

## KayPENTAX Phonatory Aerodynamic System Model 6600을 이용한 한국 성인의 공기역학적 변수들의 정상치

Korean Adult Normative Data for the KayPENTAX Phonatory Aerodynamic System Model 6600

김 재 옥<sup>1)</sup>

Kim, Jaeock

### ABSTRACT

The purpose of this study was to (1) establish a Korean adult normative database for phonatory aerodynamic measures obtained with the KayPENTAX *Phonatory Aerodynamic System (PAS) Model 6600*, (2) investigate the intra-subject reliability of these measures across three testing sessions, and (3) examine the effect of gender on those measures. 170 healthy normal speakers (70 men and 100 women) between the ages 18 and 49 years participated in the study. The PAS protocol of maximum phonation and voicing efficiency were conducted and 25 measures were obtained. All aerodynamic measures taken in this study demonstrated high intra-subject reliability in clinical aspect. There were no significant effect of gender in the measures related to sound pressure and subglottal pressure. However, significant differences for gender were found for phonation time, airflow rate, expiratory volume, aerodynamic power, SPL range, pitch range, mean pitch, aerodynamic resistance, and aerodynamic efficiency. Clinicians should be aware of significant gender effects in some aerodynamic parameters when interpreting the data obtained from PAS.

**Keywords:** Phonatory Aerodynamic System Model 6600, Aerodynamics, Gender, Healthy adult Korean

### 1. 서론

공기역학적 검사(aerodynamic analysis)는 유용하고도 흔하게 사용되는 음성평가 방법이다. 이 검사는 음성을 산출할 때 성대 아래쪽의 압력(성문하압, subglottal pressure), 성대 사이를 지나가는 공기의 흐름(호기류율, phonatory airflow rate) 및 음성효율성 등을 측정함으로써 음성 산출 시 호흡, 후두의 벨브 작용 및 성대 진동의 상호작용 메커니즘을 평가할 수 있다(Yiu et al., 2004; Schutte, 1992; Zraick et al., 2011).

공기역학적 검사는 침습적인 방법과 비침습적 방법으로 구분되는데, 침습적인 방법으로는 직접 기도를 천공한 후에 카테터를 삽입하는 기관내 카테터 삽입법(tracheal puncture; Isshiki,

1964)과 식도를 통과하여 성문 아래로 풍선을 삽입하는 경식도법(intra-esophageal balloon, Liberman, 1968), 기관이 절개(tracheostomy)된 상태에서 기관절개공을 통한 측정법(measurement via a tracheostoma) 또는 구강을 통해 성대 사이를 통과하여 성문하압을 측정하는 경성문 도자법(transglottal catheter) 등이 있다. 과거에 주로 사용되었던 침습적인 방법은 기도폐색이나 출혈 등의 위험성이 있고 대상자들에게 불편감을 초래하므로 음성장애 평가보다는 연구의 목적으로 이용되었다. 침습적인 공기역학적 검사의 단점을 극복하기 위해 Rothenberg (1973, 1977)에 의해 개발된 뉴모타코그래프(pneumotachograph)가 연결된 마스크로 역여과(inverse filtering) 기법을 이용하여 호기류율을 산출하는 방법을 사용하기 시작하였고, 이를 바탕으로 공기를 차단하여 음성산출 시 측정이 가능한 구강압력으로 성문하압을 예측하는 기류저지법(airway interrupted method)과 같은 비침습적 방법이 많이 사용되고 있다. 근래에는 이러한 비침습적 방법을 컴퓨터로 디지털화하여 자료를 수집하고 저장하는 Phonatory Function Analyzer(Nagashima Ltd., Tokyo,

1) 강남대학교 교육대학원 언어치료교육전공, jaeock@gmail.com

접수일자: 2014년 2월 9일

수정일자: 2014년 3월 12일

게재결정: 2014년 3월 23일

Japan), Aerophone II(Kay Elemetrics, NJ, USA), Phonatory Aerodynamic System(PAS; KayPENTAX, NJ, USA)과 같은 공기역학 측정 기기들이 상용화되고 있다. 이 중에서도 Aerophone II의 생산이 중단되면서 최근 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 기기는 PAS Model 6600이다.

공기역학적 검사를 이용한 음성평가는 정상음성과 장애음성의 여부를 판별할 수 있어야 한다. 음성장애가 있는 경우 발생 시 정상에 비해 성문을 지나가는 공기의 압력과 속도의 차이가 있으며, 일정한 소리의 강도를 산출하기 위해 요구되는 호흡의 능력과 공기역학적 특성이 달라진다. 가령, 과소기능성 음성장애의 경우 발생 시 성대가 불안전하게 접촉하므로 성문하압은 낮아지고 호기류율은 상승한다(Colton & Casper, 1996; Iwata et al., 1972; Klich & Sabo, 1988; Netsell et al., 1984; Tanaka & Gould, 1985; Yui et al., 2004). 반면, 과대기능성 음성장애는 성대를 강하게 접촉하여 발생하기 때문에 성문하압은 상승하고 호기류율은 낮아진다(Hillman et al., 1989; Stemple & Fry, 2010).

이렇게 공기역학적 특성은 음성장애의 특성에 따른 발생 시의 여러 해부학적 특성들과 생리적인 변수들, 가령 호흡기관으로부터 산출된 압력, 성대의 크기와 성대접촉의 양상 및 시간, 성도의 크기, 모양, 생체역학 등에 의해 달라지므로(Miller & Daniloff, 1993) 정상음성 산출 시 측정된 공기역학적 특성을 표준화하여 그 기준치를 마련함으로써 장애음성과 정상음성을 구분하는데 사용할 필요가 있다. 최근 PAS Model 6600에 대한 발생 시 성인과 아동의 공기역학적 변수들의 정상치가 보고되었는데(Zraick et al., 2011, 2013; Weinrich et al., 2012), 이 연구들에서 제시된 정상치들은 서양인을 대상으로 측정된 것으로 서양인과 동양인의 호흡이나 후두 기관의 생리적 특성과 물리적 특성의 차이로 발생할 수 있는 공기역학적 특성의 차이를 알 수 없기 때문에 이를 국내에 그대로 반영하는 것은 바람직하지 않다. 국내에 적용할 수 있는 정상음성의 표준화된 공기역학적 특성은 김재욱 외(2009)가 18-45세의 한국 정상 성인을 대상으로 측정된 연구가 있다. 그러나 이 연구에서는 PAS 프로그램에서 측정할 수 있는 다양한 변수들 중에서 음성효율성에 관련된 일부 변수들만을 제시함으로써 제한적인 정보만을 제공하고 있다.

음성장애를 평가하고 치료하는데 사용될 수 있는 공기역학적 변수들의 정상치를 표준화하기 위해서는 이 변수들이 변동적이지 않고 안정적으로 측정되는지를 살펴보는 것이 중요하다(Awan et al., 2013). Yiu 외(2004)의 연구에서는 최대연장발성시간을 5번 연속해서 측정하였을 때 반복 측정횟수가 증가할수록 그 시간이 점차 증가한다고 하였으나 60대 이상의 노인을 대상으로 한 Maslan 외(2010)의 연구에서는 최대연장발성시간을 3번 연속적으로 반복 측정하였을 때 측정치들 간에 통계적인 차이가 없다고 하였다. 성문하압의 경우에도 일부 연구에서는 동

일한 대상자가 성문하압을 여러 번 반복하여 측정할 때 그들 간의 차이가 없었다(Awan et al., 2013; Holmberg et al., 1994). Hiss 외(2001)의 연구에서도 성문하압을 3번 반복 측정하였을 때 이들 간의 통계적인 차이는 있었으나 임상적으로 큰 차이는 아니었다. 따라서 성문하압은 비교적 반복 측정횟수에 영향을 받지 않는 안정적인 공기역학적 변수라고 할 수 있다(Brown & McGlone, 1966; Brown & Shearer, 1970). 또한 성문하압 외의 다른 공기역학적 변수들의 측정-재측정치 신뢰도를 분석한 연구에서도 이들 간의 통계적인 차이가 없거나 그 차이가 크지 않았다(Leeper & Graves, 1984; Lee et al., 1999; Garrison, 2009). 그러나 이러한 결과와는 반대로 다른 연구에서는 성문하압이나 호기류율이 정상인이나 음성장애를 지닌 대상자 모두에서 반복하여 측정할 때 대상자 내 변이성(intra-subject variability)이 커서 공기역학적 변수의 정상치를 표준화할 때에는 연령 범위, 성별, 성대의 상태가 보다 동일한 대상자들과 많은 수를 포함시켜 측정할 것을 제안하였다(Higgins et al., 1994; Schutte, 1992). 이렇게 공기역학적 특성을 동일한 대상자에서 반복하여 측정할 때 그 측정치들 간의 변이성에 대한 의견은 다양하다.

