

남성 성악가의 음도고정시 강도 변화와 강도고정시  
음도 변화의 공기역학 및 상대접촉율의 변화

Changes in Aerodynamic Function and Closed Quotient with the Variable Pitch and Loudness in Male Classic Singers

남도현\* · 백재연\* · 김재옥\* · 박선영\* · 최홍식\*

Do Hyun Nam · Jae Yeon Paik · Jae Ok Kim · Sun Young Park · Hong-Shik Choi

ABSTRACT

This study examined the aerodynamic functions (mean airflow rate MFR, subglottal pressure Psub) and closed quotients (CQs) in the fixed pitch (C3, E3, G3, C4) with the variable loudness (70 and 80 dB) as well as in the fixed loudness at 70 dB and 80 dB with the variable pitch (C3, E3, G3, C4) in five classic male singers (Baritone). Results showed that MFR significantly increased at C3, E3, and G3 and Psub significantly increased at C4 when the loudness increased from 70 to 80 dB. At 70 dB, MFR and Psub significantly increased and CQ significantly decreased when the pitch increased from C3 to C4. At 80 dB, MFR significantly decreased when the pitch increased from C3 to G3. However, Psub showed the significant decrease with the pitch increased at 80 dB. In conclusion, as the loudness increases, the aerodynamic loss is getting higher and vocal efficiency becomes lower at low pitch than at higher pitch. At a low loudness level, the main mechanism to control loudness is the amount of medial compression of the vocal folds rather than the aerodynamic function. In addition, the aerodynamic function and medial compression of the vocal folds have a significant role in increasing the loudness level.

**Keywords:** Baritone, Mean flow rate, Subglottal pressure, Closed Quotient

1. 서 론

음도(기본주파수)는 청각에서 인지하여 뇌에서 기준피치값과 인지되는 높이를 비교하고 뇌가 그 높이를 실행에 옮기도록 명령하면 후두의 압력 수용기, 스트레치 수용기, 관절 수용기 등은 이들의 기계적인 활동을 통하여 음의 높이 조절을 실행에 옮기고 폐에서 나오는 공기역학적인 힘과 협응작용에 의하여 만들어진다. Tanaka & Tanabe는 음도의 조절은 윤상갑상근(CT: cricothyroid muscle)과 갑상피열근(TA: thyroarytenoid muscle)의 조절과 성문하압(Psub: subglottal pressure), 평균호기류율(MFR: mean flow rate)의 공기역학적 요소에 의해 이루어진다고 하였다[1]. 음도 조절을 위

\* 연세대학교 의과대학 이비인후과교실 음성언어의학연구소

한 성대근육들의 작용을 살펴보면 가장 중요한 작용을 하는 긴장근은 윤상갑상근과 갑상피열근으로 윤상갑상근이 수축하여 갑상연골이 전방으로 기울어지게 되면 윤상갑상공간(CT space)가 좁아지고 되고 성대의 길이가 늘어나게 되어 음도는 높아지게 된다. 갑상피열근이 수축하게 되면 갑상연골을 후면으로 잡아당기면 윤상갑상공간은 넓어지고 성대의 길이는 짧아지고 두꺼워지면 음도는 낮아진다. 또한 갑상피열근과 윤상갑상근과 길항작용을 하며 음도를 높이기도 하고 낮추기도 하는 이중적 역할을 하는 것으로 알려져 있다[2]. 그 외의 보조적으로 측윤상피열근(LCA: lateral cricoarytenoid muscle)이 수축하여 피열연골(arytenoid cartilage)의 성대돌기(vocal process)를 내전시켜 음도 및 음의 강도의 조절에 보조적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다[3].

