

Comparison of voice range profiles of modal and falsetto register in dysphonic and non-dysphonic adult women*

Jaeock Kim^{1,**} · Seung Jin Lee²

¹Major in Speech Pathology Education, Graduate School of Education, Kangnam University, Yongin, Korea

²Division of Speech Pathology and Audiology, Research Institute of Audiology and Speech Pathology, College of Natural Sciences, Hallym University, Chuncheon, Korea

Abstract

This study compared voice range profiles (VRPs) of modal and falsetto register in 53 dysphonic and 53 non-dysphonic adult women with gliding vowel /a/. The results shows that maximum fundamental frequency ($F0_{MAX}$), maximum intensity (I_{MAX}), $F0$ range ($F0_{RANGE}$), and intensity range (I_{RANGE}) are lower in the dysphonic group than in the non-dysphonic group. $F0_{MAX}$ and $F0_{RANGE}$ are significantly higher in falsetto register than modal register in both groups. I_{MAX} and I_{RANGE} are significantly higher in falsetto register in the non-dysphonic group, but those are not different between two registers in the dysphonic group. There was no statistically significant difference in minimum $F0$ ($F0_{MIN}$) and minimum intensity (I_{MIN}) between the two groups. Modal-falsetto register transition occurred at 378.86 Hz (F4#) in the dysphonic group and 557.79 Hz (C5#) in the non-dysphonic group, which was significantly lower in the dysphonic group. It can be seen that both modal and falsetto registers in dysphonic adult women are reduced compared to non-dysphonic adult women, indicating that the vocal folds of dysphonic adult women are not easy to vibrate in high pitches. The results of this study would be the basic data for understanding the acoustic features of voice disorders.

Keywords: voice range profile, dysphonia, modal register, falsetto register

1. 서론

음성범위프로파일(voice range profile, VRP)은 기본주파수(음도)와 음압(음성강도)에 관한 정보를 2차원 도표로 제시함으로써 최대발성 가능한 음역대를 보여주는 검사방법이다(Ferrand,

2014). VRP는 1953년 Calvet에 의해 포네토그램(phonetogram)으로 처음 보고되었고(Ikeda et al., 1999), 이후 Voice Committee of the International Association of Logopedics and Phoniatrics에 의해 1992년 음역대(voice range profile)라는 공식 명칭이 제시되었다. VRP는 개인의 음성산출의 생리적 능력을 반영하는 것으로

* This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research of Foundation of Korea (No. NRF-2018S1A5A2A03032902) and was partly presented at the Seoul International Conference on Speech Sciences 2019.

** jaeock@gmail.com, Corresponding author

Received 15 November 2022; Revised 5 December 2022; Accepted 5 December 2022

© Copyright 2022 Korean Society of Speech Sciences. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

최대수행능력을 평가할 수 있기 때문에 장애음성과 정상음성을 구별하는 데 유용하게 사용된다(Ma et al., 2007). 또한 VRP에서 제공하는 시각적 피드백을 통해 음성문제를 평가하고 음성치료의 효과를 비교하는 데 도움이 된다(Airainer & Klingholz, 1991; Heylen et al., 1996; Jung et al., 2019).

VRP 관련 선행연구들에 따르면, 기능적, 기질적 음성장애 환자에서 VRP 범위가 정상음성의 대조군에 비해 감소하거나 음성치료 후 VRP 범위가 증가하였다(Airainer & Klingholz, 1991; Behrman et al., 1996; Ikeda et al., 1999; Ma & Yiu, 2006; Ma et al., 2007; Mailänder et al., 2017; Meerschman et al., 2017). 이는 VRP가 음성장애를 진단하고 중재효과를 평가하는 도구로 매우 유용하다는 것을 알 수 있다. 또한 음질의 중증도가 높아짐에 따라 VRP의 면적(voice volume)이 점차 감소하므로 VRP는 발성 시 후두와 인두의 음성 조정 능력을 잘 반영한다고 하였다(Ikeda et al., 1999). 음성장애와 정상음성을 구분하기 위해 발성수행능력을 종합적으로 평가하는 Dysphonic Severity Index(DSI)에도 VRP를 통해 측정되는 최대기본주파수와 최저음성강도를 포함시켰고(Wuyts et al., 2000), Ma & Yiu(2006)의 연구 또한 음성장애의 중증도를 종합적으로 평가하기 위해서는 VRP 면적과 같은 변수를 포함해야 한다고 하였다.

음역대는 후두의 기능에 의한 성대 진동 양상의 변화에 따라 동일한 음질의 소리를 낼 수 있는 음의 구역으로 여러 성구(vocal register)로 구분될 수 있다(Jin et al., 2002; Kochis-Jennings et al., 2014; Li & Yiu, 2006; Titze, 1988). 사람의 성구는 일반적으로 펄스성구(진동성구; pulse register), 진성구(음계성구; modal register), 가성구(상층성구; falsetto register)로 구분되며, 대부분 사람이 산출하는 말(speech) 주파수의 범위는 진성구에 분포한다(Hollien, 1974). 남성의 경우 펄스성구에서 말이 산출되기도 하지만 가성구 범위에서 말을 하는 경우는 변성발성장애와 같은 음성장애로 분류된다. 여성의 음성은 진성구와 가성구 사이에서 주로 산출된다(Spencer & Titze, 2001). 가장 시에는 이를 좀 더 세밀하게 분류하여 진성구를 흉성구(chest register), 중성구(middle register), 두성구(head register)로 구분하고, D6 이상의 높은 고음역을 플라젤렛(flageolet)이라고 한다(Nam et al., 2004).

가장훈련을 받지 않은 일반인은 음도를 점차 상승하거나 하강할 때 일정 주파수 구간부터 동일하지 않은 음질이 산출된다. 즉 진성구와 가성구 또는 진성구와 펄스성구 간의 급격한 성구 전환(register transition)이 발생하게 된다. 특히 진성구에서 가성구로의 성구전환이 일어나는 구간에서는 약화된 음성과 음도 일탈(pitch break) 현상이 나타나게 되고 청지각적으로 음질의 변화를 감지할 수 있다. 성구전환은 갑상피열근(thyroarytenoid muscle, TA)과 윤상피열근(cricothyroid muscle, CA) 간의 불균형에 의해 발생한다(Titze, 1994). 음도가 상승하면서 특정 주파수에서 TA의 긴장이 한계에 도달할 때 음도를 더 상승시키기 위해서는 TA가 이완되고 동시에 CT가 관여하게 되는데, 이러한 근육 활동의 과정이 유연하게 균형을 이루지 못할 경우 진성구와 가성구 간의 성구전환이 발생하고 음도일탈과 같은 음질의 변화가 지각되는 것이다(Titze, 1994).