이에 본 연구에서는 PAS Model 6600을 이용하여 음성장애가 없는 한국 정상 남녀 성인을 대상으로 발생 시 공기역학적 변수들의 정상치를 표준화하고, 각 공기역학적 변수들을 반복하여 측정한 측정치들 간에 차이가 있는지를 살펴봄으로써 공기역학적 측정의 신뢰도를 평가하고 이를 통해 보다 정확한 정상치의 기준을 마련하여 추후 음성장애와 관련된 임상과 연구에서 이를 활용하는데 기여하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상

본 연구에 참여한 대상은 과거력 상 호흡기질환, 신경계질환, 갑상선질환 및 후두질환을 경험한 적이 없으며, 조음기관의 구조적 및 기능적인 이상이 없고 정상 청력을 가졌으며, 데이터 수집일을 기준으로 최근 2주 동안 호흡기질환이 없는 사람으로 하였다. 그들 중에서 정상 대화 시 임상경력이 3년 이상인 언어치료사 2인에 의해 평가된 청지각적 평가(GRBAS 척도 중 G)가 0점이고, 후두전문의에 의한 후두스트로보스코피(laryngostroboscopy) 소견 상 후두 구조가 정상인 18-49세까지의 정상 한국인 남성 70명과 여성 100명을 대상으로 하였다. 특히 여성은 호르몬의 변화에 따른 음성의 변화가 있을 수 있기 때문에 폐경이 되지 않고 검사 당일 월경 중에 있지 않은 여성만 포함시켰다. 대상자의 평균연령은 남성이 27.83(SD=7.53)세, 여성은 25.75(SD=5.72)세로 두 집단 간에 통계적으로 유의미한 차이가 없었다. 성별 및 연령에 따른 대상자 수는 <표 1>과 같다.

표 1. 성별 및 연령에 따른 대상자 수  
Table 1. Number of participants by gender and age

	20대	30대	40대	총
남성	50	11	9	70
여성	80	16	4	100
총	130	27	13	170

2.2 연구 절차

대상자들은 서울에 소재한 대학병원 이비인후과 음성클리닉을 방문하여 소음이 통제된 방에서 편안한 자세로 앉은 다음, PAS Model 6600을 이용한 공기역학적 검사 중 최대연장발성(Maximum Sustained Phonation; MXPH) 과제와 음성효율성(Voicing Efficiency; VOEF) 과제를 실시하였다. 각 과제를 실시하기 전에 교정(calibration)용 1.0 Liter syringe를 이용하여 ±1%를 넘지 않도록 교정을 실시하였다.

MXPH 과제는 모음을 최대한 길게 발성할 때의 공기역학적 특성을 측정하는 것으로, 대상자는 바깥 손잡이를 양손으로 잡은 상태에서 숨을 깊게 들이마신 후 뉴모타코그래프에 연결되어 있는 마스크를 얼굴에 밀착하고 편안한 음높이와 음크기로 /a/ 모음을 최대한 길게 발성하였고, 이를 3회 반복 시행하였다. 본 검사는 연구자가 시범을 보이고 대상자가 과제를 충분히 이해하고 연습한 후에 실시하였다.

VOEF 과제는 파열음과 유성음을 번갈아 산출하는 기류저지법을 이용하였는데, 이 방법은 대상자가 바깥 손잡이를 양손으로 잡은 상태에서 뉴모타코그래프에 연결되어 있는 직경이 1mm 되는 일회용 플라스틱 튜브를 마스크에 끼운 상태에서 숨을 충분히 들이 마신 후 마스크를 얼굴에 밀착시켜 튜브를 앞니 사이에 위치시키고, 한 호흡에 편안한 음높이와 음크기에서 /pa/를 1초에 한 번씩 같은 강세를 주면서 산출하는 속도로 연속하여 5번 반복하였으며, 이를 3회 반복 시행하였다. 이 때 대상자가 치아로 튜브를 강하게 물지 않도록 주의시켰다. 검사를 실시하기 전 마스크와 튜브를 착용하지 않은 상태에서 대상자가 /pa/를 정확하게 산출할 수 있도록 충분한 연습기회를 제공하였다.

2.3 자료 분석

본 연구에 사용된 공기역학적 변수들은 PAS Model 6600으로 분석하였으며 <부록 1>에 제시하였고, 각 변수들의 약자는 PAS Model 6600 매뉴얼(2006)에 제시한 것을 그대로 사용하였다. MXPH 과제에서 최대음압(Maximum SPL; MAXDB), 최소음압(Minimum SPL; MINDB), 평균음압(Mean SPL; MEADB), 음압범위(SPL Range; RANDB), 유성음산출 시 평균음압(Mean SPL during Voicing; DHODB), 평균음도(Mean Pitch; MEAP), 최대연장발성시간(Phonation Time; PHOT), 최고호기류율(Peak

Expiratory Airflow; PEF), 평균호기류율(Mean Expiratory Airflow; MEAF), 호기량(Expiratory Volume; FVC)을 측정하였으며, European Laryngological Society(Dejonckere et al., 2001)에서 제시한 바와 같이 이를 3회 반복 측정하였다.

VOEF 과제에서는 최대음압(Maximum SPL; MAXDB), 평균음압(Mean SPL; MEADB), 유성음산출 시 평균음압(Mean SPL during Voicing; DHODB), 평균음도(Mean Pitch; MEAP), 음도범위(Pitch Range; RANP), 호기류지속시간(Expiratory Airflow Duration; FET100), 최고성문하압(Peak Air Pressure; RAP), 평균성문하압(Mean Air Pressure; MPAP), 최고호기류율(Peak Expiratory Airflow; PEF), 표적호기류율(Target Airflow; TARF), 호기량(Expiratory Volume; FVC), 유성음산출 시 평균호기류율(Mean Airflow during Voicing; MFPHO), 공기역학(Aerodynamic Power; APOW), 성문저항(Aerodynamic Resistance; ARES), 음성효율성(Aerodynamic Efficiency; AEF)을 측정하였으며, PAS 6600 매뉴얼(KayPENTAX, 2006)에 의거하여 5번 반복한 것 중 중간의 3회 반복 측정값의 평균을 산출하였고, 이를 3회 반복한 것을 채택하였다.

수집된 자료의 통계분석은 SPSS 20.0™ 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL)으로 처리하였다. 기술통계를 이용하여 세 번씩 반복 측정된 각 공기역학적 변수 측정치들의 평균과 표준편차를 산출하였고, 각 변수별 반복 측정횟수와 성별에 따른 반복 측정치들 간의 차이는 이원요인 반복측정 분산분석으로 검정하였다. 반복측정 분산분석에서 Mauchly의 구형성 검정에 의해 구형성이 가정된 경우에는 개체 내 효과 검정의 구형성 가정값을 사용하였고, 구형성 가정이 되지 않은 경우는 Greenhouse-Geisser로 수정한 값을 사용하였다. 또한 각 공기역학적 변수들의 성별에 따른 차이는 기술통계를 이용하여 각 변수별로 3회 반복 측정된 측정치들의 평균값을 산출한 후 독립표본 t 검정으로 분석하였다.

3. 결과

3.1 반복 측정횟수와 성별에 따른 공기역학적 변수의 반복측정 분산분석 결과

MXPH 과제에서 반복 측정횟수와 성별에 따른 공기역학적 변수들의 반복측정 분산분석 결과는 <표 2>와 같다. 반복 측정횟수와 성별 간의 유의미한 상호작용이 나타난 변수는 <그림 1>과 같이 MEADB로 그 평균값은 반복 측정횟수가 증가할수록 남성에서 감소하는 반면, 여성에서는 증가하였다( $F=5.709, p=.004$ ). 반복 측정횟수에 따른 차이는 FVC에서만 유의미하게 나타났다( $F=3.570, p=.033$ ). 그 외 모든 변수에서는 반복 측정횟수와 성별 간의 상호작용과 반복 측정횟수나 성별에 따른 주효과가 없었다. MEADB는 상호작용 효과가 있어 주효과 분석을 실시하지는 않았다.

표 2. 최대연장발성(MXPH) 과제에서 반복 측정횟수와 성별에 따른 공기역학적 변수들의 반복측정 분산분석 결과

Table 2. Repeated measures ANOVAs for aerodynamic parameters as a function of trial and gender in MXPH

MXPH	Source	F	p
MAXDB	Trial	.288	.712
	Trial x Gender	1.086	.331
MINDB	Trial	3.123	.050
	Trial x Gender	.172	.823
MEADB	Trial	.704	.489
	Trial x Gender	5.709	.004*
RANDB	Trial	2.718	.870
	Trial x Gender	.590	.553
DHODB	Trial	.662	.435
	Trial x Gender	3.085	.076
MEAP	Trial	.646	.525
	Trial x Gender	.059	.943
PHOT	Trial	.361	.697
	Trial x Gender	.925	.398
PEF	Trial	.081	.909
	Trial x Gender	2.195	.118
MEAF	Trial	2.007	.142
	Trial x Gender	.370	.667
FVC	Trial	3.570	.033*
	Trial x Gender	.077	.913

\*p < .05: Abbreviations are on <Appendix 1>.

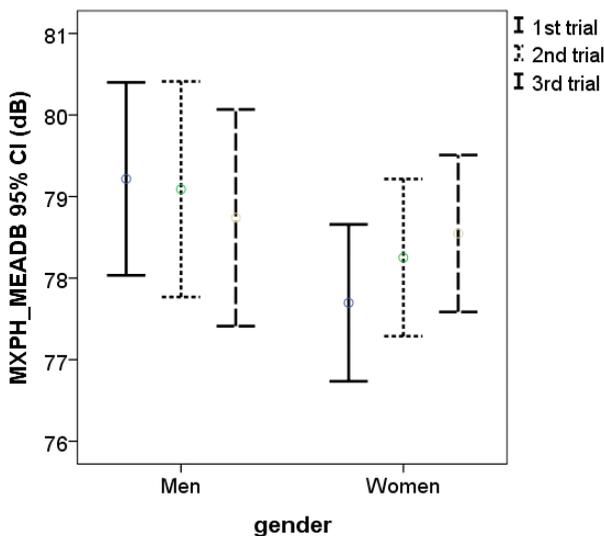


그림 1. MXPH 과제에서 성별과 반복 측정횟수에 따른 평균음압(MEADB)

Figure 1. MEADBs in MXPH by trials and gender

VOEF 과제에서 반복 측정횟수와 성별에 따른 변수들의 반복측정 분산분석 결과는 <표 3>에 제시하였다. 반복 측정횟수

와 성별 간의 상호작용 효과가 있는 변수는 <그림 2>의 MPAP였고, 그 외에 반복 측정횟수와 성별 간의 상호작용이 있는 변수는 없었다. MPAP는 반복 측정횟수가 증가할수록 남성은 점차 증가하였고, 여성은 첫 번째에서 두 번째 측정할 때 증가하였으나 그 후 더 이상 증가하지 않았다(F=3.681, p=.029). 반복 측정횟수에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 있었던 변수는 DHODB(F=8.152, p=.001), MEAP(F=11.151, p<.001), FET100(F=14.321, p<.001), RAP(F=3.849, p=.025), FVC(F=6.987, p=.001)였다. MPAP는 상호작용 효과가 있어 주효과 분석은 실시하지 않았다.