최홍식(1997)의 연구에 의하면 일반인의 경우 음도가 증가하면 음의 강도하는 경향을 보인다고 하였다[4]. 음의 강도((SPL sound pressure level)의 조절은 공기역학적인 힘에 영향을 받아 결정 되는데, 성문하압은 성문을 통과 하는 폐 압력과 같고 이 압력이 소리의 강도를 다양하게 조절하는 가장 본질적인 힘의 원천이 된다. 발성 시 기본주파수와 성문하압은 성대의 길이와 진동의 진폭의 비율에 의하여 기본적으로 정량화된다고 하였다[5]. 다양한 소리와 다양한 음질은 성대에 관련된 근육들과 공기역학적인 힘, 성문의 모양, 성도의 모양에 따라 다르게 만들어지는데 폐에서 나오는 호흡의 흐름은 성문하부에 압력으로 작용되어 성문의 열리고 닫히는 속도와 파형의 크기와 진폭에 영향을 미치고 이것은 소리의 강도에 영향을 미친다. Fant와 몇몇 사람들에 의하여 의해 성문의 열리고 닫히는 시간과 파형의 진폭의 특징의 관계를 규명하려 시도했다[6]. 일찍이 Ladefoged & McKinney(1963)는 식도풍선(esophageal balloon)을 사용하여 성문하압과 호흡압력과 소리의 강도와 관계를 연구하였는데, 압력이 6 cmH<sub>2</sub>O- 7 cmH<sub>2</sub>O 증가 하면 반 옥타브 정도 기본주파수가 증가 하고 음의 강도는 성문하압과 기하급수적인 관계가 있다고 하였다[7]. Isshiki(1964)는 침습적인 방법을 통하여 성문하압과 소리의 강도, 공기의 흐름, 성문저항의 관계를 측정하여 소리의 강도는 성문하압과 거의 비례한다고 발표하였다[8][9]. 모든 사람에게 해당하지는 않지만 일반적으로 성문하압이 증가하는 경우 기본주파수와 음의 강도가 증가하는 경향을 보이며, 성문하압과 음의 강도는 양의 상관관계를 보인다고 하였다[10]. 성문개방비율(open quotient)과 음의 강도는 발성에서나 발화 모두에서 상관관계가 있으며, 성문개방비율이 작아지면 즉 성대접촉율이 높아지면 음의 강도는 커진다고 하였다[11]. 위와 같은 선행연구의 결과를 종합하여보면 대체로 음도조절과 강도조절을 위해서는 후두 근의 작용, 공기역학적인 힘, 성대접촉 등이 중요한 역할을 하는데 일반적으로 음도가 증가하는 경우 음의 강도가 증가하고, 음의 강도가 증가하는 경우 음도가 증가하는 경향을 보이는데 만약 성악가의 경우 같은 음도에서 강도를 증가시키거나 줄일 때 음도의 변화가 생긴다면 음악적인 표현이 불가능하게 될 것이고 또한 음도를 증가시키면서 강도를 줄여야 하는 경우 만약 강도가 증가한다면 음악적 표현은 불가능할 것이다. 이에 저자들은 성악가는 음도가 변화하거나 강도가 변화할 때의 공기역학적인 요소와 성대접촉은 어떻게 협응작용 하는가를 알아보려 한다. 구체적으로 음도를 고정하고 강도 변화 시킬 때의 평균호기류율, 성문하압, 성대접촉율의 변화. 강도를 고정하고 음도를 변화 시켰을 때는 평균호기류율, 성문하압, 성대접촉율의 변화에 대하여 남자성악가(바리톤)를 대상으로 하여 연구하고자 한다.

## 2. 연구대상 및 방법

### 2.1 연구대상

성대 스트로보스코피(Stroboscopy)검사를 하여 음성질환이 있는 사람은 제외하고 Spirometer를 통한 폐 기능 검사에서 정상적인 호흡기능을 가지고 있는 사람으로 평균 경력  $8.2 \pm 5.0$  년, 평균 연령  $28.8 \pm 5.3$  세인 바리톤 5 명을 실험 군으로 선정하였다.

### 2.2 연구방법

1) 공기역학적 검사(Aerodynamic function test) 및 성대접촉율의 측정(Measure of Closed Quotient) (<그림 1>).

Phonatory function analyzer(Nagashima Ltd, Model PS 77H, Tokyo, Japan)를 사용하여 검사기구에 마스크를 부착하여 입을 밀착시켜 공기가 새지 않도록 하고 코를 막고 피검자의 갑상연골주위를 알코올 솜으로 문지른 다음 Lx speech studio(Laryngograph Ltd., London, UK)의 EGG밴드를 갑상연골가까이 부착하고, 피치파이프(pitch pipe)붙여 목표 음을 정하고 “아”모음 발생 시의 기본주파수, 음의 강도, 평균호기류율, 성문하압을 측정하면서 동시에 성문하압 측정을 위한 기류차단장치가 작동되기 직전의 구간에서 성대접촉율을 측정하였다. 모든 검사는 다음과 같은 순서로 3 회 반복하여 실시하였다.

- ① 목표 음 C3 에서 강도를 70 dB로 고정하여 공기역학검사 및 성대접촉율을 측정한 후 강도를 80 dB로 증가하여 공기역학 검사와 성대접촉율을 측정하였다.
- ② 목표 음 E3, G3, C4 에서도 ①과 같은 방법으로 반복하여 실시하였다.

### 2.3 통계분석

- 1) 음도(C3, E3, G3, C4)를 고정하고 강도를 70 dB에서 80 dB 증가시킬 때의 평균호기류율, 성문하압, 성대접촉율의 변화를 비교하였다.
- 2) 강도를 70 dB로 고정하고 음도를 C3, E3, G3, C4 음으로 변화시킬 때의 평균호기류율, 성문하압, 성대접촉율의 변화를 비교하였다.
- 3) 강도를 80 dB로 고정하고 음도 C3, E3, G3, C4 음으로 변화시킬 때의 변화시킬 때의 평균호기류율, 성문하압, 성대접촉율의 변화를 비교하였다.
- 4) 음도를 고정하고 강도를 변화시킬 때의 통계분석은 대응표본 t-test(paired T-test)로 검증하였으며, 강도를 고정하고 음도를 변화시킬 때의 통계분석은 반복일원분산분석(Repeated ANOVA)검증하였다. 유의수준은 95%로 정하였다.