그런데 후두의 기질적 또는 기능적 변화가 초래될 경우 성구 전환 과정에서 TA와 CT 간의 근육 활동을 포함한 성대 진동의 메카니즘은 정상 성대 진동 메카니즘과는 다르게 작용하게 된다. 성대 병변은 성대의 긴장을 저해하여 음도 상승을 방해할 뿐 아니라 성문저항을 증가시킴으로써 성대 진동에 필요한 압력과 기류의 요구량을 높여 음성강도 조절능력을 감소시킨다(Wuyts et al., 2000). 즉 성대 병변은 개인이 산출할 수 있는 최고 발성 능력을 감소시켜 음역대의 범위를 제한한다.

음성장애 환자에서 감소된 음역대는 성구전환이 일어나는 구간에도 영향을 미칠 수 있다. 15명의 음성장애 여성과 15명의 정상음성 여성에서 진성구-가성구 간 성구전환이 발생하는 구간의 기본주파수를 측정된 연구에 따르면, 음성장애군이 정상음성군에 비해 성구전환이 일어나는 구간의 기본주파수가 유의하게 낮았다(Li & Yiu, 2006). 다만 이 연구에서는 음도의 음역대는 제시되었으나 소리크기에 대한 음역대가 제시되지 않아 음성장애가 주파수와 음성강도에 어떠한 영향을 미치는지를 구체적으로 파악하기 힘들다.

이에 본 연구는 음성장애가 주파수, 음성강도 및 성구전환에 미치는 영향을 살펴보기 위해 음성장애 성인 여성과 정상음성 성인 여성의 진성구와 가성구의 음역대 및 진성구-가성구 성구 전환이 분포하는 주파수와 음성강도 구간을 비교하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상

음성장애군은 한국어를 모국어로 사용하는 사람으로 서울에 위치한 대학병원 이비인후과 음성검사실에서 이비인후과 전문의에 의해 음성장애로 진단받은 만 20-65세의 여성 53명을 대상으로 하였다. 노래를 직업으로 하는 전문적 음성사용자(elite voice user)와 갑상선절제술(thyroidectomy)을 시행하기 위해 음성검사를 실시한 경우는 대상에서 제외하였다. 음성장애의 중증도는 모음 /a/ 연장발성과 ‘가을’문단읽기(Kim, 2012) 시 임상 및 교육경력 10년 이상인 1급 언어재활사가 청지각적 평가인 GRBAS(Hirano, 1981) 척도로 평가하였다. 음성장애군의 진단 명과 GRBAS 척도의 전반적인 중증도(Grade, G) 분포는 표 1에 제시하였다.

정상음성군은 한국어를 모국어로 사용하는 만 20-65세의 여성 53명을 대상으로 하였다. 정상군은 면담을 통한 병력 및 모음과 문단읽기를 통한 청지각적 평가의 다면적 음성평가를 실시하여 선별하였다. 우선, 면담을 통해 전문적 음성사용자, 조음기관 이상, 청각장애, 심장질환, 호흡기질환, 신경계질환, 후두질환의 과거력이 있거나 최근 2개월 이내 감기 등의 병력이 있는 경우는 대상에서 제외하였다. 대상자가 연장 발성한 모음 /a/와 ‘가을’문단읽기(Kim, 2012) 시 G가 0인 경우만을 정상음성군에 포함하였다. 연령은 음성장애군(39.68±13.27세)과 정상음성군(38.40±10.45세) 간에 유의한 차이가 없었다.

표 1. 음성장애군의 진단명 및 중증도
Table 1. Diagnosis and vocal severity of dysphonic women

Diagnosis	Participants
Vocal nodules	8
Vocal polyp	8
Reinke's edema	2
Laryngitis	3
Muscle tension dysphonia	5
Adductor spasmodic dysphonia	9
Granuloma	1
Sulcus vocalis	1
Vocal cyst	5
Laryngeal papilloma	1
Vocal palsy/paresis	10
Others	0
Grade (G)	
1	4
2	20
3	29

2.2. 자료수집

본 연구는 강남대학교 기관생명윤리위원회의 심의를 받아 자료수집이 진행되었다(KNU-HR2020006). 음성녹음을 위해 Computerized Speech Lab(Model 4150B; KayPentax, NJ, USA; CSL)의 모듈 프로그램인 Voice Range Profile(Model 4326; KayPentax, NJ, USA; VRP)과 단일지향성 다이내믹 마이크인 Shure SM58(SHURE., IL, USA)을 이용하였다. VRP의 표본추출률(sampling rate)은 44,100 Hz, pitch 범위는 A1-G#6, energy display rate는 50-125 dB SPL로 하였다.

소음측정기(Sound Meter, Abc Apps)로 측정된 주변 소음이 30 dB 이하로 통제된 음성검사실에서 대상자는 의자에 편안한 자세로 앉아 허리와 목을 바로 세우고 고정된 마이크를 입으로부터 10 cm 정도 거리를 유지하면서 음성을 산출하도록 하였다.

습관적 F0를 측정하기 위해 대상자는 편안한 음도와 크기로 편안하게 모음 /a/를 3초간 연장 발성하도록 하였다.

VRP 과제는 대상자가 모음 /a/를 편안한 음도와 크기로 발성한 후 산출 가능한 가장 높고 가장 큰 소리까지, 그리고 가장 낮고 가장 큰 소리까지 반음씩 계단식으로 활창(gliding)을 통해 실시하였다. VRP 과제를 실시하기 전 검사자가 먼저 시범을 보이고 대상자는 1회 연습한 후에 본 과제를 실시하였으며 측정 소요시간은 5분 이내였다.

