

The Effect of Gender and Speech Task on Cepstral- and Spectral-Measures of Korean Normal Speakers

Seong Hee Choi^{1,2,3}, Chul-Hee Choi^{1,2,3}

¹Department of Audiology and Speech-Language Pathology, ²Research Institute of Biomimetic Sensory Control, ³Catholic Hearing Voice Speech Center, Catholic University of Daegu, Gyeongsan, Korea

한국 정상 화자의 캡스트럼과 스펙트럼 측정치의 성별과 발화 과제 효과

최 성 희^{1,2,3} · 최 철 희^{1,2,3}

대구가톨릭대학교 바이오메디대학 언어청각치료학과¹, 생체모방감각제어연구소², 가톨릭 청각음성언어센터³

Purpose: The purpose of this study was to explore the effects of speech tasks (vowel vs. continuous speech) and gender on cepstral and spectral measurement. **Methods:** Fifty-one young adults with normal voice participated and four cepstral- and spectral parameters [cepstral peak prominence (CPP), CPPSD, L/H ratio, L/H ratio SD] were obtained using ADSV™ on seven Korean vowels (/a/, /ɛ/, /i/, /o/, /u/, /ɰ/, /ʌ/) and two standardized paragraphs ('fall' & 'walk'). **Results:** Significant main effects of both gender and vowel type were found. Males had significantly greater mean CPPs than females and greater CPPs for low vowel /a/ than high vowels (/i/ and /u/). No effect of continuous speech type on CPPs and L/H ratio, but gender had significant effect on the L/H ratio (greater L/H ratio for males in both continuous speech tasks). In addition, vowels had significantly greater CPP and L/H ratio than continuous speech including various phonemes. There was no relationship between 'walk' and 'fall' in CPP whereas higher correlation was presented between 'walk' and 'fall' in L/H ratio. In normal voice, no evidence provided that /a/vowel had any relationships with both standardized paragraphs in CPP reflecting overall voice quality or severity of voice disorders. **Conclusion:** The results of this study indicate that cepstral- and spectral-based measures for normative data need to consider vowel type and gender. Furthermore, gender differences should also be considered for L/H ratio spectral-based measurement in continuous speech.

Key Words: Cepstral, Spectral, Vowel, Continuous speech, Gender.

Received: June 12, 2016 / **Revised:** July 6, 2016 / **Accepted:** July 14, 2016

Correspondence: Chul-Hee Choi, Department of Audiology and Speech-Language Pathology, Research Institute of Biomimetic Sensory Control, and Catholic Hearing Voice Speech Center, Catholic University of Daegu, 13-13 Hayang-ro, Hayang-eup, Gyeongsan 38430, Korea

Tel: +82-53-850-2541 / **Fax:** +82-53-359-0780 / **E-mail:** cchoi@cu.ac.kr

INTRODUCTION

청지각적 음질 평정은 일반적으로 모음연장발성이나 연결발화를 통해 이루어지며, 국내에서는 모음연장발성이나 표준화문단 읽기가 진단이나 평가에 주로 활용된다(Choi, 2013). 모음연장발성은 바른 입상에서 음성의 비정상적인 정도를 평가하는 데 일반적으로 사용되고 있으나, 연결발화는 전형적인 일상생활의 발화 패턴을 반영하고 매일의 일상생활에서 사용하는 환자의 음질을 잘 반영하므로 그 중요성이 강조되고 있다(Bele, 2005; Parsa & Jamieson, 2001). 청지각적 평정과 마찬가지로, 음향학

적 측정치도 다양한 발화 과제를 통해 얻어야 하지만, 음향학적 분석은 시간에 따른 주기나 강도의 일관성이 필수적이다. 다차원 음성측정기(Multi Di-mensional Voice Program)와 같은 대부분의 음성분석프로그램은 모음 연장발성 분석은 가능하나 연결발화의 분석에는 상당한 제약이 있다.

최근 연결발화를 객관적으로 평가하기 위해 주파수 기반 분석인 스펙트럼이나 캡스트럼과 같은 음향학적 분석이 널리 사용되고 있다(Maryn et al., 2009). 변동률 분석과 달리, 캡스트럼 분석치들은 주파수영역에서 성대의 진동 신호와 성도의 공명주파수를 분리하여 정확한 기본주파수 검출을 요하지 않

