

한국어 비음의 음향학적 구분을 위한 장구간 스펙트럼(LTAS) 분석*

최순애(충남대), 성철재(충남대)

<차 례>

- | | |
|---------|---------|
| 1. 머리말 | 3. 실험결과 |
| 2. 연구방법 | 4. 맺음말 |

<Abstract>

Long Term Average Spectral Analysis for Acoustical Discrimination of Korean Nasal Consonants

Soonai Choi, Cheol-Jae Seong

The purpose of this study is to find some acoustic parameters on frequency domain to distinguish the Korean nasals, /m, n, ŋ/ from each other. The new parameters are devised on the basis of LTAS (Long Term Average Spectrum). The maximum peak amplitude and the relevant formant frequency are measured in low and high frequency range, respectively. The frequency of spectral valley and its energy level are also obtained in the specific frequency range of the spectrum. Spectral slope, total energy value in specific frequency range, statistical distribution of spectral energy like centroid, skewness, and kurtosis are suggested as new parameters as well. The parameters that show statistically significant differences across nasals are summarized as follows. 1) in syllable initial positions: the total energy value from 1,500 to 2,200 Hz(zeroENG); 2) in syllable final positions: the peak amplitude of the first formant(peak1_a), the formant frequency with maximum peak amplitude from 4,000 to 8,000 Hz(peak2_f), the maximum peak amplitude of the formant frequency from 4,000 to 8,000 Hz(peak2_a), and the total energy value from 1,500 to 2,200 Hz(zeroENG).

* Keywords: LTAS, Korean nasals, Slope, Frequency domain, Formant, Amplitude.

* 이 논문은 2006년도 한국전자통신연구원 위탁과제 연구 결과물 중 일부임.

1. 머리말

비음은 구강의 한 부분을 막고 연구개를 내려 폐로부터 나오는 기류를 비강을 통해 내보내면서 조음하는 소리이다[1][2]. 좀 더 정확하게 기술하자면, 폐장 날숨 기류(egressive pulmonic airstream)를 이용하고 구강 내 특정 조음 위치(예를 들면 입술, 치조, 경구개, 연구개, 그리고 목젓)에서의 완전한 막음이 수반되며, 이와 동시에 연구개가 하강하여 폐로부터의 공기가 비강으로 자유롭게 탈출하면서 만들어지는 소리라고 할 수 있다[3].

비음은 성대에서 비공(nares)을 연결하는 비강통로에 구강으로 통하는 옆 길(side branch)이 하나 더 붙어있는 까닭에 기류가 구강 통로로만 흐르는 구강음과는 그 음향적 특성이 다를 수밖에 없다. 또한 부비동(paranasal sinuses), 상악동(maxillary sinuses), 전두동(frontal sinuses), 접형 골동(sphenoid sinuses), 사골동(ethmoid sinuses) 등 비강 내 다양한 크기와 모양의 비동(sinus)들도 비음의 복잡한 음향 특성에 기여를 하고 있다[15].

비음 조음 시, 성대와 비공의 연결 통로에서 옆길로 빠져 나온 구강 통로가 일종의 방해자 역할을 하여 본래 공명과 대치되는 반공명(anti-resonance; 혹은 반포먼트 anti-formant)이 발생하게 된다. 성도의 주파수 반응 측면에서, 공명을 극(pole)으로 반공명을 영(zero)이라 표현한다[3][4][5][12]. 조음 자리에 따라 구분되는 각 비음들은 극과 영의 분포에서 차이점을 보이며 결과적으로 스펙트럼 에너지 분포에서의 차이를 낳는다. 영은, 공명주파수 혹은 반공명주파수 근처의 스펙트럼 에너지를 강화시키는 대신, 선택적으로 소리를 흡수하는 효과로 나타난다. 따라서 스펙트럼 상에서 약한 배음으로 표현되거나 혹은 배음이 전혀 없는 형태로 나타날 수도 있다.

영어의 경우, [m]은 1,100 Hz 이상에서 포먼트 에너지가 약해지며[1][5], 반포먼트는 1,100 Hz와 3,300 Hz에서 생긴다. [n]은 1,200 Hz~1,300 Hz 사이에서 포먼트 에너지가 약해지고, 1,600 Hz와 4,800 Hz에서 에너지가 심하게 감소되어 반공명이 생긴다. [ŋ]은 1,700 Hz~2,000 Hz에서 포먼트 에너지가 약해지고 1,100 Hz, 3,200 Hz에서 반포먼트가 있다[8][9]. 한국어의 경우 /ㄱ/은 1500 Hz 이하의 상대적으로 낮은 주파수에서 반포먼트가 관찰되고, /ㄴ/은 1,500~2,500 Hz 부근에서, /ㅇ/은 대략 3,000 Hz 이상의 영역에서 보편적으로 관찰된다[3].

비음은 안면 두개골 구조에 있는 여러 개의 부비동과 비공의 조합 때문에 제1 포먼트 혹은 F1의 에너지가 낮은 주파수대에서 형성되며[6], 스펙트로그램상 약 200~300 Hz 주파수대역에서 강한 에너지가 나타난다[5][6]. 또한 비음의 앞뒤에 오는 모음에도 영향을 주어 모음 제1 포먼트의 에너지를 약화시키고, 800 Hz 아래에서 포먼트의 간격이 좁아지는 형태를 보여준다[4][5][6].

비음의 또 다른 음향적 특성은 포먼트 대역폭(bandwidth)이 넓은 것이다[7]. 성

대 진동에 의해 생성된 음원은 구강과 비강에 걸쳐 형성된 성도를 통과하면서 감소된다. 이는 성도의 면적이 넓어지면서 공명강의 면적과 체적이 커지고 비강이 복잡한 구조로 되어 있기 때문이다. 또 다른 특성은 스펙트럼 상에서 인접 분절음과의 경계부분에 불연속적인 전이가 있고, 각 포먼트 사이의 거리가 감소한다는 것이다[6][7].