VRP를 측정하는 가장 전통적인 방법은 편안한 음도부터 시작하여 반음씩 상승 또는 하강하고 각 반음에서 가장 작은 소리부터 가장 큰 소리를 산출하는 방식이다. Titze(1992)는 발성역치압력 이상의 수준에서는 기본주파수가 증가함에 따라 성문하압이 지속적으로 상승해야 하기 때문에 음성강도가 증가한다고 하였다. 또한 저주파수대에서 음성강도 범위가 좁고 제한적인 것은 음성강도를 높이기 위해 성문하압을 상승시키면 저주파수 산출을 위한 낮은 성대 긴장도를 유지하기 어렵기 때문이며, 고주파수대에서 음성강도 범위가 제한되는 것은 이미 상승된 성문하압을 큰 폭으로 증가시키는데 제한이 있기 때문이다. 즉 최저기본주파수와 최고기본주파수에서는 음성강도의

범위가 매우 제한적이기 때문에 그 음도범위에서는 최저음성강도와 최고음성강도의 범위를 따로 측정할 필요가 없다. 이에 본 연구에서는 최소한의 시간이 소요되어 효율적으로 측정이 가능한 활창을 통해 자료를 수집하였다.

활창에서 진성구와 가성구의 성구전환이 나타나는 지점은 음도를 상승 또는 하강할 때 음질의 변화가 두드러지게 나타나는 구간으로 범위를 구분하여 기록하였다. 진성구는 풍성한 배음으로 구성된 자연스러운 말 산출 시의 음성이고, 가성구는 가볍고 얇은 소리로 기식성이 많이 포함된 소리이다(Hollien, 1974). VRP 과제의 구체적인 시행 과정은 선행연구에 제시되어 있다(Kim & Lee, 2019; Kim & Lee, 2021; Lee & Kim, 2019).

2.3. 자료분석

모음연장발성 과제에서 평균기본주파수(F0)를 측정하였고, VRP 과제를 통해 녹음된 음성자료에서 최고기본주파수(F0_{MAX}), 최저기본주파수(F0_{MIN}), 기본주파수범위(F0_{RANGE}), 반음범위(ST_{RANGE}), 최대음성강도(I_{MAX}), 최소음성강도(I_{MIN}), 음성강도범위(I_{RANGE})를 측정하였다. F0_{MAX}, F0_{RANGE}, ST_{RANGE}, I_{MAX}, I_{RANGE}는 진성구와 가성구(이하 성구)를 구분하여 측정하였고(Hacki, 1996), 진성구의 F0_{MAX}를 진성구에서 가성구로 전환되는 지점으로 하였다. 또한 가성구만의 기본주파수와 음성강도 범위를 살펴보기 위해 가성구 F0_{MAX}와 진성구 F0_{MAX}의 차이인 가성구기본주파수범위(fF0_{RANGE})와 가성구 I_{MAX}와 진성구 I_{MAX}의 차이인 가성구 음성강도범위(fI_{RANGE})를 측정하였다.

음성장애군과 정상음성군의 집단 간 차이 및 성구에 따른 집단 내 차이는 각 변수별로 이원반복측정분산분석(repeated measures two-way ANOVA)으로 분석하였고, 각 변수의 평균과 표준편차를 산출하였다. 또한 진성구-가성구의 성구전환 지점인 진성구의 F0_{MAX}를 포함하여 성구별 각 변수의 집단 간 차이를 독립표본 *t* 검정으로 분석하였고, 성구 간 차이가 있는 경우 집단별 각 변수의 성구별 차이를 대응표본 *t* 검정으로 비교하였다.

3. 연구결과

집단과 성구에 따른 VRP 변수들의 기술통계량을 표 2에 제시하였다.

F0는 음성장애군(193.13±30.03 Hz)이 정상음성군(224.29±32.58 Hz)에 비해 유의하게 낮았다($t=5.120, p<.001$).

F0_{MIN}과 I_{MIN}은 진성구와 가성구의 측정치가 동일하므로 집단 간 차이만을 비교한 결과, 두 집단 간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

집단과 성구에 따른 차이를 비교한 결과, F0_{MAX}는 집단 간 차이($F=95.074, p<.001$), 성구 간 차이($F=279.658, p<.001$), 집단×성구 간 교호작용($F=16.912, p<.001$)이 모두 유의하였고, F0_{RANGE}는 집단 간 차이($F=93.493, p<.001$), 성구 간 차이($F=282.196, p<.001$), 집단×성구 간 교호작용($F=16.649, p<.001$)이 모두 유의하였다. I_{MAX}는 집단 간 차이($F=84.551, p<.001$), 성구 간 차이($F=30.645, p<.001$), 집단×성구 간 교호작용($F=23.835, p<.001$)이

유의하였고, I_{RANGE} 도 집단 간 차이($F=92.759, p<.001$), 성구 간 차이($F=14.636, p<.001$), 집단×성구 간 교호작용($F=10.965, p<.001$)이 유의하였다. ST_{RANGE} 는 집단×성구 간 유의한 교호작용은 없었으나 집단($F=84.551, p<.001$), 성구($F=30.645, p<.001$) 간에 유의한 차이가 있었다. $fF0_{RANGE}$ ($t=-4.112, p<.001$)와 fI_{RANGE} ($t=-4.882, p<.001$)는 모두 집단 간에 유의한 차이가 있었다.

표 2. 집단별 VRP 측정치의 기술통계량
Table 2. Descriptive statistics of variables in each group

Variable	Register	Dysphonic (n=53)	Non-dysphonic (n=53)
		M (SD)	M (SD)
F0 (Hz)		193.13 (30.03)	224.29 (32.58)
F0 _{MAX} (Hz)	Modal	378.86 (77.55)	557.79 (99.47)
	Falsetto	632.61 (238.62)	977.05 (215.46)
F0 _{MIN} (Hz)	Modal	142.12 (33.79)	135.00 (17.15)
	Falsetto	142.12 (33.79)	135.00 (17.15)
F0 _{RANGE} (Hz)	Modal	236.74 (81.78)	422.79 (106.65)
	Falsetto	490.25 (241.06)	839.51 (217.21)
ST _{RANGE}	Modal	17.08 (5.64)	24.34 (4.66)
	Falsetto	25.19 (8.19)	33.62 (4.65)
fF0 _{RANGE} (Hz)		253.76 (205.79)	419.26 (208.54)
I _{MAX} (dB)	Modal	96.72 (7.60)	107.83 (8.70)
	Falsetto	97.02 (7.73)	112.64 (7.31)
I _{MIN} (dB)	Modal	70.98 (5.03)	70.85 (6.22)
	Falsetto	70.98 (5.03)	70.85 (6.22)
I _{RANGE} (dB)	Modal	25.74 (7.03)	36.98 (8.32)
	Falsetto	26.04 (7.60)	41.17 (7.67)
fI _{RANGE} (dB)		0.30 (5.03)	4.81 (4.46)