므로(Noll, 1967), 모음뿐 아니라 불안정한 음도변화를 포함하는 연결발화도 음향학적 분석이 가능하며, 주기적인 음성 신호뿐 아니라 매우 비주기적인 음성 신호도 분석이 가능한 장점을 지닌다(Heman-Ackah et al., 2003). 특히, 안정된 음도와 강도를 가정으로 하는 전통적인 시간 기반 음향지표인 변동률 분석에 비해 캡스트럼 분석은 변동률 분석보다 청지각적 음질 평정 상관이 더 높고, 모음연장발성뿐 아니라 연결발화에서 정상 음성과 장애 음성을 잘 감별하는 음향적 지표였다(Awan & Roy, 2006; Eadie & Baylor, 2006; Halberstam, 2004; Lowell et al., 2011; Lowell et al., 2013; Wolfe & Martin, 1997; Wolfe et al., 2000). 음향학적 변동률 분석에 있어서 모음 유형의 효과 연구에 따르면, 강도변동률에서만 유의한 차이를 보였으며, 저-후설 /아/ 모음이 다른 모음에 비해 통계적으로 유의하게 높은 강도변동률을 나타내었다(Choi & Choi, 2015). 그러나, 시간 기반의 변동률 분석에 비해 정확한 기본주파수 추출을 요하지 않는 캡스트럼이나 스펙트럼 분석에서 모음의 효과는 아직 알려지지 않았다. 최근 국외에서 다양한 모음과 연결발화에 따른 캡스트럼 분석에 대한 연구가 있었으나(Awan et al., 2012; Lowell & Hylkema, 2016), 한국어와는 다르므로 이를 그대로 적용하기에는 무리가 있다.

현재까지 캡스트럼에 대한 국내의 음향학적 연구는 주로 모음연장발성에 대한 연구가 대부분이었으며(Choi & Choi, 2014; Shim et al., 2014), 다양한 모음이나 성별을 고려하지 못하였다. Shim et al.(2014)의 연구에서는 후두전적출술을 받은 식도발성화자 13명과 노인화자 13명을 대상으로 모음/아/ 발성으로 캡스트럼과 스펙트럼 분석을 실시하였으며, 대상자는 모두 남성이었다. Choi & Choi(2014)의 연구에서도 /아/ 모음만을 사용하여 음성의 중증도에 따른 장애음성의 스펙트럼과 캡스트럼 측정치를 시간기반 분석치와 비선형동적분석치와 비교하였다.

한편, 연결발화에 대한 음향학적 연구로는 6어절로 구성된 문장으로 16~85세의 11명의 마비말장애 화자와 성과 연령을 일치시킨 11명의 정상화자를 대상으로 캡스트럼과 스펙트럼 분석으로 연결발화를 분석한 연구가 있었다(Seo & Seong, 2013). 한편, Lee(2011)의 연구에서는 표준 문단 '산책(Jeong, 1994)' 중 첫 두 문장을 사용하여 연속구어에 대한 음향적 분석을 실시하였으며 장구간 평균 스펙트럼 분석, 스펙트럼 기울기 등의 음향학적 변수를 측정하였다. 이와 같이 국내 선행 연구에서는 다양한 모음이나 연속구어 과제 및 성별 차이를 고려한 캡스트럼이나 스펙트럼 분석치에 대한 충분한 근거가 제시되어 있지 않다. 따라서, 본 연구의 목적은 성별과 다양한 한국어 말소리 문맥 간 캡스트럼과 스펙트럼 측정치에 유의한 차이가 있는지 규명해 보고자 한다. 또한, 연결발화가 다양한 말소리의 음향적 정보를 포함하므로 현재 사용되는 두 개의 표준화문구 간에 캡

스트럼이나 스펙트럼 측정치에 차이가 있는지 살펴보고 연결발화의 음향학적 측정치를 예측할 수 있는 모음과 연결발화의 상관성을 살펴보고자 한다.

MATERIALS AND METHODS

연구 대상

본 연구에 참여한 대상자는 만 20~30세 정상 청년층 51명(여자 34명, 남자 17명)을 대상으로 하였다. 대상자는 5년 이상 음성평가를 해온 1급 언어재활사 2명에 의해 청지각적 평정인 GR-BAS에서 G가 '0'이며 이비인후과의사 판독에 의해 후두내시경 소견 상 정상소견을 보이고 최근 상기도감염이나 후두질환이 없고 흡연 경력이 없는 사람을 대상으로 하였다.

연구 절차

말과제 및 음성자료 수집

음성자료는 소음이 통제된 음성검사실에서 수집하였다. 녹음은 입으로부터 10 cm 떨어진 위치에서 90도 각도로 고정된 단일 지향성 다이내믹 유형의 마이크(D7 Vocal, AKG, Vienna, Austria)를 사용하였으며, CSL프로그램(Model 4300B; Pentax Medical Company, Lincoln Park, NJ, USA)을 사용하여 샘플링 속도를 44,100 Hz의 표본추출비율로 모음과 연결발화를 녹음하였다.

모음연장발성과제는 Shin & Cha(2003)의 구어체계에 입각한 7개의 한국어 단모음 체계를 사용하였다(Table 1). 편안한 음도와 강도에서 '하나 둘 셋' 숫자세기 후 각 모음을 3초간 3번 반복하여 발성하도록 하였다. 모음의 유형은 검사자마다 다른 순서로 무작위로 녹음하였으며, 분석치는 3번 반복한 것의 평균값을 사용하였다. 표준화 문구는 표준 문단 '산책(Jeong, 1994)'과 '가을(Kim, 1996)'을 처음부터 끝까지 평상시의 음도와 높이로 각각 한 번씩 읽도록 하였다. 문단 읽기 중 잘못 읽은 것은 다시 읽도록 지시하였으며 녹음 후 잘못 읽은 것은 다시 듣기 재생 후 편집하여 수정된 문단 읽기를 최종 저장하였다. 녹음된 파일은 총 1,173개(7개 모음 × 3번 × 2개 문단 × 51명)의 음성 파일로 저장되었다.