본 연구에서는, 이러한 비음의 음향적 특성을 주파수 영역에서 쉽게 찾아낼 수 있는 새로운 음향 매개변수를 제안하고자 한다. 각 비음에 따라 포먼트와 반포먼트의 분포가 다르다는 사실은 각 비음의 스펙트럼 에너지 분포가 상이함을 의미한다. 즉, 주파수 영역에서 포먼트와 반포먼트의 주파수, 그 주파수에서의 에너지, 그리고 스펙트럼에서의 에너지 분포를 확인할 수 있는 기울기 등이 각 비음을 구별할 수 있는 매개변수로 활용될 수 있음을 말해주는 단서이다. 이 연구에서 제안하는 새로운 매개변수들은 장구간 평균 스펙트럼(LTAS; Long Term Average Spectrum) 값을 다양하게 이용하여 만들어질 것이다. LTAS는 특정주파수 구간의 평균 파워 값으로 정의될 수 있는데, 특정 주파수 영역의 파워 스펙트럼 밀도(power spectral density)를 dB/Hz의 값으로 나타낸다. 여기서 파워 스펙트럼 밀도는 특정 시간 범위나 특정 주파수 범위의 평균 파워 값 즉 에너지 값으로 정의된다.

구체적인 연구 내용은, 제안한 음향 매개변수들을 이용하여 한국어 비음 /o, ɔ, o/을 음절 초성과 음절 종성 환경에서 구분해보는 것이다. 비음의 주요 음향 특성은 음성학적으로 이미 밝혀져 있는 사실이지만 주파수 영역에서 이러한 특징을 기계적으로 찾아내는 작업이 그리 쉽지 않은 관계로, 본 연구의 성과물은 음성 인식이나 과비음성(hypernasality) 측정과 같은 기계적 분류작업에 활용될 수 있는 새로운 개념의 음향 매개변수 세트가 될 수 있을 것이다.

각 분절음의 주파수 영역에서의 특징적 에너지 분포를 음성인식을 위한 자질 집합으로 제안하여 음성 인식율의 향상을 꾀한 연구로 Bitar & Espy-Wilson(1996)과 Espy-Wilson(1994)을 들 수 있다[13, 14]. 기존의 MFCC 기반 자질에 음향음성학적 지식을 활용한 새로운 음향 매개변수를 가미하여 음성 인식율 향상에 도전한 연구이다. 본 연구 지향점의 상당 부분을 이 선행 연구에서 찾아볼 수 있다. [13]에서 제안한 음향 매개변수가 성절음(syllabic), 비성절음(non-syllabic), 마찰음, 파열음, 파찰음, 향음(sonorant) 등 큰 집단을 부류화하기 위한 거시적 성격을 띤 것임에 비해 본 연구는 비음에 관련된 미시적인 매개변수를 찾는 과정이라 할 수 있다.

비음의 주파수 영역에서의 특징을 활용한 연구 중 Chen(1997)이 주목할 만하다 [15]. [비음+모음+비음] 환경에서 모음의 비음화 정도를 측정할 수 있는 매개변수로 모음의 FFT 스펙트럼에서 측정할 수 있는 [A1-P0]와 [A1-P1]을 제안하였다. A1은 모음의 제 1 포먼트 값이며, P0는 약 200~450 Hz 부근에 나타나는 비음 정점의 에너지 값이고, P1은 약 1 kHz 부근에 나타나는 비음 정점의 에너지 값이다.

비음화가 많이 일어나면 P0와 P1의 값이 상승하고 A1 값은 떨어지게 되어 [A1-P0]와 [A1-P1]의 값이 낮게 된다. 이숙향 외(2000)와 이동혁, 이숙향(2004)는 이 변수를 한국어에 적용해본 것이다[16, 17]. 이 매개변수는 비음의 음향 이론을 충실하게 반영하여 모음의 비음화된 정도를 측정할 수 있다는 장점은 있으나, 비음 자체를 구분할 수 있는 가능성은 아직 타진되지 않았다. 비음화된 모음을 분석대상으로 하여 스펙트럼 저주파 부분 좁은 영역의 두 군데 에너지 값(모음과 비음 정점)을 측정하는 까닭에, 모음과 비음 각각의 에너지 정점을 구분하여 찾아내기가 어렵다는 단점도 있다. 그리고 기계화 작업의 가능성은 아직까지 검토된 바가 없다.

2. 연구방법

2.1 실험자료

실험에 사용된 음성 자료는 원광대학교에서 제작한 K-Kwon PBS (Phonetically Balanced Sentences) 데이터에서 골랐다. 데이터베이스의 세부사항은 다음과 같다. 음성은 방음부스에서 Sennheizer HMD 224X 마이크를 사용하여 녹음하였으며, 발생된 데이터는 디지털 오디오 테이프에 저장하였다. 디지털 변환은 Sun Workstation Sparc 20 환경에서 16 kHz로 샘플링하고 16 Bit로 양자화하였으며, DAT- Link+를 사용하여 입력하였다. 피험자의 구성은 남자 9명, 여자 11명이며, 연령별로는 40대가 4명, 20대가 16명이다. 출신지역은 서울과 경기, 인천, 충남, 경남, 경북, 제주 등으로 다양하며 현 거주 지역은 전북, 대전, 충남 지역이다. 직업은 학생과 교수이다.