표 3. VOEF 과제에서 반복 측정횟수와 성별에 따른 공기역학적 변수들의 반복측정 분산분석 결과

Table 3. Repeated measures ANOVAs for aerodynamic parameters as a function of trial and gender in VOEF

VOEF	Source	F	p
MAXDB	Trial	1.817	.166
	Trial x Gender	2.358	.099
MEADB	Trial	.706	.419
	Trial x Gender	1.079	.309
DHODB	Trial	8.152	.001*
	Trial x Gender	1.402	.248
MEAP	Trial	11.151	<.001*
	Trial x Gender	1.051	.340
RANP	Trial	.217	.805
	Trial x Gender	.044	.957
FET100	Trial	14.321	<.001*
	Trial x Gender	.976	.362
RAP	Trial	3.849	.025*
	Trial x Gender	1.734	.181
MPAP	Trial	6.071	.003*
	Trial x Gender	3.681	.029*
PEF	Trial	.568	.555
	Trial x Gender	.267	.750
TARF	Trial	2.808	.069
	Trial x Gender	2.331	.106
FVC	Trial	6.987	.001*
	Trial x Gender	2.730	.068
MFPHO	Trial	2.563	.080
	Trial x Gender	2.412	.093
APOW	Trial	.824	.424
	Trial x Gender	2.111	.130
ARES	Trial	1.632	.202
	Trial x Gender	.840	.411
AEFF	Trial	2.449	.101
	Trial x Gender	2.957	.067

\*p < .05: Abbreviations are on <Appendix 1>.

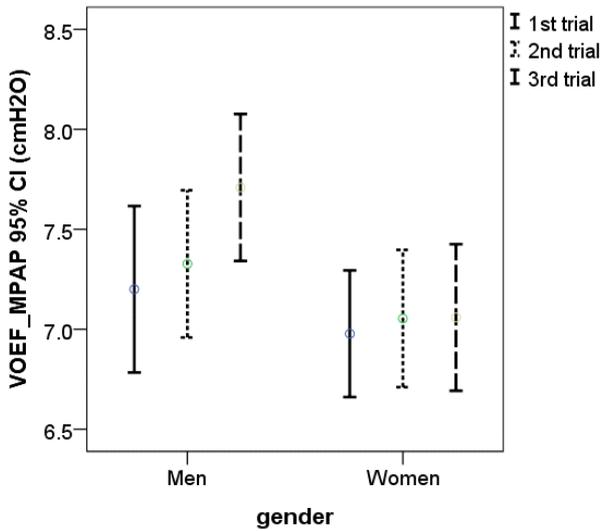


그림 2. VOFE 과제에서 성별과 반복 측정횟수에 따른 평균성문하압(MPAP)

Figure 2. MPAPs in VOFE by trials and gender

표 4. MXPB 과제에서 반복 측정횟수에 따른 공기역학적 변수들의 측정치

Table 4. Aerodynamic parameters by trial in MXPB

MXPB	Gender	Trial 1 M (SD)	Trial 2 M (SD)	Trial 3 M (SD)
MAXDB	Men	84.06 (4.41)	84.02 (4.34)	83.68 (4.53)
	Women	82.45 (4.51)	82.85 (4.58)	82.86 (4.65)
MINDB	Men	64.28 (10.71)	66.24 (9.14)	66.74 (9.12)
	Women	61.79 (10.52)	62.70 (8.01)	64.09 (5.94)
MEADB	Men	79.22 (4.16)	79.09 (4.65)	78.74 (4.67)
	Women	77.70 (4.46)	78.25 (4.47)	78.55 (4.46)
RANDB	Men	19.77 (10.23)	17.78 (9.07)	16.93 (8.86)
	Women	20.21 (8.52)	20.14 (8.63)	18.75 (7.06)
DHODB	Men	79.47 (4.21)	79.12 (4.66)	78.78 (4.68)
	Women	76.95 (8.81)	78.30 (4.48)	78.56 (4.47)
MEAP	Men	121.70 (17.51)	121.36 (15.12)	120.39 (15.17)
	Women	219.49 (17.84)	218.76 (19.65)	218.49 (18.55)
PHOT	Men	20.82 (6.02)	20.73 (6.21)	20.61 (6.54)
	Women	15.21 (4.54)	15.81 (4.19)	15.77 (4.32)
PEF	Men	0.30 (0.13)	0.33 (0.20)	0.36 (0.18)
	Women	0.20 (0.39)	0.19 (0.27)	0.15 (0.11)
MEAF	Men	0.15 (0.07)	0.15 (0.07)	0.16 (0.07)
	Women	0.08 (0.06)	0.08 (0.06)	0.09 (0.08)
FVC	Men	2.87 (0.97)	2.94 (1.12)	3.01 (1.11)
	Women	1.19 (0.89)	1.23 (0.8)	1.30 (1.00)

M=mean, SD: standard deviation; Abbreviations are on <Appendix 1>.

MXPB 과제의 반복 측정횟수에 따른 공기역학적 변수들의 평균과 표준편차는 <표 4>에 제시하였다. MXPB 과제에서 반복 측정횟수에 따라 통계적으로 유의미한 차이를 보인 FVC는 남성과 여성 모두 반복 측정횟수가 증가할수록 측정치의 평균 값이 점차 증가하였으며, 첫 번째와 세 번째 측정치 간의 차이가 남성은 0.14 Liters, 여성은 0.11 Liters였다.

표 5. VOFE 과제에서 반복 측정횟수에 따른 공기역학적 변수들의 측정치

Table 5. Aerodynamic parameters by trial in VOFE

VOEF	Gender	Trial 1 M (SD)	Trial 2 M (SD)	Trial 3 M (SD)
MAXDB	Men	83.52 (3.58)	83.46 (3.60)	83.67 (3.52)
	Women	82.08 (4.39)	82.61 (4.43)	82.39 (4.48)
MEADB	Men	81.50 (3.68)	81.66 (3.60)	81.05 (8.70)
	Women	80.25 (4.20)	80.74 (4.37)	80.71 (4.53)
DHODB	Men	81.50 (3.68)	81.66 (3.55)	81.92 (3.52)
	Women	80.25 (4.20)	80.76 (4.35)	80.72 (4.54)
MEAP	Men	122.09 (14.23)	123.58 (13.88)	124.29 (13.53)
	Women	220.09 (18.47)	220.52 (20.27)	222.65 (19.71)
RANP	Men	6.08 (3.35)	5.95 (5.03)	5.38 (3.83)
	Women	12.81 (25.37)	13.27 (25.91)	11.63 (23.50)
FET100	Men	0.78 (0.23)	0.74 (0.22)	0.72 (0.21)
	Women	0.77 (0.23)	0.76 (0.20)	0.74 (0.19)
RAP	Men	7.98 (1.86)	8.14 (1.59)	8.39 (1.79)
	Women	7.58 (1.62)	7.60 (1.75)	7.66 (1.82)
MPAP	Men	7.20 (1.73)	7.33 (1.53)	7.71 (1.53)
	Women	6.98 (1.59)	7.05 (1.72)	7.06 (1.84)
PEF	Men	0.26 (0.18)	0.25 (0.16)	0.24 (0.13)
	Women	0.10 (0.07)	0.10 (0.06)	0.10 (0.07)
TARF	Men	0.19 (0.09)	0.18 (0.09)	0.18 (0.09)
	Women	0.08 (0.06)	0.08 (0.06)	0.08 (0.06)
FVC	Men	0.14 (0.08)	0.13 (0.07)	0.13 (0.07)
	Women	0.07 (0.05)	0.06 (0.05)	0.06 (0.05)
MFPHO	Men	0.19 (0.09)	0.18 (0.08)	0.18 (0.09)
	Women	0.08 (0.05)	0.08 (0.05)	0.08 (0.05)
APOW	Men	0.14 (0.08)	0.13 (0.07)	0.14 (0.08)
	Women	0.05 (0.04)	0.06 (0.04)	0.06 (0.04)
ARES	Men	60.34 (93.73)	63.78 (78.24)	70.82 (97.28)
	Women	162.07 (172.26)	167.91 (184.48)	165.31 (169.57)
AEFF	Men	255.81 (306.30)	245.71 (188.77)	249.27 (189.08)
	Women	673.11 (824.57)	821.64 (1044.49)	850.30 (1251.58)

M=mean, SD: standard deviation; Abbreviations are on <Appendix 1>.