Table 1. Vowel tasks (Korean 7 vowels in spoken language)

	Front		Back
	Unround	Round	Unround
High	/i/	/u/	/ɯ/
Mid	/ɛ/	/o/	/ʌ/
Low			/a/

캡스트럼 및 스펙트럼 분석

정상 성인을 대상으로 한 모음과 연결발화의 캡스트럼 및 스펙트럼 분석을 위해 ADSVTM (Analysis of Dysphonia in Speech and Voice, Model 5109, Kay Pentax Medical, Montvale, NJ, USA)의 프로그램을 사용하였다. 모음은 처음과 끝부분을 제외한 가운데 부분인 1초를 분석대상으로 하였고 평균값을 사용하였으며, 연결발화인 표준문단은 각 문단의 처음과 끝부분을 분석 대상으로 하였다. ADSV프로그램에서 자동 음성 부분 검출 방식을 선택하여 2개의 캡스트럼 분석치 cepstral peak prominence (CPP) (dB), CPP_SD (dB)와 2개의 스펙트럼 분석치 low-high spectral ratio (L/H ratio) (dB), L/H ratio_SD (dB)를 측정하였다. CPP (dB)는 전체 캡스트럼의 회귀선과 cepstral peak간 강도의 차이를 말하며, 비정상적인 음질일수록 CPP 값이 작다(Hillenbrand & Houde, 1996; Lowell et al., 2012).

스펙트럼 분석인 L/H ratio는 4,000 Hz를 기준으로 4,000 Hz 위아래의 평균 에너지의 비율을 의미하며, L/H ratio_SD는 L/H ratio의 표준편차이다.

통계분석

수집된 자료의 통계 분석은 IBM SPSS Statistics 19.0TM (IBM, New York, NY, USA)을 사용하였으며, 성별과 모음문맥과 연결발화 문맥에 대한 CPP와 L/H ratio값은 기술통계를 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 성별과 모음문맥 및 성별과 연결발화 문맥 간에 따른 CPP, L/H ratio 측정치의 차이를 비교하기 위해 개체 내 요인은 모음 과제(7수준) 혹은 연결발화(2수준)과제, 개체 간 요인은 성별(남녀 두 수준)로 하는 반복측

정 혼합 분산분석(a repeated-measures mixed ANOVA)을 각각 실시하였다. 개체 간 반복측정분석에 대한 통계검정은 Mauchly의 구형성 검정에 의해 구형성이 가정된 경우는 구형성 가정값을 사용하였으며, 구형성 가정을 만족하지 않는 경우는 Greenhouse-Geisser로 수정된 자유도와 F값을 보고하였다. 또한, 개체 내 효과 검정 결과, 통계적으로 유의미한 경우, 개체 내 대비검정을 실시하여 유의성 검정을 실시하였다. 성별에 따른 모음과 연결발화 간 CPP, L/H ratio 측정치의 차이를 분석하기 위해 이원분산분석(two-way ANOVA)을 실시하였으며, 발화 문맥(모음 vs. 연결발화)에 따른 캡스트럼 및 스펙트럼 측정치와 간 상관관계는 피어슨 상관분석(Pearson correlation analysis)으로 분석하였으며, 유의수준은 0.05였다.

RESULTS

캡스트럼과 스펙트럼 분석의 모음 유형 효과

모음 문맥에 따른 CPP와 L/H ratio값의 평균치와 표준편차는 Table 2와 Figure 1과 같다. CPP값은 모음 중 /아/(M = 11.894, SD = 1.94)가 가장 높았으며, /어/ > /에/ > /으/ > /오/ > /이/ > /우/ 순이었다. 반복측정 혼합 분산분석(1개의 집단 간 요인(성별: 2수준)과 1개의 집단 내 요인(모음의 유형: 7수준) 결과, 성별과 모음 문맥 간 상호작용은 없었으나(F(Greenhouse-Geiser: 3.752, 183.829) = 1.972, $p > 0.05$), 통계적으로 유의미한 모음의 주효과가 있었으며(F(Greenhouse-Geiser: 3.752, 183.829) = 45.792, $p < 0.001$; partial $\eta^2 = 0.483$), 성별의 주효과가 있었다(F(1, 49) = 63.150, $p < 0.001$; partial $\eta^2 = 0.563$). 대음별 비교 결과, /아/와 /에/, /우/, /으/, /어/ 모음은 모든 모음과 유의한 차

Table 2. CPP & L/H ratio measures (dB) based on gender in each vowel task of normal speakers