2.2 데이터 추출 및 음향 매개변수 설정

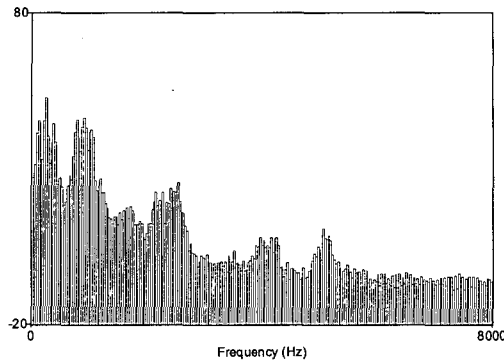
실험 토큰은 각 화자별로 동일한 문장의 동일한 단어에서 비음부분이 선명히 구분되는 구간을 선택하였고(대략 30~60 ms), 음절 초성과 음절 종성, 남녀로 구분하여 개별 음성파일로 저장하였다. 실험에 사용된 총 분절음은 /ㄴ/(초성) 101개, /ㄴ/(종성) 100개, /ㅇ/(초성) 100개, /ㅇ/(종성) 99개, /ㅇ/(종성) 100개이다. 음절 초성 비음은 어절 내 NV\$의 환경에서, 음절 종성 비음은(\$)(C)VN(\$의 환경에서 선택하였다(N: 비음, \$: 음절경계). 종성 비음의 경우, 동일 낱말 내 후행 초성 자음이 종성 비음과 같은 조음자리 환경을 공유하는 자료로 제한하였다. <표 1>은 데이터를 추출한 문장과 어절 목록이다.

<표 1> 초성과 종성별 비음을 선택한 문장 및 어절

비 음	문 장 예 시
초성_ [ㄱ]	G004 낙동역과 한림정역을 거쳐 목적지인 진영에 도착될 때까지 허정우의 마음은 들떠 있었다.
초성_ [ㄴ]	G016 설 새 없는 질문 끝에 마침내 내가 일부러 맨 마지막으로 빼 놓았던 질문이 튀어 나왔다.
종성_ [ㄱ]	G006 칠판지가 흥겨워 뿔 때에는 한쪽 다리에 힘을 주어 두 박자의 트롯이 된다
종성_ [ㄴ]	G007 요원들이 체포되고 특히 당내 투쟁에 의해서 대중과 유리되어 조직은 매우 약화되었던 것이다
종성_ [ㅇ]	G012 이상이 전력 계통이나 동력 계통이 아니라 전자뇌와 위상 동기 장치에 있음은 확실했다.

각 분절음의 음향 매개변수 값은 음성분석 프로그램 Praat 4.4.10의 소스 코드를 응용하여 C++로 필요한 내용을 프로그램하여 구하였다. LTAS 추출 주파수 영역은 필요에 의해 가감되었는데, 주로 0~8,000 Hz로 설정하였다. 주파수 분석 단위(bin)는 주파수 영역(8,000 Hz)을 256으로 나누어 설정하였다. 결과적으로 주파수 분석 단위의 대역폭은 31.25 Hz이다. <그림 1>은 초성 /ㄴ/의 LTAS를 막대 도표로 그린 것이다.

비음 구분을 위하여 설정한 세부 매개변수는 총 14개이다(표 2). 이렇게 많은 변수를 설정한 것은 시행착오(trial and error)의 과정 끝에 통계적으로 의미 있는 변수를 가려내기 위함이었다. 구체적 매개변수는 LTAS 결과를 이용하여, 저주파 대역과 고주파 대역에서의 에너지 최대치와 그에 해당하는 주파수, 스펙트럼의 기울기, 100~5,000 Hz사이의 최소 에너지와 해당 주파수, 광대와 협대의 대역별 에너지 총량, 스펙트럼 무게중심, 왜도, 첨도이다. 상당수의 변수가 스펙트럼의 에너지 값을 이용하기 때문에 피험자 간 차이를 없애기 위해 에너지의 정규화 방법을 적용하였다.



<그림 1> 초성 [ㄴ]의 LTAS/ bin bandwidth 31.25 Hz(8000/256)

표 2의 [특정대역 스펙트럼 주파수 & 에너지 최대값]은 저주파수와 고주파수 대역에서의 최대 포먼트 주파수와 그 에너지 값을 의미한다. 저주파수 대역으로 0~4,000 Hz를 선택한 것은 높은 에너지 값으로 실현되는 초기 1~4 포먼트까지의 봉우리가 이 주파수 대역에 몰려있기 때문이다. 즉 높은 에너지로 실현되는 초기 포먼트 값 중 가장 높은 값이 매개변수의 핵심 내용이 된다. 반면 나이퀴스트 주파수의 한계값을 포함한 8,000 Hz까지의 영역은 전반적으로 낮은 에너지로 실현되지만 후 관찰할 만한 포먼트가 있다면 그 에너지 값과 주파수 정보를 매개 변수화할 수 있을 것이라 생각하여 설정해 본 것이다.