VOFE 과제의 반복 측정횟수에 따른 공기역학적 변수들의 평균과 표준편차는 <표 5>와 같다. VOFE 과제에서 반복 측정 횟수에 따라 통계적 차이를 보인 변수들 중에서 반복 측정횟수

가 증가할수록 측정치의 평균값이 증가한 변수는 DHODB, MEAP, RAP였고, 측정치의 평균값이 감소한 변수는 FET100와 FVC였다. DHODB에서 첫 번째와 세 번째 측정치 간의 차이가 남성은 0.42 dB였고, 여성은 0.47 dB였다. MEAP는 첫 번째와 세 번째 측정치 간의 차이가 남성은 2.20 Hz, 여성은 2.56 Hz였다. RAP는 첫 번째와 세 번째 측정치 간의 차이가 남성은 0.41 cm H<sub>2</sub>O, 여성은 0.08 cm H<sub>2</sub>O였다. 그리고 남성과 여성 모두 반복 측정횟수가 증가할수록 감소하는 경향을 보인 FET100은 첫 번째와 세 번째 측정치 간의 차이가 남성은 0.06 초, 여성은 0.03 초였으며, FVC는 첫 번째와 세 번째 측정치 간의 차이가 남성과 여성 모두에서 0.01 Liters였다.

3.2 성별에 따른 공기역학적 변수 비교

MXPH 과제에서 공기역학적 변수들의 성별에 따른 차이는 <표 6>과 같다. 남성이 여성에 비해 측정치가 통계적으로 유의하게 높은 변수는 MINDB( $t=2.571, p=.011$ ), PHOT( $t=5.590, p<.001$ ), PEF( $t=5.197, p<.001$ ), MEAF( $t=3.976, p<.001$ ),

FVC( $t=10.370, p<.001$ )였고, 여성이 남성보다 높은 변수는 RANDB( $t=-1.993, p=.048$ ), MEAP( $t=-36.244, p<.001$ )였다. 그러나 MAXDB( $t=1.251, p=.213$ ), MEADB( $t=1.079, p=.282$ ), DHODB( $t=-0.186, p=.853$ )는 성별에 따라 유의미한 차이가 없었다.

VOEF 과제는 <표 7>과 같이 남성이 여성에 비해 측정치가 높게 나타난 공기역학적 변수는 RAP( $t=2.391, p=.018$ ), PEF( $t=9.039, p<.001$ ), TARF( $t=8.915, p<.001$ ), FVC( $t=7.465, p<.001$ ), MFPHO( $t=8.894, p<.001$ ), APOW( $t=8.226, p<.001$ )였으며, 여성이 남성보다 높은 변수는 MEAP( $t=-39.171, p<.001$ ), RANP( $t=-3.096, p=.002$ ), ARES( $t=-4.470, p<.001$ ), AEFf( $t=-5.295, p<.001$ )로 나타났다. 측정치가 성별에 따라 유의미한 차이가 없는 변수는 MAXDB( $t=1.953, p=.052$ ), MEADB( $t=1.180, p=.240$ ), DHODB( $t=1.767, p=.079$ ), FET100( $t=-0.350, p=.727$ ), MPAP( $t=1.818, p=.071$ )였다.

표 6. MXPH 과제에서 공기역학적 변수들의 성별에 따른 차이  
Table 6. Differences of aerodynamic parameters by gender in MXPH

MXPH	Gender	Current Study				Zraick et al(2013)'s Study	
		M (SD)	Median (Quartile Range)	95% CI	Min-Max Range	M(SD)	Min-Max Range
MAXDB	Men	83.84 (3.91)	83.33 (5.41)	82.91-84.77	76.20-93.97	81.14 (4.66)	77.00-94.36
	Women	83.02 (4.38)	83.01 (5.52)	82.16-83.89	72.95-93.75	82.98 (4.96)	71.44-93.98
MINDB	Men	66.27 (7.65)	67.31 (9.34)	64.45-68.09	45.22-81.57	59.92 (7.31)	36.27-74.72
	Women	63.53 (5.48)	63.97 (7.29)	62.44-64.62	46.86-74.65	62.32 (8.35)	36.55-71.97
MEADB	Men	79.21 (4.19)	79.06 (5.18)	78.21-80.21	68.17-87.57	76.47 (5.56)	69.07-90.16
	Women	78.49 (4.41)	78.69 (5.74)	77.61-79.36	67.08-90.30	77.74 (5.46)	65.39-90.56
RANDB	Men	17.57 (7.20)	15.38 (9.20)	15.85-19.29	7.01-46.06	21.22 (11.45)	8.62-49.67
	Women	19.58 (5.92)	18.94 (7.77)	18.41-20.75	7.80-35.09	20.66 (7.86)	9.04-55.80
DHODB	Men	79.31 (4.26)	79.08 (5.74)	78.30-80.33	68.16-87.57	76.59 (5.75)	69.79-90.24
	Women	79.50 (7.81)	78.75 (5.81)	77.95-81.05	67.09-133.53	77.84 (5.37)	65.42-90.57
MEAP	Men	122.35 (15.60)	122.13 (17.88)	118.63-126.07	82.02-168.84	114.22 (11.93)	92.71-195.99
	Women	217.81 (18.60)	220.13 (26.77)	214.12-221.51	165.23-249.63	212.53 (23.14)	158.57-259.79
PHOT	Men	21.15 (7.11)	21.27 (9.96)	19.46-22.84	10.68-47.74	21.89 (5.99)	9.89-32.84
	Women	15.82 (4.33)	15.19 (6.57)	14.96-16.68	6.77-28.20	22.00 (5.74)	5.25-28.96
PEF	Men	0.31 (0.13)	0.31 (0.18)	0.28-0.34	0.08-0.69	0.29 (0.17)	0.06-3.54
	Women	0.17 (0.20)	0.14 (0.10)	0.13-0.21	0.02-1.81	0.23 (0.11)	0.03-1.76
MEAF	Men	0.14 (0.07)	0.14 (0.10)	0.13-0.16	0.03-0.34	0.14 (0.08)	0.04-0.43
	Women	0.09 (0.09)	0.07 (0.10)	0.08-0.11	0.01-0.71	0.13 (0.06)	0.02-0.26
FVC	Men	2.84 (1.11)	2.91 (1.56)	2.57-3.10	0.43-4.84	2.85 (1.46)	0.49-5.87
	Women	1.27 (0.85)	1.08 (1.49)	1.10-1.44	0.14-3.34	2.71 (0.98)	0.20-3.75

\* $p < .05$ ; M=mean, SD: standard deviation, CI: Confidence Interval; Other abbreviations are on <Appendix 1>. The data of Zraick et al(2013) are from 18 to 39 year-old data.

표 7. VOFE 과제에서 공기역학적 변수들의 성별에 따른 차이  
Table 7. Differences of aerodynamic parameters by gender in VOFE

VOFE	Gender	Current Study				Zraick et al(2013)'s study	
		M(SD)	Median (Quartile Range)	95% CI	Min-Max Range	M(SD)	Min-Max Range
MAXDB	Men	83.57 (3.46)	83.97 (4.90)	82.74-84.39	72.92-90.92	81.31 (3.90)	72.50-89.12
	Women	82.40 (4.28)	82.57 (6.62)	81.56-83.25	73.21-90.98	82.57 (3.50)	72.06-88.16
MEADB	Men	81.43 (4.69)	82.19 (4.74)	80.31-82.55	54.86-88.69	77.00 (4.69)	66.88-86.76
	Women	80.61 (4.27)	81.10 (6.16)	79.77-81.46	72.21-89.73	78.12 (7.93)	67.74-85.56
DHODB	Men	81.72 (3.50)	82.19 (4.75)	80.88-82.55	70.90-88.69	77.02 (4.68)	66.88-86.76
	Women	80.63 (4.27)	81.11 (5.99)	79.78-81.47	72.21-89.72	78.73 (3.93)	67.76-85.56
MEAP	Men	123.39 (13.66)	125.14 (15.06)	120.13-126.65	93.18-166.68	121.11 (21.01)	81.78-159.28
	Women	221.19 (18.89)	221.75 (29.25)	217.44-224.94	163.32-253.70	195.52 (27.95)	132.78-241.76
RANP	Men	5.78 (3.31)	4.66 (2.86)	4.99-6.57	1.64-17.97	20.73 (22.59)	4.90-80.92
	Women	12.51 (17.95)	6.40 (4.11)	8.95-16.07	3.06-109.39	35.05 (35.24)	7.35-159.09
FET100	Men	0.74 (0.21)	0.68 (0.22)	0.69-0.79	0.44-1.40	1.37 (0.35)	0.62-3.03
	Women	0.76 (0.19)	0.71 (0.24)	0.72-0.79	0.42-1.68	1.34 (0.42)	0.72-2.35
RAP	Men	8.24 (1.69)	8.34 (2.17)	7.83-8.64	2.97-13.18	7.55 (2.24)	4.64-16.41
	Women	7.62 (1.61)	7.58 (2.38)	7.30-7.94	4.24-11.28	6.65 (1.96)	2.60-11.17
MPAP	Men	7.48 (1.57)	7.76 (2.05)	7.10-7.85	2.82-12.00	6.08 (1.65)	3.59-11.43
	Women	7.03 (1.59)	7.00 (2.46)	6.72-7.34	3.80-10.38	5.57 (1.72)	2.52-8.68
PEF	Men	0.25 (0.13)	0.26 (0.14)	0.22-0.28	0.02-0.86	0.42 (0.38)	0.07-1.42
	Women	0.10(0.06)	0.09 (0.09)	0.09-0.11	0.01-0.36	0.19 (0.10)	0.05-0.41
TARF	Men	0.19 (0.09)	0.20 (0.11)	0.17-0.21	0.01-0.40	0.15 (0.09)	0.01-0.38
	Women	0.08 (0.06)	0.07 (0.08)	0.07-0.09	0.01-0.29	0.11 (0.05)	0.02-0.21
FVC	Men	0.14 (0.07)	0.13 (0.07)	0.12-0.15	0.01-0.34	0.21 (0.15)	0.01-0.61
	Women	0.06 (0.05)	0.05 (0.08)	0.05-0.07	0.00-0.23	0.17 (0.12)	0.03-0.50
MFPHO	Men	0.18 (0.09)	0.19 (0.11)	0.16-0.20	0.01-0.39	0.12 (0.05)	0.01-0.37
	Women	0.08 (0.05)	0.07 *0.08)	0.07-0.09	0.01-0.29	0.11 (0.05)	0.02-0.21
APOW	Men	0.14 (0.08)	0.14 (0.12)	0.12-0.16	0.010-0.380	0.09 (0.07)	0.01-0.25
	Women	0.06 (0.04)	0.05 (0.05)	0.05-0.06	0.010-0.220	0.06 (0.04)	0.01-0.18
ARES	Men	64.59 (86.90)	40.20 (25.16)	43.86-85.31	14.61-658.75	52.60 (30.31)	17.12-679.14
	Women	164.33 (171.85)	110.62 (123.25)	130.23-198.42	26.36-1,047.10	55.18 (30.64)	2.19-289.59
AEFF	Men	247.83 (215.55)	184.74 (209.25)	196.44-299.23	50.43-1,537.13	45.81 (21.37)	22.94 -244.56
	Women	782.77 (976.97)	362.70 (857.74)	588.92-976.63	48.40-5,786.12	103.66 (57.29)	13.12-1,038.30