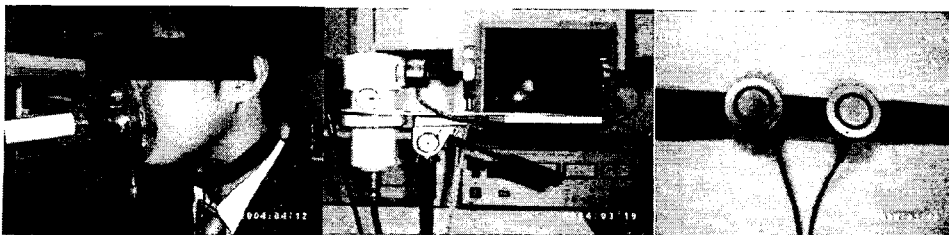


그림 1. 공기역학검사기기 및 성대접촉율 측정을 위한 EGG 밴드

### 3. 결 과

1) 음도를 고정하고 강도를 70 dB에서 80 dB 증가시킬 때의 결과

(1) 평균호기류율은 C3 음에서는  $116.5 \pm 19.6$  mmH<sub>2</sub>O에서  $270.0 \pm 68.4$  mmH<sub>2</sub>O로 약 2.3 배, E3에서는  $147.5 \pm 36.9$  mm/sec에서  $255.5 \pm 71.7$  mm/sec로 약 1.7 배, G3 음에서는  $148.4 \pm 52.0$  mm/sec에서  $220.3 \pm 44.1$  mm/sec로 약 1.5 배 증가하여 통계적으로 유의하게 증가하였고, C4 음에서는 평균호기류율이 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(<그림 2>).

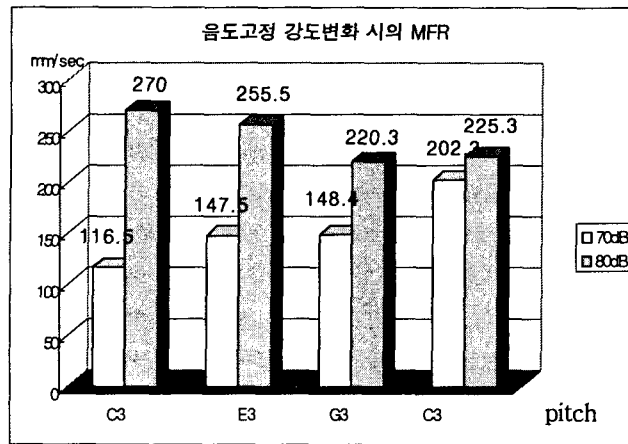


그림 2. 음도고정 강도변화 시의 평균호기류율

(2) 성문하압은 C3 음에서는  $33.9 \pm 17.0$  cmH<sub>2</sub>O에서  $101.13 \pm 2.60$  cmH<sub>2</sub>O로 약 3 배, E3에서는  $49.1 \pm 19.2$  cmH<sub>2</sub>O에서  $80.1 \pm 17.0$  cmH<sub>2</sub>O로 1.6 배, C4 음에서  $57.1 \pm 30.0$  cmH<sub>2</sub>O에서  $74.4 \pm 26.3$  cmH<sub>2</sub>O로 1.3 배로 통계적으로 유의하게 증가하였으나, G3 음에서는 성문하압이 증가했으나 통계적으로 유의한 차이 없었다(<그림 3>).

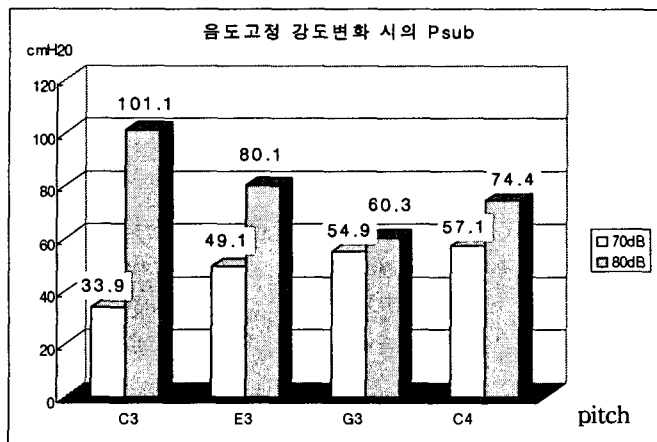


그림 3. 음도고정 강도변화 시의 성문하압

(3) 상대접촉율은 C4 음은  $45.7 \pm 9.8\%$ 에서  $55.3 \pm 4.5\%$ 로 통계적으로 유의하게 증가하였으나, C3, E3, G3 에서는 통계적으로 유의한 차이는 없었다(<그림 4>).