Vowel	Gender	CPP (dB)		<i>t</i>	L/H ratio (dB)		<i>t</i>
		M	SD		M	SD	
/a/	M	14.07	± 1.27	9.334 [†]	31.38	± 3.69	4.007 [†]
	F	10.81	± 1.13		27.44	± 3.12	
/ε/	M	12.72	± 1.65	5.870 [†]	28.62	± 4.41	3.532*
	F	10.19	± 1.35		24.65	± 3.45	
/i/	M	11.06	± 2.36	4.198 [†]	26.64	± 5.88	1.850
	F	8.37	± 1.69		23.75	± 4.94	
/o/	M	11.00	± 2.36	3.745 [†]	37.55	± 4.41	-0.373
	F	9.02	± 1.80		38.02	± 4.18	
/u/	M	10.14	± 1.24	4.999 [†]	37.92	± 4.44	1.086
	F	8.28	± 1.25		35.30	± 9.40	
/w/	M	12.08	± 1.74	5.756 [†]	32.08	± 5.58	3.047*
	F	9.37	± 1.50		28.40	± 3.08	
/ʌ/	M	12.91	± 1.17	5.834 [†]	32.68	± 3.84	1.523
	F	10.78	± 1.26		30.49	± 5.26	

* $p < 0.01$, [†] $p < 0.001$. CPP: cepstral peak prominence, L/H ratio: low-high spectral ratio, M: mean, SD: standard deviation

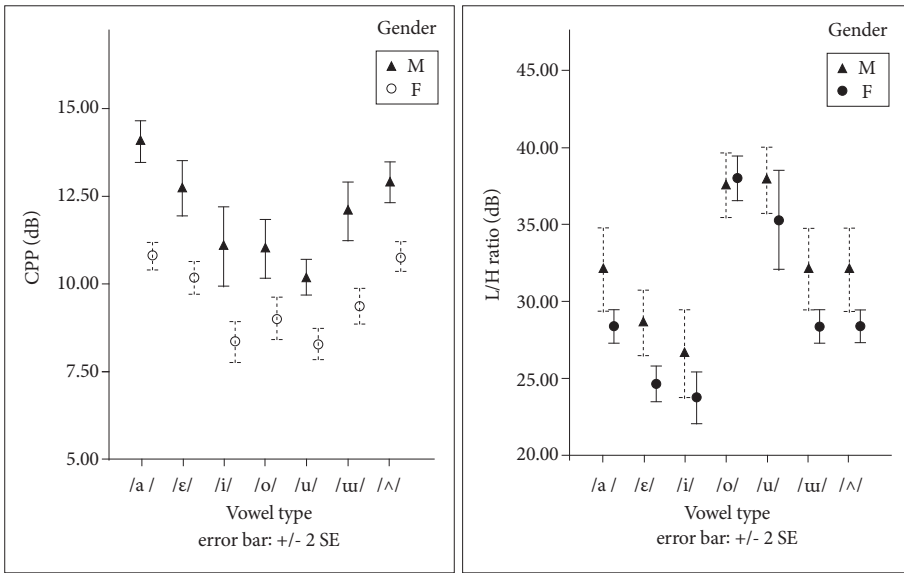


Figure 1. CPP & L/H ratio (dB) measures based on gender and vowel tasks. CPP: cepstral peak prominence, L/H ratio: low-high spectral ratio.

이를 보였고($p < 0.01$), /이/ 모음은 /오/ 모음을 제외한 모든 모음과 차이를 보였다($p < 0.01$). 성별의 경우, 남성이 여성에 비해 통계적으로 유의하게 높은 CPP값을 보였으며, 모든 모음에서 남성이 여성에 비해 유의하게 높았다($p < 0.001$)(Table 2).

한편, L/H ratio값은 /오/ 모음($M = 37.55$, $SD = 4.41$)이 가장 높았으며, /우/ > /어/ > /으/ > /아/ > /에/ > /이/ 순이었다. 반복 측정 혼합 분산분석 결과, 성별과 모음 유형 간 통계적으로 유의한 상호작용 효과는 없었으나(F(Greenhouse-Geiser: 3.453, 169.214) = 1.431, $p > 0.05$), 모음과(F(Greenhouse-Geiser: 3.453, 169.214) = 52.807, $p < 0.001$; partial $\eta^2 = 0.519$) 성별의 주효과가 있었다($F(1, 49) = 9.220$, $p < 0.01$; partial $\eta^2 = 0.158$). 대응별 비교결과, 모음/아/는 /으/를 제외하고, 모음/에/는 /이/를 제외하고, 모음/오/는 /우/를 제외하고, 모음/어/는 /으/를 제외한 모든 모음과 유의한 차이를 나타내었다($p < 0.01$). 성별의 경우, Table 2에서 보는 바와 같이, 모음/아/, /에/, /으/는 남성이 여성에 비해 유의하게 높았다($p < 0.001$).