\*  $p < .05$ ; M=mean, SD: standard deviation, CI: Confidence Interval; Other abbreviations are on <Appendix 1>. The data of Zraick et al(2013) are from 18 to 39 year-old data.

#### 4. 논의

본 연구는 정상 한국 성인의 발성 시 KayPENTAX사의 PAS Model 6600을 이용한 공기역학적 특성을 살펴보고, 음성장애를 평가하고 치료할 때 기준으로 사용할 수 있는 공기역학적 변수들의 표준화된 정상치를 마련하고자 실시되었다.

최근 공기역학적 특성을 살펴본 국외 연구로는 Aerophone II를 이용하여 20~80세의 109명(남성 56명, 여성 53명)의 자료를 분석한 연구(Goozée et al., 1998)가 있고, PAS Model 6600을 사

용하여 18~86세의 157명(남성 68명, 여성 89명)을 대상으로 정상치를 측정된 연구(Zraick et al., 2011, 2013)와 18~31세의 60명(남성 30명, 여성 30명)에서 공기역학적 측정치의 검사-재검사 신뢰도를 조사한 연구(Awain & Alphonso, 2007)가 있다. 이 들에서 제시한 측정치들은 백인을 대상으로 하였기 때문에 서양인과 동양인의 인종적 차이에서 기인하는 신체, 특히 호흡계와 후두계의 생리적-물리적 특성과 이로 인한 공기역학적 특성의 차이는 제시할 수가 없다. 따라서 Aerophone II나 PAS 등의 공기역학적 기기를 한국인에 적용하기 위해서는 한국인을 대상

으로 정상치를 파악해야 한다.

우선, 국내의 공기역학적 특성에 관한 선행연구들을 살펴보면, 20명 이내의 소수 정상인을 대상으로 Phonatory Function Analyzer를 이용한 연구들(남도현 외, 2005; 박상희 외, 2001; 안성운 외, 2003)과 Aerophone II를 이용한 연구들(서장수 외, 1997; 안태섭 외, 1997; 최홍식 외, 2000)이 있으며, PAS 6600을 사용하여 분석한 연구(박선영 외, 2008)가 있다. Goozée 외(1998)와 Holmberg 외(1988)에 따르면 호기류율, 성문저항, 공기역학, 음성효율성과 같은 공기역학적 변수들은 대상자들 간에 변이성(inter-subject variability)이 높기 때문에 정상 음성 기능을 대표하는 측정치를 수집하기 위해서는 많은 대상자를 포함해야 한다고 하였다.

많은 한국인 정상인을 대상으로 공기역학적 변수들의 표준치를 살펴보고자 한 연구로는 Aerophone II를 이용하여 10~69세의 234명(남성 112명, 여성 122명) 정상인을 대상으로 분석한 연구(서장수 외, 1997)와 PAS 6600을 이용하여 18~45세의 155명(남성 71명, 여성 84명)을 대상으로 정상치를 살펴본 연구(김재옥 외, 2009)를 제외하고는 국내 정상 음성의 데이터를 구체적으로 보고한 기록이 없다. 서장수 외(1997)의 연구에서는 MXPB 과제를 시행하면서 최대연장발성시간, 발성기류량 및 평균호기류율을 측정하였고, 기류차단법으로 성문하압만을 측정하여 그 이외의 공기역학적 변수들에 대한 정보는 파악할 수 없다. 공기역학적 변수들은 음성강도나 기본주파수를 포함하여 서로 간에 매우 밀접한 관계가 있기 때문에 임상에서 가장 많이 보고자 하는 변수라는 이유만으로 단순히 발성 시 호기량, 호기류율, 성문하압만을 제시하는 것은 바람직하지 않고, 서로에게 상호 영향을 미치는 변수들을 모두 제시해 주어야 한다(김재옥 외, 2009; Holmberg, et al., 1988; Isshiki & von Leden, 1964). 이를 보정하기 위하여 김재옥 외(2009)의 연구에서는 음성강도와 기본주파수를 포함한 여러 공기역학적 변수들의 성별에 따른 차이를 분석하면서 정상치를 제시하고자 하였으나 이 또한 VOEF 과제의 일부 변수들로만 구성되어 있으며, 임상에서 흔히 측정하고 있는 MXPB 과제에서 측정되는 변수들은 포함하지 않았다. 또한 김재옥 외(2009)의 연구에서는 Awan 외(2013)이나 Yiu 외(2004)가 언급한 공기역학적 변수들의 반복하여 측정할 때의 측정치들의 변화를 살펴보지 않았기 때문에 김재옥 외(2009)의 연구에서 제시하고 있는 한국인의 공기역학적 특성에 관하여 제시한 변수들의 평균값을 정상치로 사용하는 것은 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 김재옥 외(2009)의 연구를 확장하여 좀 더 많은 대상자를 포함시켰으며, 이들로부터 측정할 수 있는 모든 변수들의 측정값을 제시할 뿐 아니라 이들을 반복적으로 측정할 때 그 반복 측정횟수에 따라 어떠한 차이가 있는지를 살펴봄으로써 보다 정확한 공기역학적 변수들의 정상치와 변수들의 오차 없는 측정값을 산출할 수 있는 반복 측정횟수의 기준

을 마련하고자 하였다.

본 연구의 결과를 대한 논의는 다음과 같다.

반복 측정횟수에 따른 차이는 MXPB 과제에서 평균음압(MEADB)만이 반복 측정횟수와 성별에 따른 상호작용이 유의미하게 나타났다. 즉 평균음압은 반복 측정할수록 남성은 감소하는 반면, 여성은 증가하는 경향을 보였다. 그러나 남성의 평균음압은 첫 번째 측정치가 79.22 dB, 세 번째 측정치가 78.74 dB였고, 여성은 각각 77.70 dB, 78.55 dB로 남녀 모두에서 첫 번째와 세 번째 측정치 간의 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 남성과 여성 모두에서 반복 측정할수록 측정치가 증가하는 변수는 호기량(FVC)이었으나 이 또한 남녀 모두에서 첫 번째 측정치와 마지막 측정치 간의 차이가 크지 않았다. 그 외의 다른 변수들, 특히 임상에서 중요하게 평가되는 평균음도(MEAP), 최대연장발성시간(PHOT) 및 평균호기류율(MEAF)은 세 번씩 반복 측정하는 동안 측정치들 간의 유의미한 차이가 없었다. 결론적으로 MXPB 과제는 여러 번 반복해서 측정하여도 측정치들 간의 차이가 없으므로 검사를 1회만 실시하더라도 정확하게만 측정한다면 검사의 결과가 신뢰성(reliability)이 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 Yiu 외(2004)의 연구결과와는 상반되는데, Yiu 외(2004)는 MXPB 과제를 5회 반복해서 측정한 결과 반복 횟수가 증가할수록 평균호기류율이 지속적으로 증가하는 양상을 보였기 때문에 평가자 내 변이성을 최소화시키기 위해서는 MXPB 과제는 최소 5회 이상 실시해야 한다고 제안하였다. 본 연구의 결과와 Yiu 외(2004)의 결과가 차이가 있는 것은 대상자의 수에 따른 차이에서 초래된 것으로 보인다. 본 연구에서는 170명의 정상 남성과 여성에서 측정된 결과인 반면, Yiu 외(2004)의 연구는 28명의 정상 여성에게만 측정된 것으로 대상자의 수가 적을수록 개개인의 변이에 따른 차이가 그대로 반영되어 나타났기 때문에 대상자 내 변이성이 크게 나타난 것으로 보인다.

반복 측정횟수에 따른 차이를 VOEF 과제에서 살펴보면, 반복 측정횟수가 증가할수록 측정치가 증가하는 변수는 유성음 산출 시 평균음압(DHODB), 평균음도, 최고성문하압(RAP)이었고, 반복 측정횟수가 증가할수록 측정치가 감소하는 변수는 호기류지속시간(FET100)과 호기량이었다. 그러나 모든 변수에서 첫 번째 측정치와 세 번째 측정치 간의 차이가 크지 않았으며, Yiu 외(2004)의 연구에서도 평균성문하압을 반복적으로 측정할 측정치들 간의 차이가 없었다. 다시 말해 VOEF 과제도 여러 번 반복해서 측정할 필요는 없다는 것을 알 수 있다. 그러나 보다 안정적인 공기역학적 변수들을 측정하기 위해서는 PAS Model 6600 매뉴얼(2006)에서 제시하는 대로 각 과제별로 3회 정도 반복해서 측정하는 것이 바람직할 것이다.