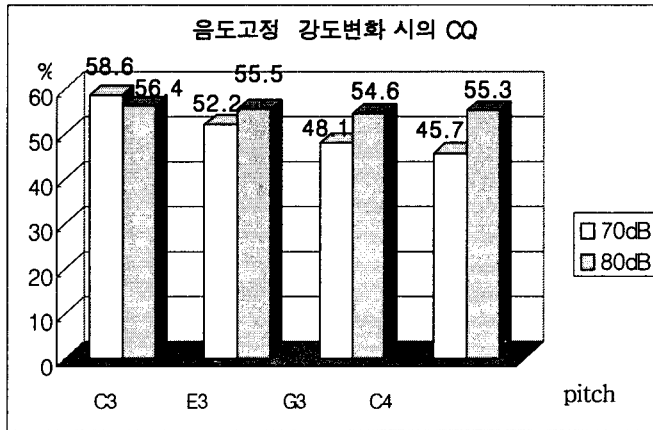


그림 4. 음도고정 강도변화 시의 상대접촉율

2) 강도를 70 dB로 고정하고 음도를 C3, E3, G3, C4 음으로 변화시킬 때의 결과 <그림 5>

(1) 평균호기류율은 C3 음에서는  $116.5 \pm 19.6$  mm/sec, E3 음은  $147.5 \pm 36.9$  mm/sec, G3 음은  $148.4 \pm 52.0$  mm/sec, C4 음은  $202.3 \pm 78.0$  mm/sec로 음도가 올라 갈수록 통계적으로 유의하게 증가하였다

(2) 성문하압은 C3 음은  $33.9 \pm 17.0$  cmH<sub>2</sub>O, E3 음에서는  $49.1 \pm 19.2$  cmH<sub>2</sub>O, G3 음에서는  $54.9 \pm 27.0$  cmH<sub>2</sub>O, C4 음에서는  $57.1 \pm 30.0$  cmH<sub>2</sub>O로 음도가 올라갈수록 통계적으로 유의하게 증가하였다.

(3) 상대접촉율은 C3 음에서는 58.63.7%, E3 음에서는 52.26.7%, G3에서는 48.15.8%, C4 음에서는 45.79.8%로 음도가 올라갈수록 통계적으로 유의하게 감소하였다.

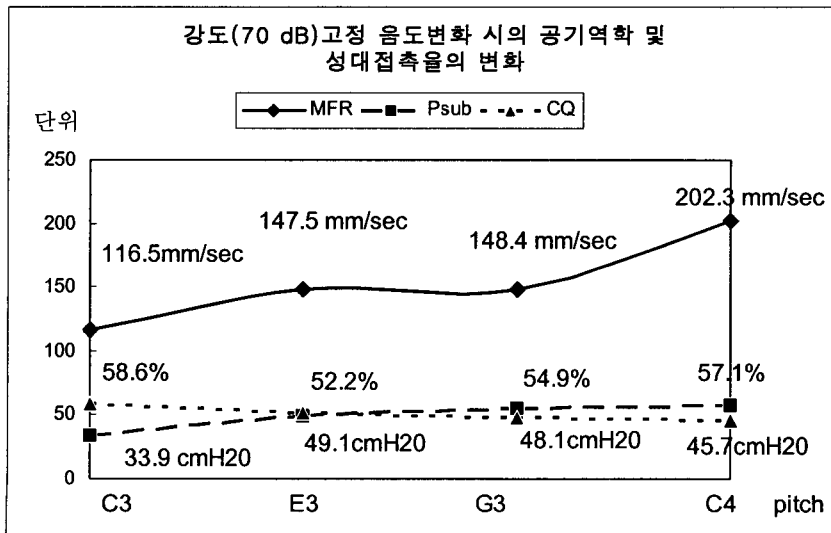


그림 5. 강도를 70 dB로 고정하고 음도를 변화하였을 때의 공기역학 및 상대접촉율의 변화

3) 강도를 80 dB로 고정하고 음도를 변화시킬 때의 결과<그림 6>

(1) 평균호기류율은 C3 음은  $270.0 \pm 68.4$  mm/sec, E3 음은  $255.5 \pm 71.7$  mm/sec, G3 음은  $220.3 \pm 44.1$  mm/sec 음도가 올라갈수록 통계적으로 유의하게 감소하였고, C4 음에서는  $225.3 \pm 56.0$  mm/sec 로 약간 증가하였다.

(2) 성문하압 C3 음에서는  $101.132,6$ , E3 음에서는  $80.1 \pm 17.0$  cmH<sub>2</sub>O, G3음에서는  $60.3 \pm 19.4$  cmH<sub>2</sub>O, 음도가 올라갈수록 통계적으로 유의하게 감소하였으나, C4 음에서는  $74.4 \pm 26.3$  cmH<sub>2</sub>O로 오히려 증가하였다.