캡스트럼과 스펙트럼 분석의 연결발화 유형 효과

연결발화(표준문단 ‘가을’과 ‘산책’)과제에 따른 CPP와 L/H ratio값의 평균치와 표준편차를 Table 3과 Table 4에 각각 제시하였다. 반복측정 혼합 분산분석 결과, CPP는 성별과 연결발화 간에 상호작용은 없었으나($F(1,49) = 0.276$, $p > 0.05$), 성별 간 ($F(1,49) = 3.415$, $p > 0.05$), 연결발화 간에 유의한 차이를 보이지 않았다($F(1,49) = 0.276$, $p > 0.05$).

이와는 대조적으로, L/H ratio에서는 두 표준 문단에서 남성이 여성에 비해 높은 L/H ratio값을 보였다($p < 0.01$). 성별과 연결발화 간에 상호작용은 없었고($F(1,49) = 0.097$, $p > 0.05$), 연결발화 간에도 유의한 차이를 보이지 않았다($F(1,49) = 0.003$, p

Table 3. Means and SDs of CPP measures (dB) based on gender for continuous speech tasks

Continuous speech	Gender	CPP (dB) M ± SD	t
Fall	M	7.01 ± 1.15	1.191
	F	6.64 ± 0.99	
Walk	M	6.95 ± 1.33	1.508
	F	6.48 ± 0.90	

Standardized passages: ‘Fall’ & ‘Walk’. CPP: cepstral peak prominence, SD: standard deviation

Table 4. Means and SDs of L/H ratio measures (dB) based on gender for continuous speech tasks

Continuous speech	Gender	L/H ratio (dB) M ± SD	t
Fall	M	29.03 ± 1.84	2.476*
	F	26.55 ± 3.90	
Walk	M	28.90 ± 1.95	2.986†
	F	26.64 ± 2.79	

Standardized passages: ‘Fall’ & ‘Walk’. * $p < 0.05$, † $p < 0.01$. SD: standard deviation, L/H ratio: low-high spectral ratio

> 0.05).

캡스트럼과 스펙트럼 분석의 구어과제(모음 vs. 연결발화)의 효과

모음과 연결발화의 CPP와 L/H ratio 측정치의 평균과 표준편차는 Table 5와 Figure 2와 같다. 캡스트럼과 스펙트럼 측정치에 대한 성별과 구어과제 간 차이를 분석한 결과, CPP는 성별과 구어과제 간 상호작용 효과가 있어서($F(1,455) = 16.060$, $p < 0.001$), 주효과는 분석하지 않았다.

반면에, L/H ratio는 성별과 구어과제 간 상호작용이 없었으며($F(1,455) = 0.118$, $p > 0.05$), 성별($F(1,49) = 12.985$, $p < 0.001$)

과 구어 과제($F(1,49) = 19.564, p < 0.001$)는 모두 유의미한 차이가 있었다.

모음과 연결발화 간 캡스트럼과 스펙트럼 측정치의 상관

모음과 표준문단 간 캡스트럼 측정치 CPP의 상관관계는 Table 6과 같다. 두 표준문단 간 CPP는 유의한 상관관계가 없었고($r = 0.102, p = 0.477$), 산책문단은 모음/어와 낮은 상관을($r = 0.308, p = 0.028$), 가을문단은 /에/와 /우/ 모음과 통계적으로 낮은 상관관계를 보였다($p < 0.05$).

한편, 스펙트럼 측정치인 L/H ratio 경우, 산책문단은 /아/와

/에/모음과 중간 정도의 상관성을 보였으며, /이/와 /오/ 모음과는 낮은 상관성을 보였다. 가을문단은 /아/ 모음과 중간 정도의 상관성을($r = 0.503, p = 0.000$), /오/ 모음과는 낮은 상관성을 보였다($r = 0.317, p = 0.023$). CPP와는 달리, 가을과 산책문단 간에는 강한 상관성을 보였다($r = 0.748, p = 0.000$)(Table 7).

DISCUSSIONS

본 연구는 캡스트럼이나 스펙트럼 기반 음향학적 분석의 우수성을 고려하여 정상 성인을 대상으로 다양한 모음뿐 아니라 연결발화 과제를 이용하여 구어 과제와 성별에 따른 CPP나 L/H ratio 측정치의 차이를 조사하고자 하였다.

Table 5. Means and SDs of CPP, L/H ratio measures for speech tasks (vowel vs. continuous speech)

Task	Gender	CPP (dB)	L/H ratio (dB)
		M ± SD	M ± SD
Vowel	M	12.00 ± 2.03	32.43 ± 6.36
	F	9.54 ± 1.73	29.56 ± 6.90
Continuous speech	M	6.96 ± 0.99	28.96 ± 1.87
	F	6.74 ± 1.15	26.60 ± 3.36

CPP: cepstral peak prominence, SD: standard deviation, L/H ratio: low-high spectral ratio