성별에 따른 차이를 보면, 우선 두 과제에서 남성과 여성 간의 차이가 없는 공기역학적 변수는 최고음압(MAXDB), 평균음압, 유성음 산출 시 평균음압, 호기류지속시간, 평균성문하압

(MPAP)이었다. 음압과 관련된 변수들과 성문하압은 성별에 따른 차이를 보이지 않아 편안한 상태에서 발생할 때 음압과 성문하압은 성별에 관계없이 유사하게 산출된다는 것을 알 수 있다. 이들을 각각 살펴보면, 평균음압의 평균값은 MXPB 과제에서 남성과 여성이 각각 83.84 dB, 83.02 dB였고, VOEF 과제에서는 각각 82.43 dB과 80.61 dB로 두 과제 모두 성별 간의 차이가 없었다. Zraick 외(2011, 2013)의 연구에 참여한 대상자 중 18~39세의 정상 성인의 평균음압의 평균값도 MXPB 과제에서 남성이 81.14 dB, 여성이 82.98 dB이었고, VOEF 과제에서는 각각 81.14 dB과 82.57 dB로 본 연구와 유사한 수치를 보였으며, Goozée 외(1998)의 연구에서도 성별에 따른 차이가 없었다.

또한 VOEF 과제에서 측정된 평균성문하압도 남성과 여성의 차이가 없었는데, 남성은 7.48 cm H<sub>2</sub>O, 여성은 7.03 cm H<sub>2</sub>O였다. 이는 Aerophone II로 평균성문하압을 측정한 서장수 외(1997), Goozée 외(1998) 및 Hiss 외(2001)와 PAS 6600을 이용한 Zraick 외(2011, 2013)의 연구와 동일한 결과로, 10~69세의 정상인을 대상으로 한 서장수 외(1997)의 연구는 남성과 여성이 각 4.1 cm H<sub>2</sub>O과 3.5 cm H<sub>2</sub>O였고, Goozée 외(1998)의 20~30세에서 남성과 여성은 각 9.34 cm H<sub>2</sub>O와 6.73 cm H<sub>2</sub>O, 31~40세는 6.56 cm H<sub>2</sub>O와 7.9 cm H<sub>2</sub>O, 41~50세는 7.86 cm H<sub>2</sub>O와 6.2 cm H<sub>2</sub>O로 이들을 평균한 값에서의 남녀 차이는 없었으며, Hiss 외(2001)의 연구는 20~39세에서 남성과 여성이 각 6.34 cm H<sub>2</sub>O, 6.31 cm H<sub>2</sub>O이었다. 18~89세 정상인을 대상으로 한 Zraick 외(2011, 2013)의 연구에서는 남성이 6.08 cm H<sub>2</sub>O, 여성이 5.57 cm H<sub>2</sub>O로 남녀 간의 차이가 없었다. 연구들마다 평균성문하압의 수치들이 다른 이유는 대상자의 수나 연구방법 또는 사용한 기기들의 차이에서 기인한 것으로 보인다. 평균성문하압이 남성과 여성 간에 차이가 있는 선행연구들(Awan et al., 2010; Bernthal & Beukelman, 1978; Subtelny et al., 1966; Stathopoulos, 1986)도 있으나 이 연구들에서도 평균성문하압의 남성과 여성 간의 평균 차이가 1 cm H<sub>2</sub>O 내외로 큰 차이는 나타나지 않았다.

두 과제에서 남성이 여성에 비해 높은 평균값을 보인 공기역학적 변수들은 최소음압(MINDB), 최대연장발성시간, 최고성문하압, 호기류율과 관련된 모든 변수들(최고호기류율(PEF), 평균호기류율, 표적호기류율(TARF), 유성음 산출시 평균호기류율(MFPHO)), 호기량, 공기역학(APOW)이었다. 이 중에서 최대연장발성시간은 남성이 21.15 초, 여성이 15.82 초였다. 남성이 여성에 비해 최대연장발성시간이 긴 이유는 남성이 여성에 비해 폐의 탄력성과 폐활량이 크기가 크기 때문이다(Schneider & Baken, 1984). 이를 다른 선행연구들과 비교해 보면, 서장수 외(1997)가 제시한 남성 20.8 초, 여성 17.2 초로 남성이 길며 본 연구 결과와 유사하였다. 그러나 Zraick 외(2011, 2013)의 18~39세 남성은 21.89 초, 여성은 22 초로 성별에 따른 차이가 없었고, 여성의 경우에는 본 연구에 비해 높은 수치를 보였다. 이러한 차이는 연구에 참여한 대상자들의 연령 분포에 따른 차이일 수

도 있지만 동양 여성과 서양 여성 간의 신체 구조가 달라 발생하는 폐활량이나 호흡계의 차이에서 초래된 것은 아닐까 생각된다. MXPB 과제의 호기량을 보면 <표 6>, 남성의 호기량 평균값은 본 연구(2.84 Liters)와 Zraick 외(2011, 2013)의 연구결과(2.85 Liters)와 차이가 없는 반면, 여성은 본 연구에서 1.27 Liters, Zraick 외(2011, 2013)는 2.71 Liters로 서양인의 호기량이 동양인에 비해 2배 이상 높다는 것을 알 수 있다. 이러한 차이가 본 연구와 Zraick 외(2011, 2013)의 여성들 간의 최대연장발성시간의 차이를 초래하였고, 그 결과 성별 간의 차이도 다르게 나타난 것으로 보인다.

평균호기류율 평균값은 MXPB 과제에서 남성이 0.14 Liters/sec, 여성이 0.09 Liters/sec였고, VOEF 과제의 표적호기류율의 평균값은 남성이 0.19 Liters/sec, 여성이 0.08 Liters/sec로 두 과제 모두에서 남성이 여성에 비해 높았으며, 이는 국내의 연구(서장수 외, 1997)에서 평균호기류율이 남성(0.17 Liters/sec)이 여성(0.13 Liters/sec)보다 높다는 결과와도 동일하다. 국외 대부분의 연구에서도 폐활량, 폐의 탄력성, 기류를 이동시키는 구동력(driving force) 뿐 아니라 성문의 크기, 성대입구의 크기 등과 관련된 호흡계와 후두계의 성별 간의 차이로 인해 호기류율은 남성이 여성에 비해 높다고 하였다(Awan & Alphonso, 2007; Isshiki & von Leden, 1964; Goozée et al., 1998; Higgins & Saxman, 1991; Holmberg et al., 1988; Holmes et al., 1994; Netsell et al., 1991; Stathopoulos & Sapienza, 1993; Wilson & Leeper, 1992). 다만, Zraick 외(2011, 2013)의 연구에서는 MXPB 과제의 평균호기류율이 남성 0.14 Liters/sec, 여성 0.13 Liters/sec로 이들 간에 차이가 없었으나 VOEF 과제에서의 평균호기류율이 남성은 0.15 Liter/sec, 여성은 0.11 Liters/sec로 남성이 여성에 비해 높은 수치를 보였다. 이와는 상반되게 Goozée 외(1998)에서는 VOEF 과제의 표적호기류율이 성별에 따라 통계적으로 차이가 없었다. 그러나 이 연구에서도 각 연령대별로 호기류율의 평균값은 남녀 간에 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 각 평균값의 성별 차이가 있음에도 불구하고 통계적으로 차이가 없었던 이유는 아마도 통계 분석방법에서 기인한 것으로 보인다. Goozée 외(1998)에서 이 연구에서는 성별과 6개 연령대별 간의 복잡한 이원분산분석을 실시함으로써 성별 간에 통계적인 유의미성이 없는 것으로 분석된 것 같다.

VOEF 과제의 공기역학은 남성이 0.14 watts, 여성은 0.06 watts로 남성이 여성에 비해 높았다. 공기역학은 평균성문하압과 표적호기류율을 곱하여 산출한 값(KayPENTAX, 2006)으로 본 연구에서는 성문하압의 차이는 없었어도 남성이 여성에 비해 표적호기류율이 높기 때문에 공기역학 수치는 남성이 높을 수밖에 없다. 성별에 따른 성문하압의 차이는 없었으나 표적호기류율의 차이를 보인 Zraick 외(2011, 2013)의 연구에서도 통계적으로 유의미한 차이는 없었으나 공기역학의 평균값이 남성 0.09 watts, 여성 0.06 watts로 이들 간에 차이가 있었다. 그러나

성문하압과 호기류를 모두 성별 간에 차이가 없었던 Goozée 외 (1998)에서는 공기역학이 성별에 따라 차이를 보이지 않았다.

두 과제에서 여성이 남성에 비해 높은 변수는 음압범위 (RANDB), 평균음도, 음도범위(RANP), 성문저항(ARES), 음성효율성(AEFF)이었다. 여성이 남성에 비해 음압범위와 음도범위가 높은 것은 여성이 발성 시 음압과 음도를 일정하게 유지할 수 있는 호흡계와 후두계의 조절 능력이 남성에 비해서는 조금 낮다고 생각해볼 수 있다.

평균음도의 평균값은 MXPB 과제에서 남성이 122.35 Hz, 여성이 217.81 Hz였고, VOEF 과제에서는 남성이 123.39 Hz, 여성이 221.19 Hz로 여성이 남성보다 높았으며 이러한 차이는 성별에 따른 후두의 해부학적 차이에 의한 것으로 여성의 후두연골과 성대구조가 남성에 비해 작고 짧기 때문에 여성의 평균음도가 높다.