(3) 성문폐쇄율은 음도의 변화에도 불구하고 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

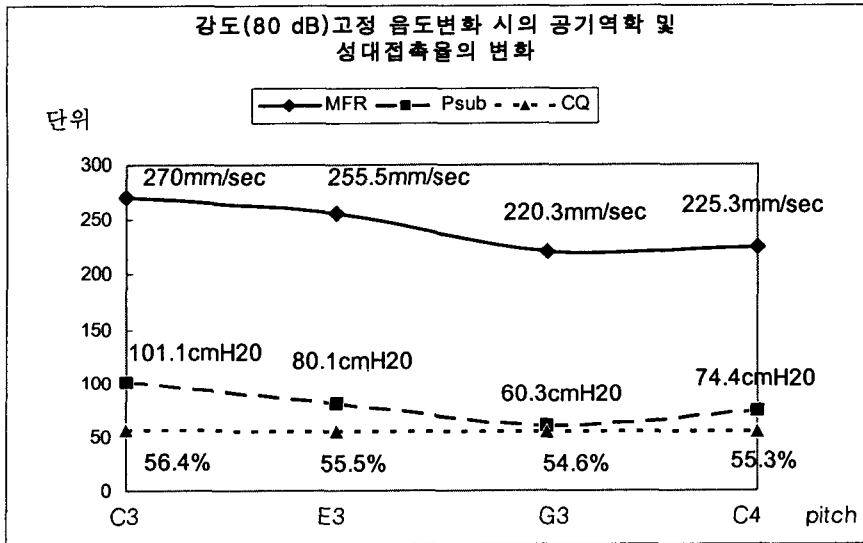


그림 6. 강도를 80 db로 고정하고 음도를 변화하였을 때의 공기역학 및 성대접촉율의 변화

4) <표 1>은 전체적인 결과이다.

표 1. 음도고정 시 강도 변화 와 강도 고정 시 음도 변화의 공기역학 및 성대접촉율의 변화

		F0 (Hz)	SPL (dB)	MFR (mm/sec)	Psub (cmH <sub>2</sub> O)	CQ (%)
70 dB	C3	126.9±2.8	70.7±1.3	116.5±19.6	33.9±17.0	58.6±3.7
	E3	163.2±2.6	70.2±1.1	147.5±36.9	49.1±19.2	52.2±6.7
	G3	192.8±2.7	70.4±1.1	148.4±52.0	54.9±27.0	48.1±5.8
	C4	260.6±4.9	70.2±1.0	202.3±78.0	57.1±30.0	45.7±9.8
80 dB	C3	133.5±5.4	78.6±0.9	270.0±68.4	101.1±32.6	56.4±8.8
	E3	165.3±3.8	79.9±1.0	255.5±71.7	80.1±17.0	55.5±6.1
	G3	192.4±1.4	80.6±1.0	220.3±44.1	60.31±9.4	54.6±4.2
	C4	262.1±5.3	80.2±0.9	225.3±56.0	74.42±6.3	55.3±4.5

