성문파형검사기를 결합한 기기로 일정하게 발성이 이루어진 특정 구간을 분석하여, 위에서 언급한 객관적인 수치들을 비교적 쉽게 산출해 낸다(Fig. 2).

Fig. 2. Lx Speech Studio

이와 같이 음성검사를 위한 기기들이 발전함에 따라 성대결절, 성대폴립과 같은 병변이 있는 경우나 암으로 인해 수술을 받은 사람들의 수술 후 변화를[12] 보거나 정상인 [5] 혹은 음성을 전문으로 사용하는 가수나 성악인을[13] 대상으로 하는 많은 연구가 이루어져 왔다. 성악인과 일반인에게 동시에 음성검사를 시행하여 그 차이를 비교하려는 연구가 시도 되었는데, 국내의 경우, 정(1998)이 [14] 기류저지법을 이용하여 성악인과 일반 정상인을 비교하여 성악인의 음의 높이와 음의 강도는 통계적으로 의미 있게 정상인에 비해 증가되어 있었고, 호기류율과 호기압도 통계적인 의의는 없었지만 평균적으로 정상인들의 검사치에 비해 증가된 소견을 보였다고 보고하였다.

하지만 대부분의 연구가 성악인과 일반인을 비교함에 있어서, 공기역학적 검사나 전기성문파형검사 중 하나만을 주로 사용하였고 검사 조건도 평서문 형태의 모음 위주로 되어있어 실제 노래를 부르는 환경에서 성악인의 발성이 일반인과 비교해 어떻게 다른지에 대한 연구는 미흡한 상태이다. 그래서 본 연구에서는 객관적인 음성역학적 검사 중 최근에 대두 되고 있는 음성효율도와 전기성문파형검사를 이용하여 전문적인 성악인과 일반 정상인의 결과를 분석하여 각 집단의 특성을 알아보고 발성의 특징을 이해함으로써 음악 교육 및 발성 치료와 같은 임상에 적극적으로 적용하는 계기로 삼고자 한다.

# II. 대상 및 방법

## 1. 연구대상

성악인 군은 서양음악을 전공으로 하는 10 대에서 30 대 사이의 남/여 성악인 각 10 명씩을 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 10 명으로 성악인 군과 비슷한 연령대로 구성하였다.

## 2. 연구방법

### 가. 전기성문파형검사 (Electroglottography)

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 200ms 를 분석구간으로 지정한 후, Voice Profile Analysis 를 하여 기본주파수(Fx), 성문폐쇄율(Qx), Jitter, Shimmer 을 측정하였다(Fig. 3).

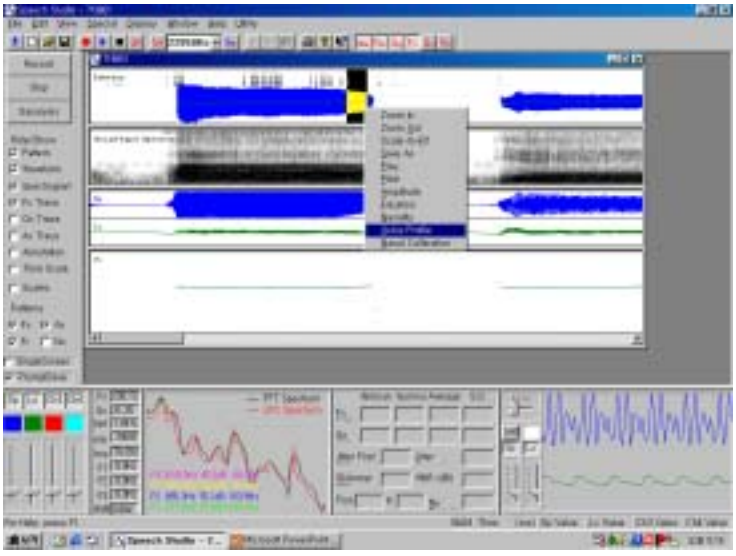

**Fig. 3. Lx Speech Studio 를 이용한 음성분석검사.** SPEAD 는 4 개의 채널에서 Speech pattern element display, speech spectogram, fundamental frequency contours, Lx contact quotient contours 의 analoque waveform 을 실시간으로 나타낼 수 있다.