모음 유형의 효과

본 연구 결과, CPP는 성별과 모음에 대한 유의한 효과가 있었다. 변동률 분석에서는 모음에서 강도변동률만이 차이를 보였으나(Choi & Choi, 2015), 본 연구에서는 모음의 유형에 따라 CPP가 유의한 차이를 보였다. 특히 임상에서 가장 일반적으로 사용되는 /아/모음이 가장 높은 CPP값을 나타내었으며, 스펙트럼에서 조화음 구조가 잘 나타날수록 캡스트럼의 정점은 더 두드러지게 나타나는 데, 저모음/아/가 고모음(/이/, /우/)에 비해 상대적으로 높은 CPP값을 보였다. 성별로는 남성이 여성보다 높은 CPP값을 나타내었다. 영어의 경우, 영어 모음/아/는 저-전설 모음에 속하며, 한국어 모음/아/는 저-후설 모음에 속하므로 언어 간 차이가 있을 수 있으나(Franca, 2012), Awan et al.(2012)의 연구에서는 모음의 유형에 따라 CPP값에 차이를 보였으며, 본 연구의 결과와 마찬가지로 저모음/아/가 가장 높게 나타났으며, 고모음인 /이/나 /우/가 낮은 CPP값을 보였다.

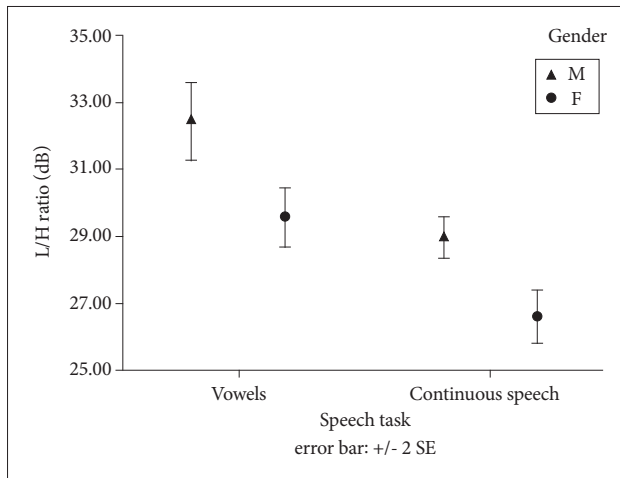


Figure 2. L/H ratio measures based on gender and speech tasks (vowel vs. continuous speech). L/H ratio: low-high spectral ratio, SE: standard error.

Titze(1994)에 의하면, 성도 공명으로서 구강은 모음의 제2포먼트에 중요한 역할을 하며, 고모음 산출 시 낮은 제1포먼트와 높은 제2포먼트를 보이며 제1포먼트와 제2포먼트 간에 매우 차이가 커서 전반적으로 음성 신호 진폭의 감소를 가져 온다. 반면 저모음은 높은 제1포먼트와 비교적 낮은 제2포

Table 6. Relationship of CPP measures (dB) among vowels and continuous speech tasks

CPP	Walk	Fall	/a/	/ε/	/i/	/o/	/u/	/ʉ/	/ʌ/
Walk	-	0.102	0.134	0.203	0.248	0.112	0.248	0.149	0.308*
Fall	0.477	-	0.099	0.013*	0.051	0.872	0.013*	0.091	0.091

* $p < 0.05$. CPP: cepstral peak prominence

Table 7. Relationships of L/H ratio measures (dB) among vowels and continuous speech tasks

L/H ratio	Walk	Fall	/a/	/ε/	/i/	/o/	/u/	/ʉ/	/ʌ/
Walk	-	0.748 [†]	0.533 [†]	0.459 [†]	0.353 [†]	0.222	0.082	0.374 [†]	0.182
Fall	0.748 [†]	-	0.503 [†]	0.242	0.229	0.215	0.125	0.317*	0.088

* $p < 0.05$, [†] $p < 0.01$

르만트를 가지므로 제1포르만트와 제2포르만트 간의 차이는 적어 전반적으로 높은 음성신호의 에너지를 가지는 것으로 여겨진다. 또한, 고모음일수록 구강 개방이 적어서 성도를 통하는 기류의 저항이 증가하므로 구강 내 후압력이 생기며 이것은 성도의 전반적 에너지 감소를 가져오는 반면, 저모음은 구강 개방이 커지므로 소리 압력의 방사 효과를 나타내어 증가된 음성 강도뿐 아니라 강한 조화음 에너지를 가지는 것으로 보인다(Awan et al., 2012). 성별로 볼 때, 남성은 여성에 비해 많은 조화음을 가질 뿐 아니라 비교적 길고 넓은 성도의 모양을 가지므로 높은 CPP값을 가지는 것으로 여겨진다. 이는 음성 치료 시에 /오/나 /우/ 모음과 같은 모음이 다른 평순모음에 비해 올바른 공명된 소리를 내기 위하여 효과적으로 사용될 수 있음을 시사하였다.

L/H ratio의 경우, 본 연구에서 /오/ 모음이 가장 높았으며, 성별 및 모음 문맥 간 차이를 분석한 결과, 성별과 모음문맥 간 상호작용은 없었고, 성별과 모음 문맥에 따라 모두 유의한 차이를 보였다. 특히, 원순모음인 /오/나 /우/에서 높은 L/H ratio값을 보였으며, 평순모음인/이/에서 가장 낮게 나타났는데, 이러한 현상은 원순모음을 산출할 때 성도의 길이가 길어지므로, 이 때 4,000 Hz를 기준으로 고주파수에너지보다 저주파수에너지가 더 높아진다는 것을 시사한다.