#### 4. 고 찰

음도는 성대의 질량(mass), 성대의 긴장도(tension), 진동에 관여되는 성대부분의 길이(length and damping) 등에 영향을 받아 결정되는데, 음도의 변화는 성대가 점성(viscosity)과 탄성(elasticity)을 가지고 있어 성대의 길이와 두께는 항상 가변적으로 변화할 수 있기 때문이다. 이러한 가변적 변화를 주도하는 것이 성대의 긴장근인 운상갑상근과 갑상피열근, 그리고 그 밖의 근육들이 보조적으로 사용되며 또한 공기역학적 변화에도 영향을 받는다. 일반적으로 훈련 받지 않은 일반인의 경우 강도가 증가하는 경우 음도도 같이 증가한다고 보고하고 있고, 성악가의 경우는 강도가 증가하여도 음도는 증가하지 않는다고 알려져 있다[4]. 강도를 증가시키기 위해서는 성문하압이 증가하여야 하며 성문하압의 증가는 강도를 증가시키고 어느 정도 음도를 증가시키는 역할을 한다. 그러나 잘 훈련된 성악가는 성대의 Medial compression을 증가시키며 효과적인 성대진동을 유지하기 위하여 성대의 긴장근들이 적절히 긴장도를 유지하여 음도가 별로 증가하지 않는다고 알려져 있다. Titze(1989)는 보통 목소리의 크기가 증가할수록 음도가 올라가는 경향을 보인다고 하였으나 훈련된 성악가에서는 높은 음도에서나 강한 강도의 발성에서도 소리의 크기에 따른 기본주파수의 변화는 거의 영향이 없다고 하였다[5]. 이번 연구에서도 강도를 70 dB에서 80 dB로 증가시켰음에도 불구하고 음도에는 변화가 없었다. 다만 저음 C3 음에서는 약간의 음도가 증가하였으나 통계적으로는 의미가 없게 나타났다. 저음인 C3에서 음도의 변화 없이 강도를 10 dB 증가시키는 것은 모든 실험 군에서 실제로 무척 어려움을 보였으며 강도를 증가시킬 때 어느 정도 증가하는 경향을 보였다. 이번 연구에서 음도를 고정하고 강도를 70 dB에서 80 dB로 10 dB 증가하는 경우 평균호기류율과 성문하압은 음도에 따라 다르게 나타나며, 저음인 C3에서 평균호기류율은 2.3 배 성문하압은 약 3 배로 다른 음에서 보다 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타난 것은 저음부에서 강도를 증가시키기 위해서는 공기역학적인 소모가 고음부보다 크다는 것을 말하는 것이다. Murry등(1998)의 보고에 의하면 평균호기류율은 성구의 종류에 따라 성대접촉율에 따라 호기류율이 영향을 받는다고 하였다[12]. Sundberg & Titze등(1993)은 소리의 강도에 영향을 주는 것으로 성문하압 이외의 다른 요소들을 밝히려고 시도하였다. 그들은 비 침습적인 방법을 사용하여 성악가들을 대상으로 한 연구에서 성문하압을 측정하여 기본주파수가 두 배가 되면 대략 성문하압이 두 배와 연관이 있다고 보고하고 있고, 소리의 강도는 성문하압은 대부분의 대상자에서 양적인 관계가 있었고, 성문하압이 두 배가 될 때 11 dB 만큼 증가한다고 보고하였다[13]. 또한 Sundberg등(1999)은 바리톤을 대상으로 한 또 다른 연구에서는 공기역학적 변수들에 있어 성문하압이 두 배가 될 때 음의 강도는 평균적으로 10 dB만큼 증가한다고 하였다[14]. 이번 연구는 70 dB로 강도를 고정하고 C3에서 C4로 기본주파수가 2 배인 경우에 1.7 배 성문하압이 증가하여 약간의 차이를 보였고, 80 dB에서 C3에서 C4로 옥타브 증가한 경우에는 성문하압은 오히려 감소하였는데 비정상적인 결과를 보여 선행연구와 다른 결과를 보인 것은 음도와 강도에 따른 차이 때문인 것으로 생각된다. Plant and Younger (2000)는 7 명의 정상인에서 성문하압과 소리의 강도, 기본주파수와 상호작용에 관한 연구에서 성문하압과 소리의 크기와 상호작용과 관련하여 유의하고 높은 상관관계가 있다고 하였고, 일부 대상자들은 성문하압이 최소 50%만큼 변화할 때 특정 주파수에서 소리의 크기가 증가할 수 있었다고 하였다. 다시 말해 그들의 후두가 이러한 특정 기본주파수에서 최대의 소리의 힘을 산출해 낼 수 있도록 조정하는 것처럼 보였다고 하였다[15]. Tanaka &