## 나. 공기역학적 검사

Phonatory function analyzer(Nagashima Ltd.. Model PS 77H, Tokyo, Japan)를 이용하였다. 호흡이 새어나가지 않도록 마스크를 사용하였으며 가곡 "그네"(김말봉시, 금수현곡)의 첫 소절인 "세모시 옥색치마 금박물린 저댕-기가"에 해당하는 부분을 모음/아/로 바꾸어 부르게 하였다(Fig 4).

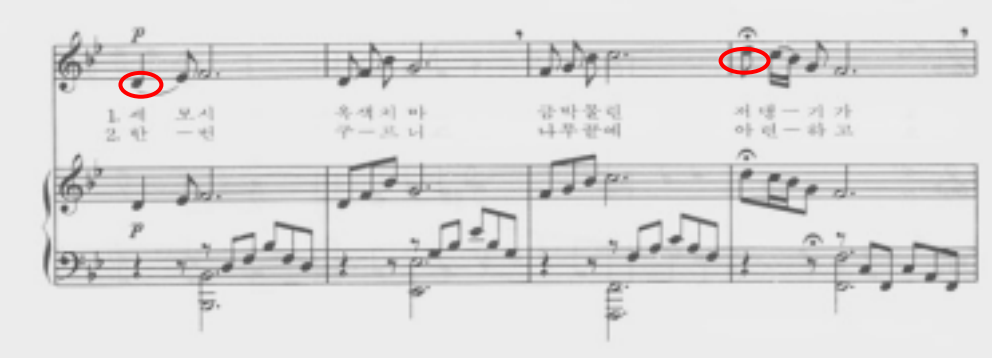


Fig. 4 “그네”(김말봉 시, 금수현 곡) 의 첫 소절

이 중 첫 음인 /세/와 이보다 한 옥타브 위의 음인 /저/에서 길게 끌도록 한 후 기류 저지 셔터를 눌러 기본주파수(fundamental frequnecy), 성문하압(subglottic pressure), 평균호기류율(mean flow rate), 음의 강도(intensity)를 측정하였다(Fig. 5).

최대발성지속시간(maximal phonation time, MPT) 은 초시계를 이용하여 편안한 자세에서 충분히 흡기한 후 편안한 발성으로 “아’ 모음을 가능한 길게 지속하게 하여 이를 3 회 측정한 후 가장 큰 값을 채택하였다.

Fig. 5. 기류저지검사법

## 다. 통계

각 피검자에서 3 회 이상 반복 측정하여 나온 개인별 평균값을 이용하였다. 기본주파수의 분석에는 전기성문파형 검사에서 측정된 값을 이용하였다. 통계학적 검증은 SPSS(Statistical Package for the Social Science)중 independent t-test 를 이용하여 각 결과의 평균, 표준편차를 비교하였고 유의 수준은 95%로 하였다.

# III. 결과

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

## 1. 공기역학적 검사

### 가. 음도 (기본주파수, Fundamental frequency)

phonatory function analyzer 에서 측정되는 음도는 정수로 표시되며 지속발성 중 기류저지를 시행한 때의 변화기 출력의 간접적인 아날로그 기록이다. 따라서 이 번 연구에서는 좀더 정확한 전기성문파형검사인 Lx Speech Studio 에서 측정되는 음도를 분석에 이용하였으나, 두 검사 기기에서 측정된 음도 사이에는 차이가 없었다(Table 1).

Table 1. 공기역학적검사 및 전기성문파형검사에서 측정된 음도의 비교(/세/음)[1]

| | | Fundamental frequency | |
|---|---|---|---|
| | | Phonatory Function Analyzer | Lx Speech studio* |
| Male | NS | 123.53± 6.12 | 124.71± 6.18 |
| | S | 136.83±14.93 | 138.17±16.38 |
| Female | NS | 248.53±24.83 | 257.10±41.68 |
| | S | 285.70±18.94 | 286.84±19.35 |

1.단위는 Hz 이고 값은 평균±표준오차로 나타냄.

2.* : 두 검사기기에서 측정된 수치 간의 비교, $p > .05$

즉 통계적으로 차이가 없으며 Lx Speech Studio 의 검사 값을 대표값으로 사용해도 됨을 알 수 있다.

N-S: Non singers, S: Singers.

## 나. 강도 (Intensity, dB)

강도 변화를 보면 고음 발성 시 성악인의 강도 증가가 의미있게 일반인에 비해 컸으며, 저강도 조건에서 고강도 조건으로의 변화량을 볼 때, 남자의 경우 일반인은 2.9dB, 성악인은 10.56dB 으로 성악인에서 그 증가량이 통계적으로 유의하였으나($p < .001$), 여자의 경우에는 의미가 없었다.(Table 2).