연결발화 유형의 효과

본 연구에서 연결발화의 효과를 조사하기 위해 2개의 표준화문단을 사용한 결과, 모음과 달리, 성별과 표준 문단(‘가을’과 ‘산책’ 표준화 문단) 간 CPP값은 유의한 차이를 보이지 않았으나, L/H ratio값은 성별에서 유의미한 차이가 나타났다. L/H ratio의 경우, 4,000 Hz를 기준으로 고주파수에너지보다 저주파수에너지 분포의 비를 측정하는 데, 일반적으로 말소리의 주파수 영역들이 1,000~4,000 Hz에 속하며 4,000 Hz를 기준으로 소음과 말소리를 구분하므로, L/H ratio값이 낮을수록 음성 신호보다는 4,000 Hz 이상의 소음에너지 비가 높음을 시사한다. 하지만, 연결발화는 모음과 비교할 때 CPP나 L/H ratio값이 유의미하게 낮았는데, 이는 연결발화과제인 두 표준문단은 모음에 비해 성대진동이 되지 않는 분절음 부분이 많고 파열음과 마찰음, 파찰음과 같은 음소로 구성되어 있기 때문인 것으로 여겨진다. 이러한 음소들은 공기의 파열이나 소음 및 마찰구간을 포함하므로 더 낮은 L/H ratio값을 보일 수 있을 것이다. 또한 두 연결발화는 서로 다른 운율과 여러 가지 모음과 자음이 결합된 다양한 음소의 문맥으로 구성되어 있는데 그럼에도 불구하고, 두 문단은 유사한 CPP나 L/H ratio 측정치를 나타내어 유의한 차이가 없었고, 다만 L/H ratio값에서 성별에 따른 차이만을 나타내었다. 이러한 차이는 일반적으로 여성이 남성에 비해 기식성(breathiness) 음질의 특성을 보여주므로, 이러한 특성

이 연결발화에서도 나타난 것으로 추측된다.

모음과 연결발화 간 스펙트럼 및 캡스트럼 측정치의 상관

본 연구에서 표준 문단인 가을과 산책문단은 CPP값은 통계적으로 유의미한 상관관계가 없었으나, 반면에 L/H ratio는 두 문단 간에 높은 상관관계를 보였다. 본 연구에서는 연결발화의 음질과 상관성이 가장 높다고 알려진 CPP값과 L/H ratio값은 표준문단에 따라 서로 다른 모음과 낮은 상관성을 보이거나 상관성이 없었다. 또한, 음질 평가 시 가장 많이 사용되는 /아/ 모음은 표준화 문구로 현재 사용되는 두 문단과 CPP측정치 간 상관성을 보이지 않아 음질을 측정하기 위한 대표성 모음으로 사용하기에 충분한 증거를 뒷받침하지 못하였다.

한편, 본 연구에서는 연결발화의 검사어로서 각 표준문단의 문장 전체를 분석하였으나, 각 표준문단을 구성하고 있는 모음과 자음의 음소 형태, 음절수, 어절 길이, 주파수 영역과 같은 음성 음향학적 문맥은 구체적으로 분석하지 않았기에 이러한 특성들이 연결발화의 음향학적 측정치에 미치는 영향은 살펴볼 수 없었다. 추후 연구에서는 각 표준문단의 음성학적 문맥을 분석하고, 음향분석에 있어서 주파수별 문맥 효과를 검증할 필요가 있다. 본 연구는 비록 적은 수를 대상으로 젊은 청년층에 국한하여 성별과 과제에 따른 스펙트럼 측정에 대한 예비 자료를 제공하였으나 다음과 같은 임상적 의의를 시사한다. 캡스트럼과 스펙트럼 기반 정상 기준치는 성별 및 모음의 종류에 따라 유의미하게 다르게 나타났으므로 임상에서 사용 시에 성별 및 모음에 따라 서로 다른 기준을 제시하여야 할 것이다. 아울러, 정상 성인의 캡스트럼과 스펙트럼 측정치는 모음과 표준화 문단 간에 낮은 상관성을 보이므로 모음만으로 음질을 평가하는 데는 매우 제한된 정보만을 제공할 것이다. 따라서, 후속연구로는 표준문단 중 모음과 상관이 높은 다양한 문장을 찾아내거나 다양한 주파수의 음성적 문맥에서 음질을 효율적으로 평가할 수 있는 표준 문장 개발이 필요하다. 추후 연구에서는 좀 더 많은 정상인을 대상으로 캡스트럼과 스펙트럼의 연령의 효과도 살펴볼 필요가 있다.

중심 단어 : 캡스트럼 · 스펙트럼 · 모음 · 연결발화 · 성별.

Acknowledgments

본 연구는 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2013 S1A5A8024543).