Gould(1983)등은 체적변동기록계(plethysmography)를 사용하여 폐내 압력, 호기류율, 공기역학적인 힘이 어떻게 음의 강도와 관련이 있는지를 연구하였는데 음의 강도는 성문하압에 3.2 거듭제곱에 비례한다고 보고하고 있다[9]. Holmberg 등(1988)은 호기류, 음의 강도와 성문하압을 45 명의 정상인에서 측정하여 성문하압이 두 배가 되면 대략 13 dB 만큼 증가한다고 하였다. 그러나 이러한 관계가 모든 대상자에서 높은 상관관계를 보이지는 않았다고 하였다[16]. Titze & Sundberg(1992)는 5 명의 전문음성사용자와 25명의 정상인에서 성문파형을 이용하여 소리 크기를 조절하는 메커니즘을 조사하였다. 강도의 주요변수는 절대치 성문하압이 아니라 역치압력을 초과하는 초과압력이라는 사실을 밝혀냈으며 역치압력을 초과하는 초과 성문하압이 두 배가 될 때 소리의 강도는 8-9 dB 만큼 증가한다는 보고하고 있다[17]. 이런 선행연구들은 대체로 성문하압과 음의 강도가 비례적인 관계를 가지고 있으나 성악가를 대상으로 한 이번 연구에서는 C4에서 10 dB증가시키는 것보다 한옥타브 저음인 C3에서 10 dB 증가시키는 것이 저음에서 10 dB 증가시키는 것이 훨씬 높은 성문하압이 필요한데 이것은 고음에서 강도를 증가시키는 것이 저음보다 훨씬 효율적이라는 것을 뜻하는 것이다. 그리고 70 dB로 강도를 고정하고 음도를 증가시켰을 경우의 성대접촉율을 보면 저음인 C3에서는 58%로 높게 나타나다 음도가 증가하는 경우 오히려 성대접촉율이 감소하는 결과를 보여 낮은 강도에서 음도가 증가하는 경우 성문하압에 의하여 영향을 받는 것이 아니라 성대접촉을 조절하여 강도를 조절하는 것으로 생각된다. 그러나 강도가 10 dB증가하여 80 dB로 고정하고 음도를 증가시키는 경우에는 음도가 증가하는 경우에도 성대접촉율은 대체로 55% 정도로 높게 또한 음도의 변화에 관계없이 일정한 성대접촉율을 유지하며 강도가 10 dB증가 시킨 경우 평균호기류율과 성문하압도 증가하나 역시 음도의 증가에 따른 변화는 특별히 관찰되지 않았다. 이런 이유는 이번 연구에서 목표 음으로 선정한 음도가 아주 높은 음도에서 측정한 것이 아니기 때문이라 생각된다. 또한 Alku 등(1996)은 강도는 발성 유형에 따라 매개변수가 체계적으로 변화한다는 것을 알아내었는데, 소리의 크기의 비율은 눌린 발성 때보다 기식 음을 지닌 발성일 때에 소리의 크기의 비율이 단조롭게 감소하는 결과를 얻었으며 후두와 기본주파수의 차이로 인하여 성별에 따라서도 소리의 강도의 차이가 있는 것을 발견하였다[18]. Sundberg & Hogset(2001)는 성문하압의 증가는 성대 접촉율을 증가 시키며 대부분 높은 성문하압은 55%정도 의 성대접촉율을 보인다고 하여 이번 연구와 같은 결과를 보였으나, 성대접촉율은 낮은 음도일 때 보다 높은 음도에서 높은 경향을 보인다고 하여 이번 연구와는 조금 다르게 나타난 부분도 있다[19]. Orlikoff & Kahane(1991)은 발성의 강도와 성대접촉율 사이에는 양의 상관관계가 있다고 하였고, 강도가 낮은 음에서는 성문 폐쇄기에 비해 성문개방기가 상대적으로 길며 강도가 증가할수록 폐쇄기의 비율이 커져서 성대접촉율은 커지게 된다고 하여, 선행 연구와 비슷한 결과를 보였다. 또한 그들은 주파수의 증가도 성대접촉율을 증가시키나 주파수의 변화가 미치는 영향은 강도의 변화에 비해 크지 않은 것으로 되어있다. 또한 주파수의 증가도 성대접촉율을 증가시키나 주파수의 변화가 미치는 영향은 강도의 변화에 비해 크지 않다고 하였다[20]. Henrich 등(2005)은 18 명의 훈련 받은 성악가를 대상으로 성문개방비율(open quotient)은 음의 강도와 기본주파수는 상관관계가 있다고 보고하고 있고, 바리톤이 C4 음에서 강도를 증가시켰을 때 성문개방비율은 감소한다고 하였는데[21], 이는 성대접촉율이 증가하였다는 것과 같은 의미로서 이번 연구결과와 같은 결과를 보였다. 이런 모든 결과들을 종합하여보면 성악가들은 음도를 고정시켜놓고 음의 강도를 증가시키면 고음(C4)에서 더 음성효율이 더 높으며 음의 강도를 고정하고 음도를 증가시키는 경우 작은소리(70 dB)



에서는 음도가 증가할수록 성문하압은 증가하나 성대접촉율은 낮아져 작은 소리로 발성 할 때에는 성대접촉율이 중요한 역할을 하며, 큰소리(80 dB)에서는 음도가 증가하면 성문하압이 작아지고 성대접촉율은 비교적 일정하여 높아 저음에서 큰소리로 발성하는 것은 공기역학적인 손실이 더 많은 것으로 조사되었다. 이번 연구에서 부족한 점은 더 높은 음도에서 더 많은 실험 군을 대상으로 좀더 연구를 진행하여야 할 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

성악가들이 음도를 조절하고 강도를 조절하는데 있어 공기역학적인 힘과 성대접촉율의 상호관계를 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 저음에서 강도를 증가시키는 경우 고음에서보다 공기역학적 손실이 많아지고 음성효율이 떨어지며 작은 소리(70 dB)에서 음도를 증가시키는 경우 성문하압의 역할보다는 성대접촉율을 감소시켜 강도를 조절한다. 즉, 작은 소리에서는 공기역학적인 요소보다는 성대의 접촉을 조절하여 강도를 조절한다. 또한 강도를 10 dB 증가시키려면 공기역학적인 요소 및 성대접촉율의 역할이 중요하나 큰소리(80 dB)에서 음도가 증가하는 경우에는 이러한 공기역학적인 요소나 성대접촉율의 역할보다는 성대 긴장근의 역할이 더 중요하다는 것을 말해주는 것이라 생각된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Tanaka, S. & Tanabe, M. 1989. "Experimental study on regulation of vocal pitch." *J Voice* 2(3), 93-94.
- [2] Titze, I. R., Luschei, E. S. & Hirano, M. 1989. "Role of the thyroarytenoid muscle in regulation of fundamental frequency." *J Voice* 3(3), 243-64.
- [3] 최홍식. 1997. "내 후두근의 작용: 개에서의 생체발성 모형." *대한음성언어의학회* 8(2): 185-92.
- [4] 최성희, 남도현, 김덕원, 김영호, 최홍식. 2006. "성악가와 훈련 받지 않은 일반인의 음도, 강도, 성구변화 시 발성 및 호흡조절 특성." *대한음성언어의학회* 17(2), 115-126.
- [5] Titze, I. 1989. "On the relation between subglottal pressure and fundamental frequency in phonation." *J Acoust Soc Am.* 85(2), 901-906.
- [6] Fant, G., Kruckenberg, A. & Liljencrants, J. 1994. "Bvegrd M. Voice source parameters in continuous speech. Transformation of LF-parameters." *Proc. ICSLP-, Yokohama* 3, 1451-1454.
- [7] Ladefoged, P. & MacKinney, N. P. 1963. "Loudness, sound pressure and subglottal pressure in speech." *J Acoust Soc Am.* 35, 454-460.
- [8] Isshiki, N. 1964. "Regulatory mechanism of voice intensity variation." *J Speech Hear Res* 7, 1729.
- [9] Tanaka, S. & Gould, W. 1983. "Relationships between vocal intensity and non invasively obtained aerodynamic parameters in normal subjects." *J Acoust Soc Am.* 73, 1316-1321.
- [10] Plant, R.L. 2005. "Aerodynamic of the Human Larynx during Vocal Fold Vibration."