Table 2. 발성음에 따른 강도의 변화[1]

| | | Intensity | |
|---|---|---|---|
| | | /세/ | /저/ |
| Male | NS | 75.00±2.78 | 77.90±4.43 |
| | S | 74.36±2.78 | 84.93±3.03*† |
| Female | NS | 68.86±2.50 | 75.66±4.03 |
| | S | 71.00±3.63 | 79.66±3.80‡ |

1.단위는 dB 이고 그 값은 평균±표준오차로 나타냄.

* : /저/음에서 남자군 내에서의 비교, $P < .001$

†: /세/음과 /저/음 사이의 남자군 내에서의 변화량의 비교, $p < .001$

‡: /저/음에서 여자군 내에서의 비교, $P = .035$

N-S: Non singers, S: Singers.

## 다. 평균호기류율 (Mean flow rate)

남자의 경우 /세/음에서 성악인 군이 일반인 군보다 평균호기류율이 작으나 한 옥타브 상승한 /저/음에서는 오히려 더 증가하였으나 통계적 유의성은 없었다. 여자의 경우 성악인 군이 모든 음에서 일반인 군에 비해 평균호기류율이 컸으며, /세/음에서는 통계적으로 유의하였다(Table 3).

Table 3. 발성음에 따른 평균호기류율의 변화[1]

| | | MFR | |
|---|---|---|---|
| | | /세/ | /저/ |
| Male | NS | 225.46±74.15 | 230.60±72.51 |
| | S | 195.80±65.50 | 242.06±94.27 |
| Female | NS | 143.63±30.91 | 186.46±36.85 |
| | S | 177.76±39.89* | 215.16±57.51 |

1.단위는 ml/sec 이고 그 값은 평균±표준오차로 나타냄.

* : /세/음에서 여자군 내에서의 비교, $P$ = .046

MFR: Mean Flow Rate.

N-S: Non singers, S: Singers.

## 라. 성문하압 (Subglottic pressure, Psub)

성문하압을 보면 남자군의 경우 성악인이 일반인에 비해 /세/음에서는 낮았으나 /저/음에선 같은 수준으로 높아졌으며, 여자군의 경우 일반인과 성악인 사이에 큰 차이는 없었다. 같은 음하에서 두 비교군간에 통계적인 유의성은 없었다(Table 4).

Table 4. 발성음에 따른 성문하압의 변화[1]

| | | Psub | |
|---|---|---|---|
| | | /세/ | /저/ |
| Male | NS | 78.10±23.89 | 111.60±31.60 |
| | S | 69.10±24.09 | 111.00±38.73 |
| Female | NS | 75.76±28.96 | 104.43±30.06 |
| | S | 74.36±20.50 | 107.13±28.78 |

1.단위는 $mmH_2O$ 이고 그 값은 평균±표준오차로 나타냄.

Psub: Subglottic pressure.

N-S: Non singers, S: Singers.

## 마. 최대발성지속시간 (Maximal phonation time, sec)

최대발성지속시간은 성악인 군에서 일반인 군에 비해 모두 통계적으로 유의하게 증가되어 있었다(Table 5).

Table 5. 최대발성지속시간[1]

| | | MPT |
|---|---|---|
| Male | NS | 21.59±2.05 |
| | S | 33.27±10.41* |
| Female | NS | 15.71±2.57 |
| | S | 25.90±6.25† |

1.단위는 sec 이고 그 값은 평균±표준오차로 나타냄

* : 남자군내에서의 비교, $p$ = .003

†: 여자군내에서의 비교 $p$ < .001

MPT: Maximal phonation time.

N-S: Non singers, S: Singers.

## 2. 전기성문파형검사

### 가. 음도 (Fundamental Frequency)

정확한 발성을 위해 피치파이프(pitch pipe)로 /D/음을 들려주어 청각적 피드백을 주었으며 전기성문파형 검사에서 나온 기본주파수는 다음과 같다(Table 6). 여자군의 경우 일반인과 성악인 사이에 차이가 없었으나 남자군의 경우 일반인의 발성 음도가 성악인에 비해 통계적으로 의미 있게 낮은 음을 발성 하였다.