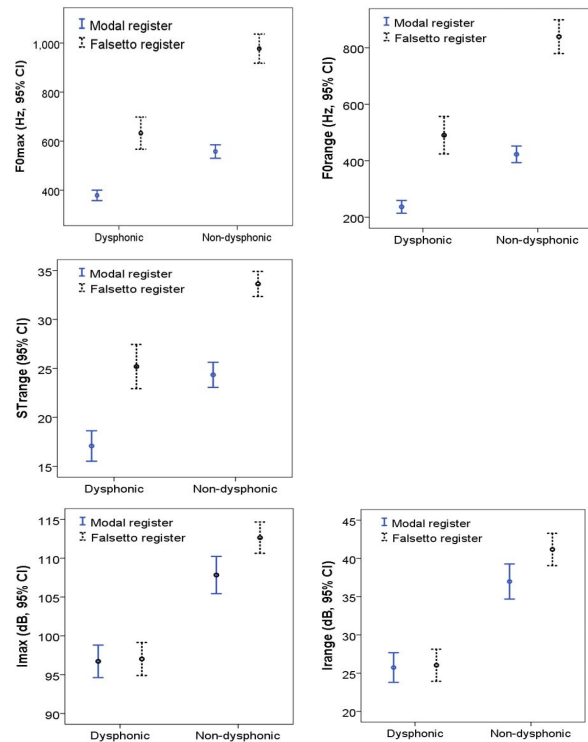
F0, fundamental frequency; VRP, voice range profile; F0_{MAX}, maximum fundamental frequency; F0_{MIN}, minimum fundamental frequency; F0_{RANGE}, range of fundamental frequency; ST_{RANGE}, semitone range; I_{MAX}, maximum intensity; I_{MIN}, minimum intensity; I_{RANGE}, intensity range; M, mean; SD, standard deviation.

이에 각 성구별 집단 간 차이를 비교한 결과, 진성구의 F0_{MAX}($t=-10.328, p<.001$), F0_{RANGE}($t=-10.079, p<.001$), ST_{RANGE}($t=-7.228, p<.001$), I_{MAX}($t=-7.004, p<.001$), I_{RANGE}($t=-7.517, p<.001$), 그리고 가상구의 F0_{MAX}($t=-7.799, p<.001$), F0_{RANGE}($t=-7.829, p<.001$), ST_{RANGE}($t=-6.522, p<.001$), I_{MAX}($t=-10.689, p<.001$), I_{RANGE}($t=-10.199, p<.001$)는 음성장애군이 정상음성군보다 유의하게 낮았다.

각 집단별 성구 간 차이를 비교한 결과, F0_{MAX}(음성장애군 $t=-8.977, p<.001$; 정상음성군 $t=-14.636, p<.001$), F0_{RANGE}(음성장애군 $t=-8.982, p<.001$; 정상음성군 $t=-14.782, p<.001$), ST_{RANGE}(음성장애군 $t=-11.274, p<.001$; 정상음성군 $t=-17.179, p<.001$)는 음성장애군과 정상음성군 모두 가상구가 진성구에 비해 유의하게 높았다. 반면, I_{MAX}와 I_{RANGE}는 음성장애군이 진성구와 가상구 간에 유의한 차이가 없는 반면, 정상음성군은 진성구가 가상구에 비해 유의하게 낮았다(I_{MAX} $t=-7.855, p<.001$; I_{RANGE} $t=-4.416, p<.001$). 이러한 차이는 그림 1에서도 확인할 수 있다.

진성구-가성구 성구전환 지점인 진성구 F0_{MAX}의 평균은 음성장애군이 378.86 Hz(F4#), 정상음성군이 557.79 Hz(C5#)였으며, 95% 신뢰구간은 음성장애군이 357.48 Hz(F4)–400.24 Hz(G4),

정상음성군이 530.38 Hz(C5)–585.21 Hz(D5)였다. 또한 이 지점의 음성강도는 음성장애군이 96.72 dB, 정상음성군이 107.83 dB였다.



VRP, voice range profile; F0_{MAX}, maximum fundamental frequency; F0_{RANGE}, range of fundamental frequency; ST_{RANGE}, semitone range; I_{MAX}, maximum intensity; I_{RANGE}, intensity range.

그림 1. 집단과 VRP 범위 유형에 따른 VRP 측정치
Figure 1. Results of VRP variables by group and register type

4. 논의 및 결론

본 연구는 음성장애가 주파수, 음성강도 및 성구전환에 미치는 영향을 살펴보기 위해 음성장애로 진단받은 성인 여성 53명과 음성의 문제가 없는 정상음성 성인 여성 53명을 대상으로 진성구와 가상구의 음역대 및 진성구-가성구 성구전환이 발생하는 구간을 비교하였다.

연구결과, F0는 음성장애군이 정상음성군에 비해 유의하게 낮았다. F0는 음성장애의 종류에 따라 다른 특성을 보일 수 있다. 가령, 성대결절, 성대폴립, 성대낭종, 성대부종이나 후두육아종과 같은 성대에 생긴 종물은 성대의 질량을 높여 F0가 낮아지는 반면, 근긴장성발성장애, 성대구증, 성대마비 등은 성대의 불완전접촉에 대한 보상작용으로 F0가 상승할 수 있다. 또한 개 개인의 후두의 기질적, 기능적 특성에 따라 여러 양상을 보일 수 있다(Lopes et al., 2017; Lundy & Casiano, 1995). 본 연구에서는 양성종물에 의한 음성장애와 성대의 불완전접촉이 유발되는 음성장애의 비율이 거의 유사하게 나타나 음성장애 유형에 따른 차이를 살펴보는 것은 어렵다. 이에 추후에는 음성장애를 유형별로 구분하여 F0를 살펴볼 필요가 있다.

음성장애 성인과 정상음성 성인의 음역대를 비교

한 결과, $F0_{RANGE}(ST_{RANGE})$ 와 I_{RANGE} 모두 음성장애 성인 여성에서 현저하게 낮았다. 이는 음성장애 환자에서 음역대 범위가 감소한다는 선행연구들과 동일한 결과이다(Behrman et al., 1996; Gumming & Åkerlund, 1988; Kumar et al., 2019; Li & Yiu, 2006; Ma & Yiu, 2006; Ma et al., 2007; Wuyts et al., 2000). 특히 $F0_{MAX}$ 와 I_{MAX} 가 진성구와 가성구 모두에서 두 집단 간 차이가 컸는데, 음성장애군에서 성대병변이 성대점막의 유연성을 감소시켜 성대가 빠르게 진동하지 못하므로 $F0_{MAX}$ 는 낮아지며, 성대진동시 성대의 불완전접촉과 성대점막의 유연성 감소로 인해 동일한 I_{MAX} 를 산출하기 위해서는 정상음성군보다 더 높은 성문하압이 요구되므로 음성강도를 충분히 상승시키지 못하기 때문에 I_{MAX} 가 낮게 나타났다(Ma et al., 2007).