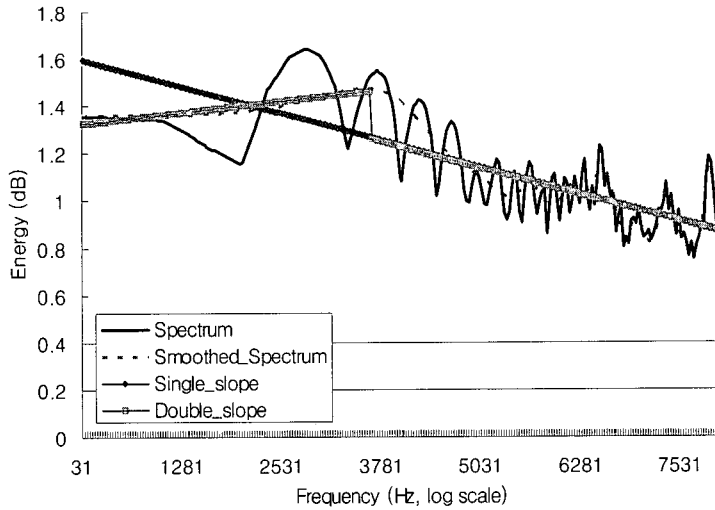
<표 2> LTAS를 이용한 세부 음향 매개변수 목록 및 설명

대분류	소분류	설명
특정대역, 스펙트럼 주파수 & 에너지 최대값	peak1_f	0~4,000 Hz, 최대 에너지를 보이는 주파수 값
	peak1_a	0~4,000 Hz, 에너지 최대값
	peak2_f	4,000~8,000 Hz, 최대 에너지를 보이는 주파수 값
	peak2_a	4,000~8,000 Hz, 에너지 최대값
특정 대역 에너지 총량	lowENG	0~4,000 Hz, 에너지 총량
	highENG	4,000~8,000 Hz, 에너지 총량
	zeroENG	1,500~2,200 Hz, 에너지 총량
100~6,000 Hz 사이 에너지 최대값(index) 중심	slope_1	0 Hz~최대값(index) 사이 기울기
	slope_2	최대값(index)~6,000 Hz 사이 기울기
100~5,000 Hz 대역 최소값	zero_f	100~5,000Hz, 최소 에너지를 보이는 주파수 값
	zero_a	100~5,000Hz, 에너지 최소값
에너지의 통계적 분포	centroid	에너지 무게중심
	skewness	무게중심으로부터 좌/우 편향 왜도
	kurtosis	스펙트럼의 첨도

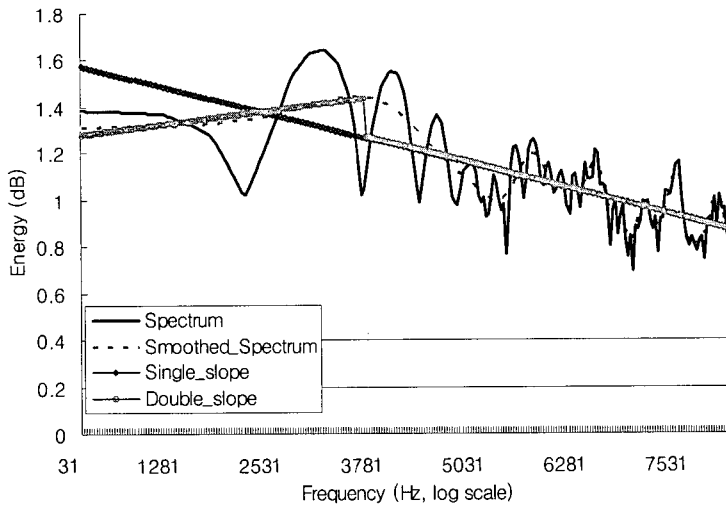
특정대역의 에너지 총량 범주는, 각 비음의 반포먼트 대역이 서로 차이 나는 데서 착안하여 각 비음의 반포먼트 특징 영역을 좀 넓게 잡아본 것이다. /ㅁ/에 대해 0~4,000 Hz, /ㅇ/을 고려하여 4,000~8,000 Hz의 대역에서 에너지 총량을 구하고(각각 lowENG, highENG), /ㄴ/을 고려하여 1,500~2,200 Hz라는 좁은 영역도 설정해 보았다(zeroENG). 100~5,000 Hz사이의 최소 에너지와 해당 주파수를 측정 한 까닭은 이 대역에서 모든 비음의 반포먼트가 관찰되기 때문이다.

스펙트럼의 기울기는 100~6,000 Hz 사이에서 관찰되는 최대 에너지 값을 지표(index)로 삼아 [0 Hz→index Hz], [index Hz→8,000 Hz]의 가로축에 나타나 있는 주파수 값을 로그 척도로 변환한 다음 스펙트럼 에너지 변화 추이(주파수 대비 에너지 변화 추이)를 선형추정방정식으로 측정하였다. 이때 에너지 최대값은 LTAS를 역 이산 푸리에 변환(inverse discrete Fourier transform)하여 캡스트럼 계수를 추출한 후 이 캡스트럼 계수들의 초기 차수만을 이산 푸리에 변환하여 구한 스무딩된 스펙트럼의 에너지 최대값을 의미한다. 캡스트럼 영역에서 초기 차수는 성도 필터 특성을 대표하므로, 이러한 스무딩 절차는 음원의 특성을 상당 부분 제거하게 되므로, 여기서의 기울기는 음원의 특성보다 성도필터의 특성을 대표하는 가치를 지니게 된다.

통상적인 의미에서의 스펙트럼 기울기(tilt)는 음원특성의 포착에 사용되는 매개변수인 까닭에 주파수 전 범위에 걸쳐서 표현되는 하나의 선형추정식을 찾아내는 작업이 음성학적으로 더 가치 있다고 할 수 있으며 이 경우 인버스 필터링을 거쳐 성도의 특성을 제거한 후 그 값을 구하는 과정을 거친다. 그러나, 본 연구의 목적은 비음들의 구분 작업에 그 가치를 두고 있으므로, 비음 포먼트와 반포먼트의 구조를 담고 있는 성도 필터의 특성을 기울기 표현의 대상으로 삼았다. 스무딩된 스펙트럼 에너지의 최고점을 중심으로 좌/우 영역의 기울기로 세분한 이유는 좌측의 기울기는 양의 값인 상승 기울기로, 우측의 기울기는 음의 값인 하강 기울기로 나타나는 까닭에 좀 더 섬세하고 강력한 매개변수의 위상을 기대하였기 때문이다. <그림 2>와 <그림 3>은 각각 초성 [ㄴ]과 초성 [ㅇ]에 대한 기울기 표현이다. 원 스펙트럼 (로그) 에너지를 스무딩 한 뒤(그림의 점선) 이를 단일 기울기(single slope: 0~8,000 Hz)와 지표(index)를 중심으로 한 두 가지 기울기(double slope: slope_1, slope_2)로 나타낸 것이다.