Table 6. 발성음에 따른 음도의 변화

| | | Fundamental frequency[1] | |
|---|---|---|---|
| | | /세/ | /저/ |
| Male | NS | 124.71± 6.18 | 246.72±12.45 |
| | S | 138.17±16.38* | 285.01±47.72† |
| Female | NS | 257.10±41.68 | 496.19±50.18 |
| | S | 286.84±19.35 | 533.69±95.19 |

1.단위는 Hz 이고 그 값은 평균±표준오차로 나타냄.

* : 일반인 남자군과 성악인 남자군의 /세/음 발성 시 비교, $P$ = .026

† : 일반인 남자군과 성악인 남자군의 /저/음 발성 시 비교, $P$ = .025

N-S: Non singers, S: Singers.

## 나. 성문폐쇄율 (Closed Quotient, Qx)

남자의 경우 성악인 군이 /세/음에서 /저/음으로 변화 시 성문폐쇄율이 일반인 군에 비해 통계적으로 의미 있게 증가했으나, 여자의 경우 반대로 성악가군에서 /저/음에서 오히려 성문폐쇄율이 감소하였다(Table 7).

Table 7. 발성음에 따른 성문폐쇄율의 변화[1]

| | | Closed Quotient (Qx) | |
|---|---|---|---|
| | | /세/ | /저/ |
| Male | NS | 51.31±4.28 | 50.47 ±5.90 |
| | S | 52.28±6.72 | 56.96 ±5.91* |
| Female | NS | 46.01±6.27 | 39.60 ±5.55 |
| | S | 42.48±9.41 | 33.64 ±6.91† |

1.단위는 %이고 그 값은 평균±표준오차로 나타냄.

* : /저/음에서 성악인 남자군과 일반인 남자군의 비교, $p$ = .025

†: /저/음에서 성악인 여자군과 일반인 여자군의 비교, $p$ = .048

N-S: Non singers, S: Singers.

## 다.Jitter/Shimmer

음성의 안정도를 나타내는 jitter, shimmer 의 값은 다음과 같았다(Table 3). Jitter 는 성악인 군에서 /세/음에서 일반인 군에 비해 통계적으로 의미 있게 증가되었으며, shimmer 는 /저/음에서 의미 있게 감소되었다(Tabel. 8).

Table 8. 발성음에 따른 Jitter 및 shimmer[1]

| | | Jitter | | Shimmer | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | /세/ | /저/ | /세/ | /저/ |
| Male | NS | .314±.12 | .283±.12 | 11.45 ±5.27 | 6.88 ±1.93 |
| | S | .852±.49* | .409±.24 | 9.37 ±6.81 | 3.23 ±2.51* |
| Female | NS | .285±.10 | .796±.57 | 9.13 ±3.83 | 8.17 ±6.47 |
| | S | .581±.40* | .706±.72 | 8.31 ±5.40 | 5.36 ±2.66* |

1.단위는 %이고 그 값은 평균±표준오차로 나타냄.

* : /저/음에서 각 군간의 비교, $p < 0.05$

N-S: Non singers, S: Singers.

## 3.음성효율도(Vocal efficiency)

음성효율도는 공기역학적 검사에서 나온 결과를 이용하여 다음의 수식에 넣어 계산을 하였다. 여자군에서는 성악인과 일반인 사이에 차이가 없었으나, 남자의 경우 성악인의 음성효율도가 일반인에 비해 약 10배 가량 높아졌다.

Vocal efficiency (VE)

$$= \frac{\text{Acoustic power, watts}}{\text{Aerodynamic power, watts}} = \frac{4 \times 3.14 \times R^2 \times \text{Sound intensity}}{\text{airflow rate} \times \text{subglottic pressure}}$$

(R은 측정시의 반지름, 통상 0.3m에 해당함)

Table 9. 발성음에 따른 음성효율도[1]

| | | Vocal efficiency | |
|---|---|---|---|
| | | /세/ | /저/ |
| Male | NS | 2.63±1.17 | 3.96±3.17 |
| | S | 3.05±1.40 | 16.1±4.82* |
| Female | NS | 1.30±1.26 | 6.07±1.26 |
| | S | 1.53±1.10 | 6.41±5.64 |

1.값은 평균±표준오차로 나타내며 각 값에 $10^{-3}$을 곱해야 함.

* : /저/음에서 성악인 남자군과 일반인 남자군의 비교, $p < .001$

N-S: Non singers, S: Singers.