기본주파수의 범위를 반음범위(ST_{RANGE})로 제시한 선행연구의 결과들을 표 3에 제시하였다. 이들은 대부분 최대발성이 가능한 가성구까지 측정하였고, 본 연구결과와 조금씩 차이는 있지만 대부분 유사한 범위를 보였으며, 음성장애군이 정상음성군에 비해 매우 낮은 ST_{RANGE} 를 보였다.

또한 진성구 이후에 산출된 가성구만의 주파수범위($fF0_{RANGE}$)와 음성강도범위(fI_{RANGE}) 모두 음성장애군이 정상음성군에 비해 유의하게 낮았다. Li & Yiu(2006)에서도 음성장애 여성의 $fF0_{RANGE}$ 가 정상음성군보다 좁게 나타나 가성구만의 범위도 음성장애로 인해 감소한다는 것을 알 수 있다. 감소한 $fF0_{RANGE}$ 는 성대병변으로 성대진동이 생리적으로 제한되기 때문에 나타난다. 가성구에서 성대는 CT의 적극적 개입으로 성대의 길이가 더 늘어나 긴장성이 증가하고, 단면적은 감소하여 얇아지면서 성대의 상연(upper margin)만 진동하는데, 성대병변으로 이러한 과정이 어려워지고 성대가 불완전하게 접촉하기 때문에 음도와 크기를 상승시키는 데 제한적이다. 이는 음성장애군은 $fF0_{RANGE}$ 와 fI_{RANGE} 가 정상음성군에 비해 감소하여 가성구에서 음성을 산출하는 것이 용이하지 않다는 것을 의미한다(Titze, 1988; Titze, 1994).

표 3. 음성장애 여성과 정상음성 여성의 가성구 ST_{RANGE}
Table 3. ST_{RANGE} of falsetto in dysphonic and non-dysphonic women

Study (year)	# of D/N-D (age)		D	N-D
			<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>
Current (2022)	53/53	(20-65)	25.19 (8.19)	33.62 (4.65)
Gumming & Åkerlund (1988)	29/17	(21-81)	25.3	29.9
Li & Yiu (2006)	15/15	(21-45)	24	27
Ma et al. (2007)	90/35	(20-53)	32.36 (6.39)	40.89 (15.69)
Wuyts et al. (2000)	205/43	(18-80)	22 (8)	32 (5)
Andersen et al. (2021)	-/39	(18-39)	-	34.7 (3.9)
Hollien et al. (1971)	-/326	(18-75)	-	37 (5.30)
Linville (1987)	-/24	(25-35)	-	33.13 (3.43)
	-/20	(45-55)	-	34.00 (3.22)
	-/23	(70-80)	-	28.96 (4.13)
Ptacek et al. (1966)	-/31	(-40)	-	32.8 (4.4)
	-/35	(65-)	-	25.1 (7.9)

D, dysphonic; N-D, non-dysphonic; ST_{RANGE} , semitone range; *M*, mean; *SD*, standard deviation.

다만, $F0_{MAX}$ 와 I_{MIN} 이 음성장애로 초래되는 음질의 변화나 음성치료의 효과에 민감한 변수라고 설명한 선행연구들(Hirano et al., 1991; Ma & Yiu, 2006; Ma et al., 2007; Speyer et al., 2003; Wuyts et al., 2000)과는 달리 본 연구는 I_{MIN} 의 집단 간 차이가 통계적으로 유의하지 않았다. 음성장애군이 정상음성군에 비해 유의하게 높은 I_{MIN} 을 보인 선행연구들은 음성장애군이 약한 강도 수준에서 발생할 때 후두 병변으로 인해 성대의 단위 길이당 질량이 증가함으로써 적은 호기류로는 성대가 진동하기 어렵다고 하였다(Gumming & Åkerlund, 1988). 즉 음성장애 환자는 발생역치압력의 증가로 I_{MIN} 이 상승한다는 것이다. 물론 본 연구의 I_{MIN} 은 음성장애군(70.98 dB)과 정상음성군(70.85 dB)의 거의 동일한 수치를 보였고, 이와 함께 $F0_{MIN}$ 도 통계적으로 유의하지는 않지만 음성장애군(142.12 Hz)이 정상음성군(135.00 Hz)에 비해 높은 수치를 보여 다른 VRP 변수와는 다른 양상을 보였다.

본 연구와 선행연구들과의 I_{MIN} 의 차이는 대상자의 성별차이에서 기인한 것으로 추정된다. 음성장애군에서 더 낮은 I_{MIN} 을 보인 연구들은 남성과 여성을 구분하지 않고 모두 포함하여 평균이나 중위수를 측정하였다(Behrman et al., 1996; Hirano et al., 1991; Ma & Yiu, 2006; Speyer et al., 2003). VRP는 크게 상층 등고선(upper contour)과 하층 등고선(lower contour)으로 구분되는데, 상층 등고선은 높은 성문하압에 대응하는 성대근의 능력을 반영하며, 하층 등고선은 낮은 성문하압 수준에서 성대가 진동하는 양상을 반영한다(McAllister et al., 1994). 음성장애군과 정상음성군의 음역대 차이를 성별로 구분하여 비교한 연구에 따르면, 남성은 하층 등고선이 정상음성군에 비해 음성장애군에서 유의하게 높았고, 여성은 상층 등고선이 음성장애군에서 유의하게 낮게 나타나 음성장애군의 감소된 음역대 범위를 설명하는 변인이 성별에 따라 다르다고 하였다(Hacki, 1996). 성대점막은 여성과 남성 음성장애 화자에서 다르게 반응하는데, 남성은 주로 성대근의 유연성이 감소하는 경우가 많아 성대를 진동시키기 위해서는 강한 기류와 강한 성문하압이 요구되기 때문에 작은 소리로 발성하는 것이 어렵지만 여성은 성대근의 약화로 인해 정상인에 비해 크게 발성하기 힘든 경우가 더 많아 I_{MIN} 보다는 $F0_{MAX}$ 와 I_{MAX} 가 더 영향을 받는다는 것이다(Gumming & Åkerlund, 1988). 즉 남성에서는 $F0_{MIN}$ 과 I_{MIN} 이 음역대 감소에 주된 역할을 하지만 여성은 $F0_{MAX}$ 와 I_{MAX} 가 음역대가 감소하는 데 주된 역할을 한다고 볼 수 있다. 따라서 여성 음성장애 화자만을 대상으로 한 본 연구는 I_{MIN} 이 음성장애 유무에 크게 영향을 받지 않은 반면, 다른 선행연구들은 남성과 여성 화자를 구분하지 않고 측정하여 음성장애군에서 I_{MIN} 이 높게 나타났을 수 있다. 이에 추후 음성장애군의 성별에 따른 음역대 변수의 차이를 비교해 볼 필요가 있다.