REFERENCES

- Awan, S. N., Giovinco, A., & Owens, J. (2012). Effects of vocal intensity and vowel type on cepstral analysis of voice. *Journal of Voice*, 26(5), 670.e15-e20.
- Awan, S. N. & Roy, N. (2006). Toward the development of an objective index of dysphonia severity: A four-factor acoustic model. *Clinical Linguistics*

- and *Phonetics*, 20(1), 35-49.
- Bele, I. V. (2005). Reliability in perceptual analysis of voice quality. *Journal of Voice*, 19(4), 555-573.
- Choi, S. H. (2013). Speech-language pathologists' voice assessment and voice therapy practices: A survey for standard clinical guideline and evidence-based practice. *Communication Sciences and Disorders*, 18(4), 473-485.
- Choi, S. H. & Choi, C. H. (2014). The utility of perturbation, non-linear dynamic, and cepstrum measures of dysphonia according to signal typing. *Journal of the Korean Society of Speech Sciences*, 6(3), 63-72.
- Choi, S. H. & Choi, C. H. (2015). The stability and variability based on vowels in voice quality analysis. *Journal of the Korean Society of Speech Sciences*, 7(1), 79-86.
- Eadie, T. L. & Baylor, C. R. (2006). The effect of perceptual training on inexperienced listeners' judgments of dysphonic voice. *Journal of Voice*, 20(4), 527-544.
- Franca, M. C. (2012). Acoustic comparison of vowel sounds among adult females. *Journal of Voice*, 26(5), 671.e9-e17.
- Halberstam B. (2004). Acoustic and perceptual parameters relating to connected speech are more reliable measures of hoarseness than parameters relating to sustained vowels. *ORL; Journal for Oto-Rhino-Laryngology and Its Related Specialties*, 66(2),70-73.
- Heman-Ackah, Y. D., Heuer, R. J., Michael, D. D., Ostrowski, R., Horman, M., Baroody, M. M., et al. (2003). Cepstral peak prominence: A more reliable measure of dysphonia. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*, 112(4), 324-333.
- Hillenbrand, J. & Houde, R. A. (1996). Acoustic correlates of breathy vocal quality: Dysphonic voices and continuous speech. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39(2), 311-321.
- Jeong, O. R. (1994). *Daegu Diagnostic Aphasia Examination*. Daegu: Korean Speech-language and Hearing Association.
- Kim, H. H. (1996). Perceptual, acoustical, and physiological tools in ataxic dysarthria management: A case report. Proceedings on the 2nd Conference in The Korean Society of Phonetic Sciences and Speech Technology Semiannual, 9-22.
- Lee, M. S. (2011). A study of acoustic measurement in connected speech with dysphonia. *Speech Sciences*, 3(4), 109-115.
- Lowell, S. Y., Colton, R. H., Kelley, R. T., & Hahn, Y. C. (2011). Spectral- and cepstral-based measures during continuous speech: Capacity to distinguish dysphonia and consistency within a speaker. *Journal of Voice*, 25(5), e223-e232.
- Lowell, S. Y., Colton, R. H., Kelley, R.T., & Mizia, S. A. (2013). Predictive value and discriminant capacity of cepstral- and spectral-based measures during continuous speech. *Journal of Voice*, 27(4), 393-400.
- Lowell, S. Y. & Hylkema, J. A. (2016). The effect of speaking context on spectral- and cepstral-based acoustic features of normal voice. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 30(1), 1-11.
- Lowell, S. Y., Kelley, R. T., Awan, S. N., Colton, R. H., & Chan, N. H. (2012). Spectral- and cepstral-based acoustic features of dysphonic, strained voice quality. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*, 121(8), 539-548.
- Maryn, Y., Roy, N., De Bodt, M., Van Cauwenberge, P., & Corthals, P. (2009). Acoustic measurement of overall voice quality: A meta-analysis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 126(5), 2619-2634.
- Noll, A. M. (1967). Cepstrum pitch determination. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 41(2), 293-309.
- Parsa, V. & Jamieson, D. G. (2001). Acoustic discrimination of pathological voice: Sustained vowels versus continuous speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(2), 327-339.
- Seo, I. H. & Seong, C. J. (2013). Voice quality of dysarthric speakers in connected speech. *Journal of the Korean Society of Speech Sciences*, 5(4), 33-41.
- Shim, H. J., Jang, H. R., Shin, H. B., Ko, D. H. (2014). Spectral and cepstral analyses of esophageal speakers. *Journal of the Korean Society of Speech Sciences*, 6(2), 47-54.
- Shin, J. Y. & Cha, J. E. (2003). *The system of Korean sounds*. Seoul: Hankukmunhwasa.
- Titze, I. R. (1994). *Principles of voice production*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Wolfe, V. & Martin, D. (1997). Acoustic correlates of dysphonia: type and severity. *Journal of Communication Disorders*, 30(5), 403-415; quiz 415-416.
- Wolfe, V. I., Martin, D. P., & Palmer, C. I. (2000). Perception of dysphonic voice quality by naive listeners. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(3), 697-705.