# IV. 고찰

본 연구는 기존에 알려진 유명한 가곡을 부르면서 한 옥타브의 음도 증가에 따른 변화를 비교하고자 하였기에 검사를 수행하기 위해서는 먼저 피검자들로 하여금 검사 대상이 된 가곡과 친숙해져 자신 있게 노래를 부르는 것이 중요하였다. 따라서 검사 전에 기존에 녹음된 노래를 들려 주면서 수 차례 따라 부르게 하여 익숙하도록 하였으며 검사 시에도 피치파이프로 청각적 단서를 제공하였다. 남자의 경우 저음도인 /세/음은 /D4/에 해당하는 144Hz 부근을, 고음도인 /저/음은 /D5/에 해당하는 288Hz 부근을 발성해야 하며 여자의 경우 한 옥타브씩 상승된, /D5/, /D6/(576 Hz)를 발성해야 하나 일반인 군의 경우 목표음보다 상당히 낮은 음을 내었으며, 특히 남자 일반인의 경우 거의 한음이 낮은 /C/음에 해당하는 음을 발성하였다. 이는 아마도 검사 방법 때문으로 생각된다. 기류저지검사를 위해 마스크를 사용하였는데 마스크로 인하여 자신이 발성하는 소리를 제대로 듣지 못하였고 이로 인해 음악적 청음 능력이 떨어지는 일반인의 경우 플랫(flat)현상이 발생한 것으로 생각된다(Fig. 6).

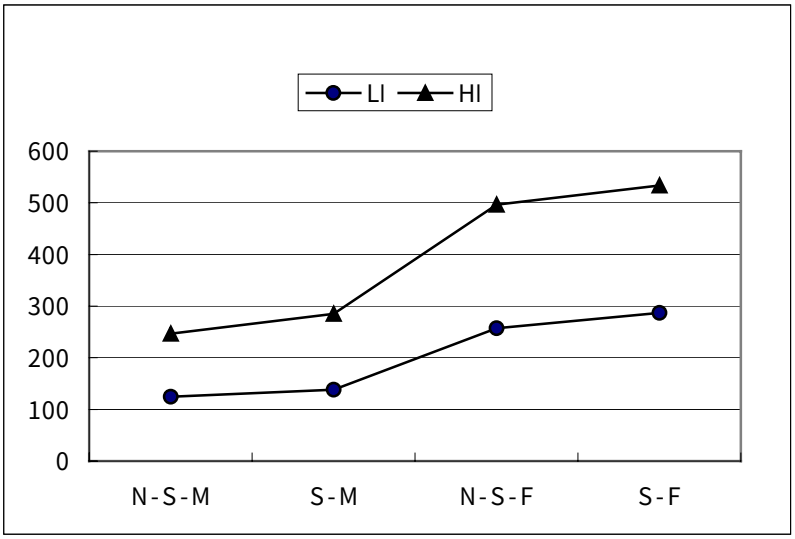


**Fig. 6. 발성음에 따른 음도 변화.** 일반인의 발성음이 성악인의 그것보다 다소 낮으나 비슷한 범위 내에서 발성 된 것을 알 수 있다. 또 남자군의 고음이 여자군의 저음과 같은 범위에 있다. N-S-M: Non singer male, S-M: Singer male, N-S-F: Non singer female, S-F: Singer female, LI: Low tone,/세/, HI: High tone,/저/.

그러나 비록 목표음도를 발성하지는 못 했지만 일반인의 경우 모두 한 옥타브를 증가시키는 조건은 만족하였고(남자:124Hz→246Hz, 여자: 257Hz→496Hz), 손(1997)의[15] 연구에서 한 조건 내에서 목표음의 변동 허용 기준을 ± 2 semitone(반음), ±5dB 이내로 정한 것을 고려할 때 일반인과 성악인의 결과를 비교하는 것은 큰 무리가 없을 것으로 생각된다.

성문하압을 보면 남자군의 경우 성악인이 일반인에 비해 /세/음에서는 낮았으나 /저/음에선 더 많이 증가하여 같은 수준으로 높아졌으며, 여자군의 경우 일반인과 성악인 사이에 큰 차이는 없었다.

평균호기류율은 남자의 경우 /세/음에서 성악인 군이 일반인 군보다 평균호기류율이 작으나 한 옥타브 상승한 /저/음에서는 오히려 더 증가하였으나 통계적 유의성은 없었다. 여자의 경우 성악인 군이 모든 음에서 일반인 군에 비해 평균호기류율이 컸으며, /세/음에서는 통계적으로 유의하였다($P$ = .046).