각 집단의 성구 간 차이를 비교하면, 두 집단 모두 $F0_{MAX}$, $F0_{RANGE}$, ST_{RANGE} 가 진성구에 비해 가성구가 유의하게 높았다. 다만, 앞에서 언급한 바와 같이 $fF0_{RANGE}$ 는 정상음성군에 비해 음성장애군이 낮아 음성장애군의 가성구 발성이 원활하지 않음을 알 수 있다. 또한 I_{MAX} 와 I_{RANGE} 는 정상음성군에서 가성구가 진성구보다 유의하게 높았으나 음성장애군은 진성구와 가

성구 간에 차이가 없었다. 성대병변으로 발생 시 성대점막의 가동성이 약화되고 성대 간 간극이 넓어져 불완전한 성대접촉이 발생하는데, 성대의 길이가 길어지고 긴장성이 높은 가성구에서는 이러한 현상이 더 두드러지게 나타나 음성강도 상승이 매우 제한된다. 이러한 불완전한 가성구 발생으로 가성구의 I_{MAX} 가 더 증가하지 못하여 f_{RANGE} 도 감소하게 된다.

흉성으로 음도를 상승시키면 진성구에서 가성구로 전환되는 지점에서 음도일탈(pitch break) 현상이 나타난다. 진성구 발생 시에는 성대의 상연과 하연 전체가 접촉함으로써 성대 접촉면이 넓어져 성문폐쇄가 완전하게 이루어지지만 가성구는 음도 상승과 더불어 성대의 길이가 늘어나면서 성대의 상연만이 접촉하게 되어 성대접촉면이 좁고 성대폐쇄가 불완전하게 이루어진다(Jin et al., 2002). 진성구에서 가성구로 전환될 때 TA의 활동으로 증가된 내전을 감소시키기 위해서는 피열연골의 성대돌기(vocal process)가 벌어져 성대의 접촉면적이 감소하고 CT의 활동이 증가하면서 이러한 현상이 발생하는 것이다. 본 연구에서는 진성구-가성구 성구전환이 음성장애군은 378.86 Hz(F4#), 정상음성군은 557.79 Hz(C5#)에서 나타났다. 또한 본 연구에서 성구전환 지점 주파수의 95% 신뢰구간은 음성장애군이 357.48 Hz(F4)-400.24 Hz(G4), 정상음성군이 530.38 Hz(C5)-585.21 Hz(D5)였다. Titze(1994)는 정상 발생에서는 음도 상승으로 인해 TA의 최대 긴장 상태가 발생하는 주파수가 약 500 Hz(B4)라고 하였다. 이 주파수는 본 연구의 정상음성군에서 성구전환이 일어나는 지점과 약간의 차이가 있기는 하지만 유사한 결과라고 할 수 있다.

여성의 진성구-가성구의 성구전환 주파수를 살펴본 Li & Yiu(2006)는 성구전환 지점 주파수의 중위수(median)가 음성장애군은 413.71 Hz(A4), 정상음성군은 476.13 Hz(B4)로 본 연구에 비해 음성장애군은 다소 높고 정상음성군은 다소 낮았다. 또한 Li & Yiu(2006)의 연구에서 측정된 가성구의 F_{0MAX} 도 본 연구와는 다소 차이가 있었는데, 음성장애군은 602.97 Hz, 정상음성군은 701.27 Hz로 두 집단 모두 본 연구결과에 비해 낮은 수치를 보였다. 두 연구 간의 이러한 차이는 VRP를 측정하는 방법의 차이에서 기인한 것으로 보인다. 본 연구는 최대 산출 가능한 주파수와 음성강도까지 반응씩 활창하는 방법을 사용한 반면, Li & Yiu(2006)는 음성강도를 “작게, 보통, 크게”로 구분한 후 각 음성강도 수준에서 활창을 통해 최대발성 가능한 주파수를 측정하였다. 위에 제시한 Li & Yiu(2006)의 결과는 보통의(편안한) 음성강도에서 측정된 경우만을 제시한 것으로, 이 음성강도가 다른 음성강도에 비해 가장 넓은 VRP 범위를 산출하였으며, F_{0MAX} 와 I_{MAX} 를 동시에 측정하는 본 연구의 측정방식과는 다르다는 것을 알 수 있다. 이러한 VRP 측정방식의 차이가 두 연구 간의 다른 결과를 산출하였을 것이다. 그 외에 음성장애군과 정상음성군의 VRP를 측정한 대부분의 연구들(Behrman et al., 1996; Ma & Yiu, 2006; Ma et al., 2007; Wuyts et al., 2000)은 가성구를 포함한 최대발성범위를 측정하였기 때문에 진성구의 F_{0MAX} 가 제시되지 않아 성구전환 지점의 주파수를 파악하기 어렵다. 다만, 본 연구와 Li & Yiu(2006)의 연구를 통해 음성장애

군은 진성구에서 가성구로 전환되는 지점이 정상음성군에 비해 기본주파수와 음성강도 모두 낮다는 사실을 확인하였다. 이는 성대병변으로 인한 성대진동 메커니즘의 변화가 음성장애가 있는 여성의 진성구 주파수 범위와 음성강도 범위를 감소시켜 성대가 고주파수에서 진동하기 어렵게 한다는 것을 알 수 있다(Colton & Casper, 1996).

본 연구를 통해 VRP가 성인 여성 화자의 음성장애를 진단하고 평가하는 도구로 매우 유용하다는 것을 알 수 있다. 또한 VRP로 최대발성능력을 평가할 때 가성구 범위와 함께 기능적 발생 수준에 해당하는 진성구 범위도 함께 측정함으로써 성대병변으로 인해 감소된 성대점막의 유연성과 성대의 불완전접촉에 대해 좀 더 이해할 수 있을 것이다.