*Laryngoscope* 115(12), 2087-100.

- [11] Orlikoff, R. F. 1991. "Assessment of the dynamics of vocal fold contact from the electroglottogram: Data from normal male subjects." *J. Speech Hear. Res* 34, 1066-1072.
- [12] Murry, T., Xu, Jie Jie & Woodson, G. E. 1998. "Glottal configuration associated with fundamental frequency and vocal register." *J Voice* 12(1), 44-49.
- [13] Sundberg, J., Titze, I. & Scherer, R. 1993. "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* 7, 15-29.
- [14] Sundberg J., Andersson, M. & Hultqvist, C. 1999. "Effects of subglottal pressure variation on professional baritone singers' voice sources." *J Acoust Soc Am.* 105(3), 1965-71.
- [15] Plant, R. L. & Younger, R. M. 2000. "The interrelationship of subglottic air pressure, fundamental frequency, and vocal intensity during speech." *J Voice* 14(2), 170-177.
- [16] Holmberg, E. B., Hillman, R. E. & Perkell, J. S. 1988. "Glottal airflow and transglottal air pressure measurements for male and female speakers in soft, normal, and loud voice." *J Acoust Soc Am.* 84(5) 115-129.
- [17] Titze, I. R. & Sundberg, J. 1992. "Vocal intensity in speakers and singers." *J Acoust Soc Am.* 91(5), 2936-46.
- [18] Alku, P. & Vilkman, E. 1996. "Amplitude domain quotient for characterization of the glottal volume velocity waveform estimated by inverse filtering." *Speech Comm.* 18, 131-8.
- [19] Sundberg J. & Hogset, C. 2001. "Voice source differences between falsetto and modal registers in counter tenors and baritones." *Log Phon Vocol.* 26, 26-36.
- [20] Orlikoff, R. F. & Kahane, J. C. 1991. "Influence of mean sound of pressure level of jitter and shimmer measures." *J Voice* 4, 37-44.
- [21] Henrich, N., D'Alessandro, C., Doval, B. & Castellengo, M. 2005. "Glottal open quotient in singing: measurements and correlation with laryngeal mechanisms, vocal intensity, and fundamental frequency." *J Acoust Soc Am.* 117(3 Pt. 1), 1417-1430.

접수일자: 2007. 5. 2

게재결정: 2007. 5. 30

▲ 남도현

서울특별시 도곡동 146-92 영동세브란스 병원 별관7층 이비인후과교수실 (우: 146-92)

연세대학교 의과대학 이비인후과 교실 음성언어의학연구소

Tel: +82-02-2019-3461 Fax: +82-02-3463-4750

H/P: 011-218-3608

E-mail: dhnambar@yumc.yonsei.ac.kr

▲ 백재연

서울특별시 도곡동 146-92 영동세브란스 병원 음성언어의학연구소 (우: 146-92)

연세대학교 의과대학 이비인후과 교실 음성언어의학연구소

Tel: +82-02-2019-2589 Fax: +82-02-3463-4750

E-mail: paik.jae@gmail.com

▲ 김재욱

서울특별시 도곡동 146-92 영동세브란스 병원 음성언어의학연구소 (우: 146-92)  
연세대학교 의과대학 이비인후과 교실 음성언어의학연구소  
Tel: +82-02-2019-2589(O) Fax: +82-02-3463-4750  
E-mail: jaeock@gmail.com

▲ 박선영

서울특별시 도곡동 146-92 영동세브란스 병원 별관7층 이비인후과교수실 (우: 146-92)  
연세대학교 의과대학 이비인후과 교실 음성언어의학연구소  
Tel: +82-02-2019-3461 Fax: +82-02-3463-4750  
E-mail: parksy22@hanmail.net

▲ 최홍식

서울특별시 도곡동 146-92 영동세브란스 병원 별관7층 이비인후과교수실 (우: 146-92)  
연세대학교 의과대학 이비인후과 교실 음성언어의학연구소  
Tel: +82-02-2019-3461 Fax: +82-02-3463-4750  
E-mail: hschoi@yumc.yonsei.ac.kr