강도 변화도 비슷한데, 일반인 남자의 경우 /세/음에서 75.00±2.78dB, /저/음에서 77.90±4.43dB로 평균 증가량은 2.90±3.12dB 이였으며, 성악인 남자는 /세/음에서 74.36±2.78dB, /저/음에서84.93±3.03dB로 평균 증가량은 10.56±2.61dB로 통계적으로 유의하게 성악인 군에서의 변화량이 컸다($p$ < .001). 여자의 경우에는 /저/음에서 성악인 군의 음강도가 일반인 군에 의미있게 높았으나 증가량에서는 통계적 차이는 없었다.

기존의 연구를 보면 서양음악을 전공한 성악인은 호흡 및 공명 방법에 대해 훈련을 받게 되고 호흡조절에 의해 성문하압을 다양하게 변화시켜 강도 및 음도를 조절하는 것으로 되어 있다[16]. Sundberg, Titze등의 연구에서[17]. 성악가들은 약 한 옥타브 정도 기본 주파수가 증가할 때 성문하압은 두 배가되며 성문하압이 두 배가 되면, 보통의 발성 보다 음의 강도가 약 8-9db정도 증가한다고 보고 하였다. 이 번 연구 결과에서도 저강도 조건에서는 일반인 군이 성문하압은 더 높으나 평균호기류율은 상대적으로 적은 반면 고강도 조건에서는 성악인 군에서 성문하압 및 평균호기류율의 상승폭이 더 커 기존의 연구와 일치하고 있다. 하지만 일부 성악인은 음의 강도가 커졌음에도 불구하고 오히려 평균호기류율 및 성문하압이 감소한 결과를 나타내었는데 이는 아마도 개인의 차이, 좋은 공명, 우수한 성대 조절 능력으로 인한 것이 아닌가 추측되어진다.

성문폐쇄율을 보면 남자의 경우 성악인 군이 /세/음에서

/저/음으로 변화 시 일반인 군에 비해 통계적으로 의미 있게 증가했으나, 여자의 경우 반대로 성악인 군에서 /저/음에서 오히려 성문폐쇄율이 감소하였다.

이러한 차이는 왜 발생한 것일까? 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[18,19]. 또한 음도(주파수)의 증가도 성문폐쇄율을 증가시키나 음도의 변화가 미치는 영향은 강도 변화에 비해 크지 않은 것으로 되어 있다[9]. 본 연구의 결과에서도 남성 성악인의 경우 음도 증가 시 모두 성문폐쇄율이 증가한 것을 볼 수 있다(Table 2). 그러나, 여성 성악인의 경우 성문폐쇄율의 변화는 다양하며 많은 피검자에서 고음도 조건에서 오히려 성문폐쇄율이 감소한 것을 볼 수 있다. Howard등(1995)의 [20,21] 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 상관 관계가 있으나, 여성 성악인의 경우에는 일반적으로 낮은 음도에서는 양의 상관관계를, 높은 음도에서는 음의 상관관계를 나타내는 것으로 되어있다. 이렇게 경계가 되는 음도의 결정은 성구(vocal register)와 관계가 있을 것으로 생각된다. 성구란 일반적으로 음이 점차로 변함에 따라 같은 기전 하에서 낼 수 있는 연속된 음렬을 말한다. 일반적으로 말할 때의 성구(speaking register)는 진성구(modal register)와 가성구(falsetto register)로 구분하고, 노래할 때의 성구(singing register)는 흉성구(chest

register), 두성구(head register), 가성구(falsetto register)로 구분하며 혹은 흉성구와 두성구 사이에 중성구(middle register)를 두기도 한다[22]. 따라서 한 성구에서 다른 성구로 바뀔 때는 현저한 이행음이 나타나게 되는데 이 부위를 '**성구변환**'(voice transition, 혹은 register break points)이라고 한다[23].