VRP 검사는 검사방법이나 검사자의 숙련도에 따라 다르게 측정될 수 있으므로 주의가 필요하다. 본 연구에서도 검사자가 충분히 훈련된 상태에서 검사를 실시하였지만 대상자의 협조나 상태에 따라 최대발성능력을 충분히 측정하지 못한 경우도 있을 것이다. 특히 음성장애군의 경우 정상음성군에 비해 VRP 측정 시 추가적인 음성손상의 우려로 인해 소극적으로 발생할 가능성이 있으며, 이는 결과에 영향을 주었을 수도 있어 이러한 점은 VRP와 같은 최대능력을 평가하는 자료 수집에 있어 고려해야 할 사항이다.

또한 성대의 접촉 양상에 따른 음성장애의 종류에 따라 음역대의 차이가 나타날 수 있기 때문에 추후에는 성대접촉 양상에 따른 음역대의 차이를 살펴보아야 할 것이다.

본 연구결과는 여성 음성장애 화자의 진성구와 가성구의 VRP를 함께 살펴봄으로써 음성장애가 미치는 음향학적 특성을 파악하기 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것이다. 본 연구와 같이 후두의 생리적인 기능을 조사하는 연구들을 통해 성대진동 양상이 음향학적으로 어떤 결과를 초래하는지에 대한 이해와 지식이 좀 더 확장되기를 기대한다.

References

- Airainer, R., & Klingholz, F. (1991). Computer-assisted phonetography as a diagnostic aid in functional dysphonia. *Laryngorhinootologie*, 70(7), 362-366.
- Andersen, H. S., Egsgaard, M. H., Ringsted, H. R., Grøntved, A. M., Godballe, C., & Printz, T. (2021). Normative voice range profile of the young female voice. *Journal of Voice*. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.03.023>
- Behrman, A., Agresti, C. J., Blumstein, E., & Sharma, G. (1996). Meaningful features of voice range profiles from patients with organic vocal fold pathology: A preliminary study. *Journal of Voice*, 10(3), 269-283.
- Colton, R. H., & Casper, J. K. (1996). *Understanding voice problems: A physiological perspective for diagnosis and treatment*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Ferrand, C. T. (2014). *Voice disorders: Theory and practice* (Kim, S.,

- Pyo, H., & Gweon, S., Trans.). Seoul, Korea: Pakhaksa.
- Gramming, P., & Åkerlund, L. (1988). Non-organic dysphonia: II. Phonetograms for normal and pathological voices. *Acta Oto-Laryngologica*, 106(5-6), 468-476.
- Hacki, T. (1996). Comparative speaking, shouting and singing voice range profile measurement: Physiological and pathological aspects. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 21(3-4):123-129.
- Heylen, L., Wuyts, F. L., Mertens, F. W., & Pattyn, J. E. (1996). Phonetography in voice diagnoses. *Acta Otorhinolaryngologica Belgica*, 50(4), 299-308.
- Hirano, M. (1981). *Clinical examination of voice*. Vienna, Austria: Springer-Verlag.
- Hirano, M., Tanaka, S., Fujita, M., & Terasawa, R. (1991). Fundamental frequency and sound pressure level of phonation in pathological states. *Journal of Voice*, 5(2), 120-127.
- Hollien, H. (1974). On vocal registers. *Journal of Phonetics*, 2(2), 125-143.
- Hollien, H., Dew, D., & Philips, P. (1971). Phonational frequency ranges of adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 14(4), 755-760.
- Ikeda, Y., Masuda, T., Manako, H., Yamashita, H., Yamamoto, T., & Komiya, S. (1999). Quantitative evaluation of the voice range profile in patients with voice disorder. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 256(Suppl 1), S51-S55.
- Jin, S. M., Song, Y. K., Kwon, K. H., Lee, K. C., & Ban, J. (2002). Voice analysis of highest falsetto and lowest modal voice. *Journal of the Korean Society of Laryngology, Phoniatics and Logopedics*, 13(2), 151-154.
- Jung, W. J., Choi, S. H., & Choi, C. H. (2019). Development and validation of a novel simplified voice range profile measurement method: Comparison of maximum vocal performance based on the VRP protocol. *Communication Sciences & Disorders*, 24(3), 770-784.
- Kim, H. (2012). *Neurologic speech language disorders*. Seoul, Korea: Sigma Press.
- Kim, J., & Lee, S. (2019). Development and validation of speech range profile task. *Phonetics and Speech Sciences*, 11(3), 77-87.
- Kim, J., & Lee, S. (2021). Voice range profile in premutation, mutation, and postmutation of men. *Phonetics and Speech Sciences*, 13(4), 89-100.
- Kochis-Jennings, K. A., Finnegan, E. M., Hoffman, H. T., Jaiswal, S., & Hull, D. (2014). Cricothyroid muscle and thyroarytenoid muscle dominance in vocal register control: Preliminary results. *Journal of Voice*, 28(5), 652.E21-652.E29.
- Kumar, R., Banumathy, N., Sharma, P., & Panda, N. K. (2019). Normalisation of voice parameters in patients with unilateral vocal fold palsy: Is it realistic? *The Journal of Laryngology & Otology*, 133(12), 1097-1102.
- Lee, S. J., & Kim, J. (2019). Prediction of speaking fundamental frequency using the voice and speech range profiles in normal adults. *Phonetics and Speech Sciences*, 11(3), 49-55.
- Li, N. Y. K., & Yiu, E. M. L. (2006). Acoustic and perceptual analysis of modal and falsetto registers in females with dysphonia. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 20(6), 463-481.
- Linville, S. E. (1987). Maximum phonational frequency range capabilities of women's voices with advancing age. *Folia Phoniatica*, 39(6), 297-301.
- Lopes, L. W., Simões, L. B., da Silva, J. D., Evangelista, D. S., Ugulino, A. C. N., Silva, P. O. C., & Vieira, V. J. D. (2017). Accuracy of acoustic analysis measurements in the evaluation of patients with different laryngeal diagnoses. *Journal of Voice*, 31(3), 382.E15-382.E26.
- Lundy, D. S., & Casiano, R. R. (1995). "Compensatory falsetto": Effects on vocal quality. *Journal of Voice*, 9(4), 439-442.
- Ma, E., Robertson, J., Radford, C., Vagne, S., El-Halabi, R., & Yiu, E. (2007). Reliability of speaking and maximum voice range measures in screening for dysphonia. *Journal of Voice*, 21(4), 397-406.
- Ma, E. P. M., & Yiu, E. M. L. (2006). Multiparametric evaluation of dysphonic severity. *Journal of Voice*, 20(3), 380-390.
- Mailänder, E., Mühre, L., & Barsties, B. (2017). Lax Vox as a voice training program for teachers: A pilot study. *Journal of Voice*, 31(2), 262.E13-262.E22.
- McAllister, A., Sederholm, E., Sundberg, J., & Gramming, P. (1994). Relations between voice range profiles and physiological and perceptual voice characteristics in ten-year-old children. *Journal of Voice*, 8(3), 230-239.
- Meerschman, I., D'haeseleer, E., Catry, T., Ruigrok, B., Claeys, S., & Van Lierde, K. (2017). Effect of two isolated vocal facilitating techniques glottal fry and yawn-sigh on the phonation of female speech-language pathology students: A pilot study. *Journal of Communication Disorders*, 66, 40-50.
- Nam, D. H., Choi, S. H., Choi, J. N., & Choi, H. S. (2004). Analysis of phonatory aerodynamic & E.G.G. during passaggio of the trained male singers. *Journal of the Korean Society of Laryngology, Phoniatics and Logopedics*, 15(1), 21-26.
- Ptacek, P. H., Sander, E. K., Maloney, W. H., & Roe Jackson, C. C. (1966). Phonatory and related changes with advanced age. *Journal of Speech and Hearing Research*, 9(3), 353-360.
- Spencer, M. L., & Titze, I. R. (2001). An investigation of a modal-falsetto register transition hypothesis using helox gas. *Journal of Voice*, 15(1), 15-24.
- Speyer, R., Wieneke, G. H., van Wijck-Warnaar, I., & Dejonckere, P. H. (2003). Effects of voice therapy on the voice range profiles of dysphonic patients. *Journal of Voice*, 17(4), 544-556.
- Titze, I. R. (1988). A framework for the study of vocal registers.