성문저항의 평균값은 남성이 64.59 dyne·sec/cm<sup>5</sup>, 여성은 164.33 dyne·sec/cm<sup>5</sup>로 여성이 높았으나 대상자 간 변이성이 높아 표준편차가 넓게 나타났다. 성문저항은 직접 측정할 수 없기 때문에 성문하압을 호기류율로 나눈 값(Smitheran & Hixon, 1981)으로 예측하며, 본 연구에서의 성문하압은 남성과 여성이 차이가 없는 반면, 호기류율은 남성에 비해 여성이 낮아 여성의 성문저항이 높았으며, 이는 Wilson과 Leeper(1992)의 연구 결과와도 동일하다. 그러나 Goozée 외(1998)의 연구에서는 성문하압과 호기류율이 성별 간에 차이가 없어 성문저항의 성별에 따른 차이가 없었다.

음성효율성은 남성이 247.83 p.p.m., 여성이 782.77 p.p.m.이었고, 성문저항과 마찬가지로 대상자 간의 변이가 컸다. 음성효율성은 음향역학(acoustic power)을 공기역학으로 나누어 산출한 값(KayPENTAX, 2006)으로, 작은 성문하압과 작은 호기류율로 큰 음향역학(음의 강도)을 산출할 경우 음성효율성이 높다고 할 수 있다. Goozée 외(1998)의 연구에서 남성과 여성의 음성효율성은 각 20~30세에서 96.7 p.p.m.과 32.7 p.p.m., 31~40세는 81.2 p.p.m.과 13.6 p.p.m. 그리고 41~50세는 40.9 p.p.m.과 37.3 p.p.m.이었고, Zraick 외(2011, 2013)은 남성과 여성이 각 45.81 p.p.m.과 103.66 p.p.m.으로 두 연구 모두에서 성별 간에 통계적으로 유의미한 차이는 없었으나 평균값에서는 차이를 보였다. 또한 두 연구 모두 표준편차의 값이 크게 나타나 본 연구와 마찬가지로 대상자 간 변이성이 크다는 것을 알 수 있다. 이렇게 공기역학, 음성효율성 등과 같이 대상자 간 변이성이 큰 공기역학적 변수들은 평균값보다 중위값(median)을 제시해 주는 것이 좋다고 하였다(Awan, 2010). 이에 본 연구에서는 <표 5>와 <표 6>에 각 공기역학적 변수들의 중위값과 사분위수, 95% 신뢰구간과 최소-최대 범위를 함께 제시하였다.

성별에 따른 공기역학적 특성들을 종합해보면, 유사한 성문하압으로 유사한 정도의 음압을 산출할 때, 평균음도, 성문저항, 음성효율성은 여성이 남성에 비해 높으나 최대발성시간, 호기

류율, 호기량 및 공기역학은 남성이 여성에 비해 높았다. 이는 여성이 남성에 비해 같은 음의 크기를 산출할 때 성문저항이 높고 음성효율성이 높은 반면, 남성은 호흡계의 탄력성과 폐활량이 크고 발성 시 초당 더 많은 공기량을 사용한다는 것을 알 수 있다.

## 5. 결론 및 제언

본 연구는 PAS Model 6600을 이용하여 입상에서 대상자들의 음성이 정상 범주 내에 있는지를 평가할 수 있는 한국 정상 성인의 공기역학적 변수들의 정상치를 제시하였다. 본 연구를 통해 공기역학적 검사를 여러 번 반복 측정하여도 측정치들 간의 차이가 없어 공기역학적 검사의 검사-재검사의 신뢰도가 높으며, 성별에 따라 일부 공기역학적 변수들이 차이가 있으므로 PAS를 실시할 때 이를 고려해야 할 것을 밝혔다.

본 연구는 한국인 정상 성인만을 대상으로 실시하였으므로 추후에는 아동과 노인 인구까지 대상자를 확대하여 연령에 따른 공기역학적 수치가 어떻게 변화하는지를 분석할 필요가 있으며, 정상 성인의 연령이 20대에 편중되어 있어 추후에는 각 연령대별로 좀 더 많은 대상자를 포함시켜야 할 것이다. 또한 PAS를 이용하여 음성장애나 장애음성의 유형별로 공기역학적 특성을 살펴보고 본 연구와 비교함으로써 장애음성의 특성을 좀 더 파악할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2012년도 강남대학교 교내연구비 지원을 받아 수행되었습니다. 자료수집에 도움을 주신 최홍식 교수님과 임성은 선생님께 감사드립니다.

## 참고문헌

- Ahn, S. Y., Kim, H. S., Kim, Y. H., et al. (2003). Comparative evaluation of electroglottography and aerodynamic study in trained singers and untrained controls under different tow pitches. *Phonetics and Speech Sciences*, 10(2), 111-128.
- (안성윤, 김한수, 김영호, 송기재, 최성희, 이성은, 최홍식 (2003). 성악인과 일반인 발성의 전기성문검사 및 공기역학적 검사에 대한 연구. *말소리와 음성과학*, 10, 111-128.)
- Ahn, T. S., Yang, S. I., & Shin, H. G. (1997). An aerodynamic study of velopharyngeal closure function in cleft palate patients. *Phonetics and Speech Sciences*, 1, 237-259.
- (안태섭, 양상일, 신효근 (1997). 구개열 환자의 비인강폐쇄 기능에 대한 공기역학적 연구. *말소리와 음성과학*, 1, 237-259.)
- Awan, S. N. & Alphonso, V. A. (2007). Effects of smoking on

- respiratory capacity and control. *Clinical Linguistic & Phonatory*, 21, 623-636.
- Awan, S. N., Novaleski, C. K., & Yingling, J. R. (2013). Test-retest reliability for aerodynamic measures of voice. *Journal of Voice*, 27(6), 674-684.
- Bernthal, J. E. & Beukelman, D. R. (1978). Intraoral air pressure during the production of /p/ and /b/ by children, youths, and adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 21, 361-371.
- Brown, W. S. Jr. & McGlone, R. E. (1969). Constancy of intraoral air pressure. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 21, 332-339.
- Brown, W. S. Jr. & Shearer, W. M. (1970). Constancy of intraoral air pressure related to integrated pressure-time measures. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 22, 49-57.
- Choi, H. S., Lee, J. H., Kim, I. S., et al. (2000). The acoustic and aerodynamic aspects of patients with spasmodic dysphonia. *The Journal of the Korean Society of Logopedics and Phoniatics*, 11(1), 98-103.  
(최홍식, 이주환, 김인섭, 고윤우, 오종석, 배정호, 윤현철, 최성희 (2000). 연축성 발성장애 환자의 음향학적 및 공기역학적 양상. *대한음성언어의학회지*, 11, 98-103.)
- Colton, R. & Casper, J. (1996). *Understanding voice production: A physiological perspective for diagnosis and treatment*. NY: Williams & Wilkins.
- Dejonckere, P. H., Bradley, P., Clemente, P., et al. (2001). A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology*, 258, 77-82.
- Goozée, J.V., Murdoch, B. E., Theodoros, D. G. et al. (1998). The effects of age and gender on laryngeal aerodynamic. *International Journal of Communication Disorders*, 33(2), 221-238.
- Higgins, M. B. & Saxman, J. H. (1991). A comparison of selected phonatory behaviors of healthy aged and young adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34, 1000-1010.
- Higgins, M. B., Netsell, R., & Schulte, L. (1994). Aerodynamic and electroglotographic measures of normal voice production: intrasubject variability within and across sessions. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 373-392.
- Hillman, R. E., Holmberg, E. B., Perkell, J. S. et al. (1989). Objective assessment of vocal hyperfunction: an experimental framework and initial results. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32, 373-392.
- Hiss, S. G., Treole, K. & Stuart, A. (2001). Effect of age, gender, and repeated measures on intraoral air pressure in normal adults. *Journal of Voice*, 15(2), 159-164.
- 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. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84, 511-529.
- Holmberg, E. B., Hillman, R. E., Perkell, J. S. et al. (1994). Relationships between intra-speaker variation in aerodynamic measures of voice production and variation in SPL across repeated recordings. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37(7), 484-495.
- Holmes, L. C., Leeper, H. A. & Nicholson, I. R. (1994). Laryngeal airway resistance of older men and women as a function of vocal sound pressure level. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 789-799.
- Isshiki, N. & von Leden, H. (1964). Hoarseness: aerodynamic studies. *Arch Otolaryngol*, 80, 206-213.
- Iwata, S., von Leden, H., & Williams, D. (1972). Airflow measurement during phonation. *Journal of Communicative Disorders*, 5, 67-79.
- KayPENTAX (2006). *Instruction manual of phonatory aerodynamic system model 6600*.
- Kim, J. O., Lim, S., & Choi, H. S. (2009). Aerodynamic characteristics of healthy Korean voice using Phonatory Analysis System. *Proceedings of 1st Joint Meeting of Korean Speech-Language and Hearing Association & The Korean Academy of Speech-Language Pathology and Audiology*, 82-86.  
(김재욱, 임성은, 최홍식 (2009). 한국 정상 성인 음성의 Phonatory Analysis System을 이용한 공기역학적 특성 분석. 제 1회 한국언어치료학회 · 한국언어청각임상학회 공동학술대회 논문집, 82-86.)
- Klich, R. J. & Sabo, W. J. (1988). Intraoral pressure differences in various degrees of breathiness. *Folia Phoniatica*, 40, 265-269. Korean Society of Laryngology, Phoniatics and Logopedics. (2012). *Laryngology, Phoniatics, and Logopedics*. Seoul: Iljogak.  
(대한후두음성언어의학회 (2012). 후두음성언어의학. 서울: 일조각.)
- Liberman, P. (1968). Direct comparison of subglottal, and esophageal pressure during speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, 43, 1157-1164.
- Maslan, J., Leng, X., Rees, C. et al. (2010). Maximum phonation time in healthy older adults. *Journal of Voice*, 25(6), 709-713.
- Miller, C. J. & Daniloff, R. (1993). Airflow measurements: theory and utility of findings. *Journal of Voice*, 1, 38-43.
- Nam, D. H., Choi, S. H., Choi, J. N. et al. (2005). The aerodynamic