<그림 2> 초성 [ɔ]의 단일 기울기, 지표 중심 좌/우 양측 기울기



<그림 3> 초성 [ɔ]의 단일 기울기, 지표 중심 좌/우 양측 기울기

지표 에너지 값 측정 구간을 100~6,000 Hz로 한정하는 것은, 비음 포먼트가 100 Hz 이상에 분포하는 까닭도 있지만, 최대 에너지 값을 스펙트럼의 가장 안정적 구간에서 구하고자 한 때문이었다. 지표를 설정한 까닭은 스펙트럼의 기울기가 0 Hz에서 저주파 대역의 최대 에너지 값으로 상승추이를 보이다가 이후는 급격히 하강 추이를 보이므로 이 두 가지 특징을 구분하기 위해서였다. 변수에서 slope_1은 상승 기울기 값을 보이며, slope_2는 하강 기울기 값을 보여준다. 이 두 값에 대한 대응표본 t-검정의 결과 초성과 종성의 모든 비음 데이터에 대해 통계적으로 유의

미한 차이를 얻었다($p < 0.001$).

자음의 음소별 특징을 나타내는 또 다른 특징으로 스펙트럼의 무게중심(centroid)을 사용하였다. 스펙트럼의 무게중심은 전체 주파수 대역에서 에너지 스펙트럼 분포상의 무게중심에 해당하는 주파수를 의미한다. 스펙트럼의 왜도(skewness)는 스펙트럼의 무게중심으로부터 좌우로 편향된 정도, 즉, 비대칭성을 나타내는 척도이다. 스펙트럼의 첨도(kurtosis)는 스펙트럼의 뾰족 정도를 나타내는 척도이다. 분포와 관련된 무게중심과 왜도는 장애음의 스펙트럼 특성을 살펴보기 위하여 이미 시도된 바 있다[10, 11]

환경적 변수를 최소화하여 초성 비음과 종성 비음으로 나누어 먼저 남녀의 차이를 보여주는 음향 매개변수를 살펴보고, 이어서 남성과 여성 각각의 그룹으로 나누어 어떠한 음향 매개변수가 각 비음을 구별시킬 수 있는지 살펴보았다. 통계는 SPSS 12.0을 이용하였고 $p < 0.05$ 수준에서 독립 t-검정과, Tukey 사후검정이 따르는 일원분산분석(1 way-ANOVA)을 실시하였다.

LTAS를 구하는 전 과정은 다음과 같다. 먼저 입력된 음성신호에 대해 매 10 msec 마다 20 msec 길이의 해밍창을 취하여 음성 프레임(프레임의 길이는 20 msec로서 320 개의 음성샘플들로 구성)들을 추출한다. 각 음성 프레임마다 512 포인트 DFT를 취한 후 단 구간(short term) 로그 진폭 스펙트럼을 다음 식 (1)과 같이 구한다.

$$\log|X_m(k)| = \log|DFT[x(n + mN_{SHIFT})]|, 0 \leq k \leq N_{DFT}/2, 0 \leq m \leq N_{frame} - 1 \quad (1)$$

여기서 m 은 프레임의 인덱스를 나타내고 N_{SHIFT} 는 프레임 분석 구간 사이의 거리를 나타내는데 본 연구에서는 10 msec에 해당되는 160 개의 음성 샘플들로 정하였다. N_{DFT} 는 DFT의 포인트 수로서 512이다. k 는 로그 진폭 스펙트럼에서 주파수 bin의 인덱스를 나타내는데 여기서는 512 포인트 DFT를 적용하였으므로 0에서 256 사이의 정수값이다. 이에 해당되는 실제 주파수값은 $[k \times 31.25 (= 8000/256) \text{ Hz}]$ 가 된다.

다음 순서로, 모음의 한 음소 구간에서 구해진 프레임 단위 단 구간 로그 진폭 스펙트럼들의 평균치인 장 구간 평균 진폭 스펙트럼(LTAS)을 구한다(식 2).

$$\log|X_{LTAS}(k)| = \frac{1}{N_{LTAS}} \sum_{m=0}^{N_{LTAS}-1} \log|X_m(k)| \quad (2)$$

여기서, N_{LTAS} 는 분석 중인 대상 분절음의 모든 음성 프레임들의 수를 나타낸다.

음향 매개변수 중 스펙트럼의 기울기는 100 ~ 6,000 Hz 사이 주파수 대역에서

진폭 최대값을 선정하고, 이를 중심으로 좌우 주파수 대역에서의 스펙트럼 기울기를 선형추정(linear estimation) 하였을 때 최소자승오차(minimum square error)를 나타내는 값으로 정하였다(각각 slope1, slope2). 이 과정을 상술하면 다음과 같다. 먼저, LTAS 방법으로 구한 로그 스펙트럼을 정규화하여 발성의 강도에 따른 스펙트럼 기울기의 변이를 제거하였다(식 3).

$$\log|\bar{X}_{LTAS}(k)| = \frac{\log|\tilde{X}_{LTAS}(k)|}{\sum_{q=0}^{N_{DFT}/2} \log|\tilde{X}_{LTAS}(q)|} \quad (3)$$

여기서, $\bar{X}_{LTAS}(k)$ 는 진폭 주파수 반응으로 정규화된 스펙트럼을 말하며, $\tilde{X}_{LTAS}(k)$ 는 LTAS를 역 이산 푸리에 변환(inverse discrete Fourier transform)하여 캡스트럼 계수를 추출한 후 이 캡스트럼 계수들의 초기 차수만을 이산 푸리에 변환하여 구한 스무딩된 스펙트럼을 나타낸다. 캡스트럼 영역에서 초기 차수는 성도 필터 특성을 대표하므로, 이러한 스무딩 절차는 음원의 특성을 상당 부분 제거하는 효과를 낳게 된다. 식(3)의 분모는 장 구간 로그 스펙트럼 영역에서 분석 프레임의 전체 에너지를 더한 것이다. 즉 식 (3)이 가리키는 바는 장 구간 로그 스펙트럼 영역에서 분석 프레임의 전체 에너지를 각 주파수 성분의 로그 에너지로 나누어줌으로써 정규화된 에너지값을 구했다는 것이다. q는 k와 마찬가지로 이산 푸리에 변환에서 주파수 성분의 인덱스이다. k와 다른 자리에 있으므로 혼동을 피하기 위하여 사용한 것이다.