Journal of Voice, 2(3), 182-194.

Titze, I. R. (1992). Acoustic interpretation of the voice range profile (phonetogram). *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 35(1), 21-34.

Titze, I. R. (1994). *Principles of voice production*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Wuyts, F. L., De Bodt, M. S., Molenberghs, G., Remacle, M., Heylen, L., Millet, B., Van Lierde, K., ... Van de Heyning, P. H. (2000). The dysphonia severity index: An objective measure of vocal quality based on a multiparameter approach. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(3), 796-809.

- **김재욱 (Jaeock Kim)** 교신저자
강남대학교 교육대학원 언어치료교육전공 교수
경기도 용인시 기흥구 강남로40 강남대학교
Tel: 031-280-3221
Email: jaeock@gmail.com
관심분야: 음성장애, 음성언어의학, 음성과학

- **이승진 (Seung Jin Lee)**
한림대학교 자연과학대학 언어청각학부 교수
춘천시 한림대학길1 자연과학대학 언어청각학부
Tel: 033-248-2223
Email: sjl@hallym.ac.kr
관심분야: 음성장애, 음성언어의학, 신경말언어장애

음성장애 성인 여성과 정상음성 성인 여성 간 진성구와 가성구의 음성범위프로파일 비교*

김재욱¹ · 이승진²

¹강남대학교 교육대학원 언어치료교육전공, ²한림대학교 자연과학대학 언어청각학부 및 청각언어연구소

국문초록

본 연구는 53명의 음성장애 성인 여성과 53명의 정상음성 성인 여성의 진성구와 가성구 음역대 및 진성구-가성구 성구전환이 발생하는 구간을 비교하였다. 최고기본주파수($F0_{MAX}$), 최고음성강도(I_{MAX}), 기본주파수범위($F0_{RANGE}$) 및 음성강도범위(I_{RANGE}) 모두 음성장애군이 정상음성군에 비해 유의하게 낮았다. 또한 두 집단 모두 $F0_{MAX}$ 와 $F0_{RANGE}$ 가 진성구에 비해 가성구가 유의하게 높았다. I_{MAX} 와 I_{RANGE} 는 정상음성군에서 가성구가 진성구보다 유의하게 높았으나 음성장애군은 진성구와 가성구 간에 차이가 없었다. $F0_{MIN}$ 과 I_{MIN} 은 두 집단 간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 진성구-가성구 성구전환이 발생하는 지점의 주파수는 음성장애군은 378.86Hz(F4#), 정상음성군은 557.79Hz(C5#)로 음성장애군이 유의하게 낮았다. 본 연구를 통해 음성장애가 있는 성인 여성의 진성구와 가성구 음역대 모두 정상음성 성인 여성에 비해 감소하여 성대가 고주파수에서 진동하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 본 연구 결과는 성인 여성 음성장애 환자의 진성구와 가성구의 VRP를 함께 살펴봄으로써 음성장애가 미치는 음향학적 특성을 파악하기 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

핵심어: 음역대, 음성장애, 진성구, 가성구

참고문헌

- 김재욱, 이승진(2019). 발화범위 프로파일 과제 개발 및 타당성 검증. *말소리와 음성과학*, 11(3), 77-87.
- 김재욱, 이승진(2021). 변성이전, 변성 및 변성이후 남성의 발성 범위 프로파일. *말소리와 음성과학*, 13(4), 89-100.
- 김향희(2012). *신경언어장애*. 서울: 시그마프레스.
- 남도현, 최성희, 최재남, 최홍식(2004). 남성성악가의 vocal register transition(Passaggio) 시 공기역학적 변화와 EGG의 변화 연구. *대한후두음성언어의학회지*, 15(1), 21-26.
- 이승진, 김재욱(2019). 정상 성인에서 음성 및 말소리 범위 프로파일을 이용한 발화 기본주파수 예측. *말소리와 음성과학*, 11(3), 49-55.
- 진성민, 송윤경, 권기환, 이경철, 반재호(2002). 가성구와 흉성구의 객관적인 음성분석. *대한음성언어의학회지*, 13(2), 151-154.
- Ferrand, C. T. (2014). *음성장애: 이론과 실제* (김성태, 표화영, 권순복 역). 서울: 박학사.

* 본 연구는 2018년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이며(과제번호: NRF-2018S1A5A2A03032902), 일부는 Seoul International Conference on Speech Sciences 2019에서 발표됨.