성악을 공부하는 사람이나 노래를 좋아하는 일반인 모두에게 고음을 낸다는 것은 여간 어려운 일이 아니다. 훈련 받지 않은 일반인들이 고음을 내려고 할 때 어는 정도 음역이 올라가면 소리가 갈라지거나 더 이상 같은 음색으로는 올라갈 수 없게 되고 급격히 가성으로 바뀌게 되는 것을 볼 수 있다. 반면 훈련된 성악인은 고음을 내는 경우 에는 passagio(vocal register transition)라 불리는 성악적 테크닉을 사용하여 고음을 내는데 passagio를 하면 흉성과 두성 사이에 음색의 큰 변화 없이 매끄럽게 고음으로 올라갈 수 있으며 훈련받지 않은 일반인보다 높은 음역을 낼 수 있게 된다. 또한 passagio를 한 소리는 전혀 부담스럽지 않고 시원스러우며 잘 공명된 소리를 내게 된다[22]. passagio를 하는 음역은 사람마다 다르고 소리의 질, 모음의 종류에 따라 다르다. 남성의 경우 일반적으로 흉성구나 중성구에서 두성구로 바뀌는 음역에서 passagio를 한다. 여자의 경우 흉성에서 두성으로의 passagio는 약 400Hz - 500Hz 정도에서 나타나게 되며 이 음을 경계로 어떤 성구로 발성을 하느냐에 따라서 성문폐쇄율의 값은 많은 변화를 가지게 된다[21]. 따라서 이 음역대가 아닌 다른 음을 기준음으로 사용하거나, 경력이 풍부한 여성 성악가를 대상으로 했다면 남성 성악가의 결과와 동일하게 강도 증가 시 성문폐쇄율이 증가하는 결과를 얻을 수 있으리라 생각된다.

발성의 안정성을 나타내는 지표인 jitter와 shimmer를 보면 /세/음에서는 성악인의 jitter가 더 컸으나 /저/음에서는 오히려 shimmer만이 통계적으로 유의하게 감소되었다. 일반적으로 한 피검자에서도 발성의 조건에 따라 발성의 안정성은 일정치 않은 것으로 되어 있는데,

jitter, vF0(fundamental frequency variation), shimmer, vAm(peak amplitude variation)는 일반적으로 강도 및 음도가 크고 높은 경우에 안정적이라고 한다. 또 음도 및 강도가 모두 발성의 안정도에 영향을 주지만, 음도보다는 강도의 변화 정도가 발성의 안정도에 미치는 영향이 더 크다고 한다[15]. 본 연구 결과를 놓고 볼 때, /세/음에서는 음도와 강도가 모두 낮으므로 iitter, shimmer 가 두 군 사이에 큰 차이가 없다가 /저/음에서 음도, 강도 가 높아짐에 따라서 좀 더 안정적인 발성이 가능한 성악인 군에서 유의하게 수치의 호전을 보인 것으로 생각된다.

음성효율도는 여자군에서는 성악인과 일반인 사이에 차이가 없었으나, 남자의 경우 성악인의 음성효율도가 일반인에 비해 약 10 배 가량 높아졌다. 이러한 차이는 위 결과에서도 알 수 있듯이 발성 강도의 증가 때문이다. 발성의 강도는 성문하압 외에도 성대내전, 기본주파수, 음형대주파수에 의해서도 영향을 받는 것으로 되어있다. 이 가운데 성대내전에 의한 성대접촉의 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 [17]. 실제로 본 연구 결과를 보더라도, 남자 성악인에서는 한 옥타브 고음인 /저/에서 일반인에 비해 성문폐쇄율이 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 없이 성대 접촉을 증가시킴으로써 좀 더 효율적인 발성을 한다고 추론할 수가 있다.

# Ⅴ. 결론

실제 음악 연주에서 성악인의 발성이 일반인과 다른 점을 알아보기 위해 서양음악을 전공하는 남녀 성악인 각 10명과 일반인 각 10명을 대상으로 가곡 ‘그네’ 중 한 옥타브 차이가 나는 두 개의 음도에서 전기성문파형검사와 공기역학적검사 시행하였으며 음성효율도를 계산하였다. 남자 성악인의 경우 일반인 군에 비해 고음에서 음의 강도, 성대접촉율이 통계적으로 유의하게 증가 하였으며, 이의 영향으로 음성효율도도 크게 증가하였다. 반면 여자의 경우 두 군 사이에 큰 차이가 없었다. 아마도 이는 성구 변환 및 여성의 특이한 발성(고음 발성 시 성대를 약간 열어주면 발성하는 것) 양상 때문으로 생각된다.

남자 성악인의 결과를 볼 때 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, 이러한 연구가 성악인의 발성을 이해하며 나아가서 발성치료, 성악치료등 다양한 분야에 널리 활용되길 기대한다.