- and respiratory muscle pressure aspects of patients with adductor spasmodic dysphonia. *Speech Sciences*, 12(4), 203-213.
- Netsell, R., Lotz, W. K., Duchane, A. S. et al. (1991). vocal tract aerodynamics during syllable productions: normative data and theoretical implications. *Journal of Voice*, 5, 1-9.
- Netsell, R., Lotz, W. K., & Shaughnessy, A. L. (1984). Laryngeal aerodynamics associated with selected voice disorders. *American Journal of Otolaryngology*, 5, 397-403.
- Park, S-H., Jung, O. R., & Seok, D-I. (2001). The validity analysis between measurement method of subglottic air pressure. *Speech Sciences*, 8(3), 201-208.  
(박상희, 정옥란, 석동일 (2001). 성문하압 측정방법의 타당도 분석. *말소리와 음성과학*, 8, 201-208.)
- Park, S. Y., Kim, J. O., Lim, S. E. et al. (2008). The Perceptual Evaluation and Aerodynamic Analysis of Spasmodic Dysphonia. *Journal of the Korean Society of Logopedics and Phoniatics*, 19, 38-42.  
(박선영, 김재옥, 임성은, 남도현, 최홍식 (2008). 연축성발성장애의 청지각적 평가 및 공기역학적 특성. *대한음성언어의학회지*, 19, 38-42.)
- Rothenberg, M. (1973). A new inverse-filtering technique for deriving the glottal airflow waveform during voicing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 53, 1632-1645.
- Sapienza, C. & Hoffman-Ruddy, B. (2012). *Voice disorders* (2nd ed.). San Diego: Plural Publishing.
- Schneider, P. & Baken, R. J. (1984). Influence of lung volume on the airflow-intensity relationship. *Journal of Speech and Hearing Research*, 27, 430-435.
- Schutte, H. K. (1992). Integrated aerodynamic measurements. *Journal of Voice*, 6, 127-134.
- Seo, J-S., Song, S-Y., Kwon, O-C. et al. (1997). Mean value of aerodynamic study in normal Korean. *Journal of the Korean Society of Logopedics and Phoniatics*, 8, 28-32.  
(서장수, 송시연, 권오철, 김준우, 이희경, 정옥란 (1997). 음성 검사 중 공기역학적 검사에서 한국인의 정상 평균치. *대한후두 음성언어의학회지*, 8, 27-32.)
- Smitheran, J. R. & Hixon, T. J. (1981). A clinical method for estimating laryngeal airway resistance during vowel production. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 46, 138-146.
- Stathopoulos, E. T. & Sapienza, C. (1993). Respiratory and laryngeal function of women and men during vocal intensity variation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 64-75.
- Stathopoulos, E. T. (1986). Relationship between intraoral air pressure and vocal intensity in children and adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 29, 71-74.
- Stemple, J. C. & Fry, L. T. (2010). *Voice therapy: clinical case studies* (3rd ed.). San Diego: Plural Publishing.
- Subtelny, J. F., Worth, J. H., & Sakuda, M. (1966). Intraoral pressure and rate of flow during speech. *Journal of Speech and Hearing Research*, 29, 498-518.
- Tanaka, S. & Gould, W. J. (1985). Vocal efficiency and aerodynamic aspects in voice disorders. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*, 94(1 Pt 1), 29-33.
- Weinrich, B., Brehm, S. B., Knudsen, C. K. et al. (2012). Pediatric normative data for the KayPENTAX Phonatory Aerodynamic System Model 6600. *Journal of Voice*, 27(1), 46-56.
- Wilson, J. V. & Leeper, H. A. (1992). Changes in laryngeal airway resistance in young adult men and women as a function of vocal sound pressure level and syllable context. *Journal of Voice*, 6, 235-245.
- Yiu, E. M., Yuen, Y., Whitehill, T. et al. (2004). Reliability and applicability of aerodynamic measures in dysphonia assessment. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 18(6-8), 463-478.
- Zraick, R. I., Smith-Olinde, L., & Shotts, L. L. (2011). Adult normative data for the KayPENTAX Phonatory Aerodynamic System Model 6600. *Journal of Voice*, 26(2), 164-176.
- Zraick, R. I., Smith-Olinde, L., & Shoutts, L. L. (2013). Erratum: "Adult Normative Data for the KayPENTAX Phonatory Aerodynamic System Model 6600." *Journal of Voice*, 26, 164-176.

• 김재옥 (Kim, Jaeock)

강남대학교 교육대학원 언어치료교육전공  
용인시 기흥구 강남로 40 강남대학교 살림관 1013호  
Tel: 031-280-3221 Fax: 031-275-4244  
Email: jaeock@gmail.com  
관심분야: 말장애, 음성장애, 음성의학  
현재 강남대학교 교육대학원 언어치료교육전공 조교수

<부록 1> 공기역학적 측정변수

변수명	약자	단위	정의
Maximum SPL (최대음압)	MAXDB	dB	범위 내에서 최대의 음압
Minimum SPL (최소음압)	MINDB	dB	범위 내에서 최소의 음압
Mean SPL (평균음압)	MEADB	dB	범위 내에서 평균음압
SPL Range (음압범위)	RANDB	dB	범위 내에서 최대음압과 최소음압 간의 차이
Mean SPL During Voicing (유성음 산출 시 평균음압)	DHODB	dB	범위 내에서 유성음의 평균음압 수준. 유성음은 음도곡선(Pitch contour) 상에서 유성성이 있는 부분과 관련하여 결정됨
Mean Pitch (평균음도)	MEAP	Hz	범위 내에서 유성음에서 산출된 산술평균 음도
Pitch Range (음도범위)	RANP	Hz	범위 내에서 최소음압과 최대음압 간의 차이
Phonation Time (최대연장발성시간)	PHOT	sec	범위 내에서 유성음이 지속된 시간
Expiratory Airflow Duration (호기류지속시간)	FET100	sec	범위 내에서 양적 호기류 기간. 이 측정변수는 전체 호기 시간을 의미
Peak Air Pressure (최고성문하압)	RAP	cm H <sub>2</sub> O	최고성문하압은 음성효율성 프로토콜에서 중요한 변수로, 성문하압 곡선(Air Pressure contour) 범위 내에서 하나 또는 그 이상의 음압 파열들 (burst) 중에서 관찰되는 가장 높은 압력
Mean Peak Air Pressure (평균성문하압)	MPAP	cm H <sub>2</sub> O	평균성문하압은 음성효율성 프로토콜에서 중요한 변수로, 하나의 신호에서 하나 또는 그 이상의 음압으로부터 얻어진 모든 최고음압들의 산술평균값. 만약 하나의 신호에서 단 하나의 음압 파열이 존재하거나 하나의 음압만을 수동적으로 선택한다면 평균성문하압은 최고성문하압과 동일
Peak Expiratory Airflow (최고호기류율)	PEF	Liters/sec	범위 내에서 관찰된 최고 양적 호기류율
Mean Expiratory Airflow (평균호기류율)	MEAF	Liters/sec	호기량을 호기기간 으로 나눈 값
Target Airflow (표적호기류율)	TARF	Liters/sec	표적호기류율은 발화에서 유성 분절의 평균호기류율로 유성분절은 적용된 역치에 의해 분리된 자료 범위 내에서 기준치에 의해 산출. 일반적으로, 음성효율성역치(Voicing Efficiency Threshold)는 표적호기류율을 계산할 때 사용. 음성효율성역치는 유성음으로 산출된 모음의 중간 50%를 분리한 음압 곡선을 사용. 모음의 이 중간 부분이 분석을 위해 사용. 이 범위 내의 호기류율의 평균값이 표적호기류율
Expiratory Volume (호기량)	FVC	Liters	범위 내에서 모든 양적 호기류 구간
Mean Airflow During Voicing (유성음 산출 시 평균호기류율)	MFPHO	Liters/sec	범위 내에서 유성음이 산출되는 동안의 전체 공기의 양(음도곡선에서 유성성이 있는 부분과 관련)을 범위 내에서 유성기간으로 나눈 값
Aerodynamic Power (공기역학)	APOW	watts	공기역학은 음성효율성 프로토콜에서 중요한 변수로, 공기역학은 평균성문하압, 표적호기류율 및 0.09806을 곱한 값
Aerodynamic Resistance (성문저항)	ARES	dyne · sec/cm <sup>5</sup>	성문저항은 음성효율성 프로토콜에서 중요한 변수로, 성문저항은 평균성문하압을 표적호기류율로 나눈 뒤 0.9806.을 곱한 값
Aerodynamic Efficiency (음성효율성)	AEFF	parts per million (p.p.m.)	음성효율성은 음성효율성 프로토콜에서 중요한 변수로, 음성효율성은 음향역학(Acoustic Power)을 공기역학(Aerodynamic Power)으로 나눈 값. 음향역학은 $1.4137 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{MEADB/10}$ 이고, MEADB는 표적호기류율을 측정하기 위해 설정한 시작지점과 끝 지점의 평균음압곡선(Sound Pressure contour)으로부터 얻은 평균음압

Reference from KayPENTAX (2006). Instruction Manual for Phonatory Aerodynamic System Model 6600.