다음 과정으로, LTAS 기반 정규화된 로그 스펙트럼의 최대치를 나타내는 주파수 인덱스와 이 값을 기준으로 정해지는 상하 주파수 대역을 다음과 같이 구한다(식 4).

$$\begin{aligned} k_{\max} &= \arg \max_k \log|\bar{X}_{LTAS}(k)|, \quad 0 \leq k \leq N_{slp_high}, \\ N_{slp_low} &= k_{\max}, \\ N_{slp_high} &= \frac{6000 \times N_{DFT}}{16000} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 k_{\max} 는 LTAS 기반 정규화된 로그 스펙트럼의 최대치를 나타내는 주파수 인덱스를 말하며 이 경우에 분석 주파수 대역에서 하측 차단 주파수 인덱스인 N_{slp_low} 로 정해진다. N_{slp_high} 는 16,000 Hz로 샘플링된 음성신호를 NDFT 포인트

로 DFT를 하였을 경우에 6,000 Hz에 해당하는 주파수 인덱스를 의미한다.

구해진 주파수 최대값 성분을 중심으로, 상하 주파수 대역에서 각각의 스펙트럼 기울기를 선형추정방식으로 구했으며 주파수 축은 로그 스케일로 변환하여 나타내었다. 이를 위해서 먼저 정규화된 로그 스펙트럼과 선형 추정치 사이의 오차를 다음 식 (5)와 같이 정의한다.

$$e_{low}(k) = \log|\bar{X}_{LTAS}(k)| - (a_{low} \times \log(\Delta f \times k) + b_{low}) \quad (5)$$

여기서 Δf 는 DFT에서의 인접 주파수 성분들 간의 주파수 차이를 나타내는 주파수 해상도이다. 또한, a_{low} 와 b_{low} 는 최대 주파수 성분을 중심으로 저주파 대역에서 로그 스펙트럼을 선형추정하였을 때의 기울기와 y-절편(y-intercept)을 각각 나타낸다. 이 오차의 제곱을 저주파 대역($0 \sim N_{slp_low}$ 에 해당하는 주파수)에 걸쳐서 구하고 이들의 평균값을 구하면 다음 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[e_{low}(k)^2] = \frac{1}{N_{slp_low}} \sum_{k=0}^{N_{slp_low}} \left[\log|\bar{X}_{LTAS}(k)| - (a_{low} \times \log(\Delta f \times k) + b_{low}) \right]^2 \quad (6)$$

이 평균자승오차를 최소화하는 기울기 a_{low} 는 미분식에 의해 식(7)로 표현된다.

$$a_{low} = \frac{\left(\sum_{k=0}^{N_{slp_low}} \log(\Delta f k) \log|\bar{X}_{LTAS}(k)| \right) - \left(\left(\frac{1}{N_{slp_low}+1} \right)^2 \sum_{k=0}^{N_{slp_low}} \log(\Delta f k) \sum_{k=0}^{N_{slp_low}} \log|\bar{X}_{LTAS}(k)| \right)}{\sum_{k=0}^{N_{slp_low}} \log(\Delta f k)^2 - \left(\frac{1}{N_{slp_low}+1} \sum_{k=0}^{N_{slp_low}} \log(\Delta f k) \right)^2} \quad (7)$$

동일한 방법으로 고주파 대역(N_{slp_low} 에 해당하는 주파수~6,000 Hz)에서의 기울기 a_{high} 는 다음 식(8)과 같이 유도된다.

$$a_{high} = \frac{\left(\sum_{k=N_{slp_low}+1}^{N_{slp_high}} \log(\Delta f k) \log |\bar{X}_{LTAS}(k)| \right) - \left(\left(\frac{1}{N_{slp_high} - N_{slp_low}} \right)^2 \sum_{k=N_{slp_low}+1}^{N_{slp_high}} \log(\Delta f k) \sum_{k=N_{slp_low}+1}^{N_{slp_high}} \log |\bar{X}_{LTAS}(k)| \right)}{\sum_{k=N_{slp_low}+1}^{N_{slp_high}} \log(\Delta f k)^2 - \left(\frac{1}{N_{slp_high} - N_{slp_low}} \sum_{k=N_{slp_low}+1}^{N_{slp_high}} \log(\Delta f k) \right)^2} \quad (8)$$

결과적으로, 본 연구에서 비음 스펙트럼의 기울기는, 캡스트럴 스무딩에 의해 음원특성이 어느 정도 제거되었으므로, 성도의 특성인 포먼트와 반포먼트의 위치 및 그 에너지 분포에 의해서 그 값이 정해진다고 추정할 수 있다.

3. 실험결과

3.1 남녀 간 차이

남녀 간에는 성대의 모양, 성도의 길이와 용적 등 해부학적 차이가 있으므로, 공기 중으로 산출된 비음의 음향학적 특징이 서로 차이 나는 것은 당연할 것이다. 서로간의 특징과 차이점이 본 연구에서 제안한 매개변수를 이용하여 구체적으로 드러낼 수 있으면 남녀 간의 차이뿐만 아니라 동일 비음의 공명 정도에 따른 차이점(예컨대 과다비음성) 등도 구분하여 기술 할 수 있는 가능성으로 연결될 수 있을 것이다. t-검정을 통하여 통계적으로 유의미한 차이가 나는 매개변수를 정리 하면 다음과 같다(표 3).