# IV. 참고문헌

[1] Suh JS, Song SY, Kwon OC, Kim JW, Lee HK, Jeong OR. Mean value of aerodynamic study in normal Korean. J Korean Soc Logo Phon 1997;8:27-32.

[2] Chung SM. Vocal efficiency measures in classically trained singers. J Korean Logo Phon 1998;9:43-6.

[3] Van den Berg JW. Direct and indirect determination of the mean subglottic pressure. Folia phoniatr 1956;8:1-24.

[4] Carroll LM, Sataloff RT, Heuer RJ, Spiegel JR, Radionoff SL, Cohn JR. Respiratory and glottal efficiency measures in normal classical trained singers. J Voice 1996:10:139-45.

[5] Moon YI, Chung SM, Kim MJ, Kim YJ. Areodynamic and acoustic analysis of respiration and phonation methods in normal adults. Korean J Otolaryngol 1999;42:756-61.

[6] Bouhuys A, Proctor D, Mead J. Kinetic aspect of singing. J Appl Phusiol 1996;21:483-96.

[7] Baer T, Loefqvist A, McGarr NS. Laryngeal vibration: A comparison between high-speed filming and glottographic technique. J Acoust Soc Am 1983;73:1304-80.

[8] Moore GP. High speed photography in laryngeal research . Can J Otolaryngol 1975;4:793-9.

[9] Choi HS, Cho JI, Kim KM, Park SS. Electroglottographic analysis of voice in normal adults. Korean J Otolaryngol 1994;37:1017-25.

[10] Pederson MF. Electroglottography compared with synchronized stroboscopy in normal persons. Folia Phoniatr 1977.29.191-219.

[11] Hanson DG, Gerratt BR, Karin RR, Berke GS. Glottographic measures of vocal fold vibration: An examination of laryngeal paralysis. Laryngoscope 1988;98:541-9.

[12] Noordzij JP, Woo P. Glottal area waveform analysis in benign vocal fold lesions before and after surgery. Ann Otol Rhino Laryngol 2000; 109(5);441-446.

[13] Johan S, Thomas FC, Stone RE, Jenny I. Voice source characteristics in six premier country singers. J Voice 1999; 13; 168-183.

[14] Chung SM. Aerodynamic study in Korean western classical singer. J Korean Logo Phon 1998;9:109-13.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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;7:15-29.

[18] Glaze L, Bless D, Susser R. Acoustic analysis of vowel and loudness difference in childrens voice. J voice 1990;4:37-44.

[19] Orlikoff Rf, Kahane JC. Influence of mean sound pressure level of jitter and shimmer measures. J voice 1991;5:113-119.

[20] Howard DM, Lindsey GA, Allen B. Towards the quantification of vocal efficiency. J Voice 1990;4:205-12.

[21] Howard DM. Variation of electrolayrngographically derived closes quotient for trained and untrained adult female singers. J Voice 1995;9:163-172.

[22] 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.

[23] 문영일.음성과 언어.: 청우 ; 1994

**Abstract**

Comparitive evaluation of elelctroglottography and aerodynamic study in trained singers and untrained controls under different two pitch

Sung Yoon Ahn

*Department of Medicine*

*The Graduate School, Yonsei university*

(Directed by professor Hong-Shik Choi)


**Background and Objectives**: Aerodynamic study is valuable information about the vocal efficiency in translating air flow to acoustic signal. The purpose of this study was to investigate the differences between trained singers and untrained controls under different two pitch by simultaneous using the airway interruption method and electroglottography(EGG).

**Materials and Methods**: Under singing a Korean lied ‘Gene’, 20(male 10, female 10) trained singers were studied on two one-octave different tone. Mean flow rate(MFR), subglottic pressure(Psub) and intensity were measured with aerodynamic test using the Phonatory function analyzer. Closed quotients(Qx), jitter and shimmer were also investigated by EGG using Lx speech studio. These data were compared with that of normal controls.

**Results**: MFR and Psub were increased on high pitch tone in all subject groups. Statistically significant increasing of Qx and intensity were observed in male trained singers on high pitch tone($p < .05$). Beacasue of increasing of Qx and intensity, vocal efficiency was also significantly increased in male singers($p < .001$).

**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**: trained singers, EGG, aerodynamic study, frequency, intensity, MFR, subglottic pressure, closed quotients