<표 3> 각 비음별 남성과 여성의 비교에서 통계적으로 유의미한 차이를 보여준 음향매개변수

비음	유의미한 음향 매개변수
초성 /ㄱ/	peak1_f, peak1_a, zero_f, zero_a, slope_1, slope_2, highENG, lowENG, centroid, skewness
초성 /ㄴ/	peak1_a, peak2_a, zero_f, zero_a, slope_1, slope_2, highENG, lowENG, centroid, skewness
중성 /ㄱ/	peak1_a, peak2_a, zero_f, slope_1, slope_2, lowENG, highENG, zeroENG, centroid, skewness, kurtosis
중성 /ㄴ/	peak1_a, peak2_a, zero_f, slope_1, slope_2, highENG, lowENG, centroid, skewness
중성 /ㅇ/	peak1_a, peak2_f, peak2_a, zero_f, slope_1, slope_2, lowENG, highENG, zeroENG, centroid, skewness

초성과 종성 비음을 각각 비교했을 때 전 비음에 걸쳐 남녀 간 차이를 가장 잘 드러내는 공통 매개변수는 peak1_a, zero_f, slope_1, slope_2, highENG, lowENG, centroid로 정리할 수 있다.

3.2 남성 비음

남성의 경우, 초성 /ㄱ/과 /ㄴ/을 구분해 줄 수 있는 매개변수는 관찰되지 않았다. 종성은 peak1_a, peak2_f, zeroENG가 통계적으로 유의미한 음향 매개변수의 역할을 하였다(표 4). 즉 비음 구분자로서의 역할을 수행할 수 있다는 것이다. 종성의 경우, 사후검정으로 Tukey HSD를 실시한 결과, peak1_a는 /ㅇ/과 /ㄱ/(p=0.044), /ㅇ/과 /ㄴ/(p=0.05) 사이를 구분할 수 있었고, peak2_f는, /ㄴ/과 /ㅇ/ 사이를 (p=0.016), 마지막으로 zeroENG는 /ㄴ/과 /ㄱ/ 사이(p=0.014)를 구별하는 것으로 나타났다. 즉, 통계적으로 유의미하게 나타난 현재의 음향 매개변수들을 조합하면 초성 /ㄱ/, /ㄴ/의 구별은 현재의 매개 변수로는 어렵고, 종성 /ㄱ/, /ㄴ/, /ㅇ/은 구분할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다. <표 5>는 남성 종성 비음 /ㄱ/, /ㄴ/, /ㅇ/을 구분해줄 수 있는 peak1_a, peak2_f, 그리고 zeroENG 매개변수의 기술통계 결과를 보여주고 있다.

<표 4> 남성 종성 /ㄱ/, /ㄴ/, /ㅇ/을 구분할 수 있는 음향 매개변수

비음 구분	통계적으로 유의미한 음향 매개변수
종성 /ㄱ/, /ㄴ/, /ㅇ/	peak1_a: F(2, 132)=3.857, p<0.03 peak2_f: F(2, 132)=4.182, p<0.02 zeroENG: F(2, 132)=4.458, p<0.02

<표 5> 남성 종성 비음 /ㄱ/, /ㄴ/, /ㅇ/을 구분해주는 peak1_a, peak2_f, zeroENG 매개변수 기술통계(*: 상호 통계적 구분)

매개변수	비음	N	평균	표준편차	표준오차
peak1_a	/ㄱ/*	44	1.2635	0.0350	0.00528
	/ㄴ/*	45	1.2630	0.0314	0.00467
	/ㅇ/*	46	1.2472	0.0292	0.004307
peak2_f	/ㄱ/	44	5128.55	1328.04	4724.78
	/ㄴ/*	45	5667.70	1346.10	5263.29
	/ㅇ/*	46	4920.52	1126.18	4586.08
zeroENG	/ㄱ/*	44	0.0934	0.0025	0.00038
	/ㄴ/*	45	0.0919	0.0269	0.00040
	/ㅇ/	46	0.0930	0.0019	0.00028

3.3 여성 비음

여성의 경우, 초성 /ㄱ/과 /ㄴ/은 slope_2가 구분자 역할을 수행하는 것으로 나타났다. 종성은 peak1_a에서만 통계적으로 유의미한 결과를 얻었다. 종성의 경우, 사후검정으로 Tukey HSD를 실시한 결과, peak1_a의 경우, /ㅇ/과 /ㄴ/(p=0.005) 사이에서만 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다. 여성의 경우는 현재의 음향 매개변수로 초성 /ㄱ/과 /ㄴ/, 그리고 종성 /ㄴ/과 /ㅇ/만 구분할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다. <표 6>은 여성 초성 비음 /ㄱ/과 /ㄴ/을 구분해 줄 수 있는 slope_2의 음향 매개변수의 통계 결과를 나타낸 것이고, <표 7>은 여성 종성 비음 /ㄴ/과 /ㅇ/을 구분해줄 수 있는 peak1_a 매개변수의 통계 결과를 나타낸 것이다.

<표 6> 여성 초성 /ㄱ/, /ㄴ/과 종성 /ㄱ/, /ㄴ/, /ㅇ/을 구분할 수 있는 음향 매개변수

비음 구분	유의미한 음향 매개변수
초성 /ㄱ/, /ㄴ/	slope_2: t(106)=-2.781, p<0.01
종성 /ㄱ/, /ㄴ/, /ㅇ/	peak1_a: F(2, 161)=5.023, p<0.01

<표 7> 여성 초성 비음 /ㄱ/, /ㄴ/을 구분해주는 slope_2 매개변수와 종성 비음 /ㄱ/, /ㄴ/, /ㅇ/을 구분해주는 peak1_a 매개변수 기술통계(*: 상호 통계적 구분)

매개변수	비음	N	평균	표준편차	표준오차
slope_2	/ㄱ/	55	- 0.411	0.086	0.011
	/ㄴ/	53	- 0.366	0.078	0.011
peak1_a	/ㄱ/	55	1.2947	0.2949	0.0039
	/ㄴ/*	55	1.3020	0.2904	0.0039
	/ㅇ/*	54	1.2847	0.2725	0.0022

3.4 한국어 비음(양성)

마지막으로 성별 구분 없이 전체 데이터를 대상으로 같은 분석을 시행해보았다. 초성은 zeroENG가, 종성은 peak1_a, peak2_f, peak2_a, zeroENG가 통계적으로 유의미한 음향 매개변수로 조사되었다(표 8). 종성의 경우, 사후검정으로 Tukey HSD를 실시한 결과, peak1_a는 /ㅇ/과 /ㄱ/(p=0.02), /ㅇ/과 /ㄴ/(p=0.002) 사이에 통계적으로 유의미한 차이가 있었고, peak2_f는, /ㄴ/과 /ㅇ/ 사이(p=0.039)에서 통계적으로 유의미한 차이가 있었다. peak2_a는 /ㄱ/과 /ㄴ/ 사이(p=0.034)가 통계적으로 유의미하게 구분되었고, 마지막으로 zeroENG 역시 /ㄴ/과 /ㄱ/ 사이(p=0.003)를 구별하는 것으로 나타났다. 즉, 현재의 유의미한 음향 매개변수들을 조합하면 남녀

를 총괄한 데이터에 대해서 초성 /ㄱ, ㄴ/, 그리고 종성 /ㄱ, ㄴ, ㅇ/ 모두를 구분할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다. <표 9>는 성별 구분 없이 데이터 전체를 대상으로 초성 비음 /ㄱ/과 /ㄴ/을 구분해 줄 수 있는 zeroENG 매개변수의 통계 결과를, <표 10>은 성별 구분 없이 종성 비음 /ㄱ/, /ㄴ/, 그리고 /ㅇ/을 구분해 줄 수 있는 peak1_a, peak2_f, peak2_a, 그리고 zeroENG 매개변수의 통계 결과를 보여주고 있다.

<표 8> 양성 초성 /ㄱ, ㄴ/과 종성 /ㄱ, ㄴ, ㅇ/을 구분할 수 있는 음향 매개변수

비음 구분	유의미한 음향 매개변수
초성 /ㄱ, ㄴ/	zeroENG: $t(199)=2.864, p<0.01$
종성 /ㄱ, ㄴ, ㅇ/	peak1_a: $F(2,296)=6.658, p<0.01$ peak2_f: $F(2,296)=3.812, p<0.05$ peak2_a: $F(2,296)=3.227, p<0.05$ zeroENG: $F(2,296)=5.897, p<0.01$

<표 9> 양성 초성 비음 /ㄱ, ㄴ/을 구분해주는 zeroENG 매개변수 기술통계

매개변수	비음	N	평균	표준편차	표준오차
zeroENG	/ㄱ/	100	0.0933	0.0021	0.00021
	/ㄴ/	101	0.0924	0.0024	0.00024

<표 10> 양성 종성 비음 /ㄱ, ㄴ, ㅇ/을 구분해주는 peak1_a, peak2_f, peak2_a, 그리고 zeroENG 매개변수 기술통계(*: 상호 통계적 구분)

매개변수	비음	N	평균	표준편차	표준오차
peak1_a	/ㄱ/*	99	1.2808	0.0355	0.0035
	/ㄴ/*	100	1.2845	0.0357	0.0035
	/ㅇ/*	100	1.2674	0.0337	0.0033
peak2_f	/ㄱ/	99	5171.24	1183.53	118.94
	/ㄴ/*	100	5565.62	1263.41	126.34
	/ㅇ/*	100	5148.43	1151.75	115.17
peak2_a	/ㄱ/*	99	1.0686	0.0354	0.0035
	/ㄴ/*	100	1.0571	0.0314	0.0031
	/ㅇ/	100	1.0612	0.0299	0.0029
zeroENG	/ㄱ/*	99	0.0925	0.0022	0.000228
	[ㄴ]*	100	0.0914	0.0023	0.000231
	[ㅇ]	100	0.0922	0.0022	0.000133

3.5 결과토의

남녀 간 차이를 보여주는 매개변수는 0~4,000 Hz 저주파 영역 최대 에너지 값과 반포먼트 주파수 값, 그 외에 기울기 특성과 저주파 및 고주파 영역 에너지 총량, 무게중심값 등이다. 이 중 제 1 포먼트의 에너지 값과 영의 주파수 값, 그리고 기울기변수는 각 비음의 포먼트, 반포먼트와 관련된 에너지 분포를 잘 드러내주는 특성을 지녔다고 할 수 있다. 같은 비음을 대상으로 남녀 간을 구분할 수 있는 변수이므로, ‘비음성’의 평가척도인 과다비음, 과소비음, 정상비음을 이들 변수들을 이용하여 구분할 수 있는 가능성도 엿볼 수 있다.

남성의 경우는 초성 /ㄱ/과 /ㄴ/을 구분할 수 있는 변수가 없는 데 반해, 여성의 경우는 저주파 영역 최대 에너지 값(index)에서 8,000 Hz 에너지 값 사이 기울기 값(slope_2)으로 구분이 가능하였다. 여성은 초성 /ㄱ/이 /ㄴ/보다 slope_2의 기울기 하강 경사가 급하게 나타난 반면, 남성은 통계적으로 차이가 나타나지 않았다. 이는 조음의 명확성과 관련되어 있을 수도 있고, 해부학적 특징에 기인한 차이일 수도 있을 것이다. 14개나 되는 매개변수 중 어느 것을 이용하여도 남성의 초성 비음을 가리지 못했다는 것은 남성 초성 /ㄱ/과 /ㄴ/이 그만큼 구분이 어려운 음향적 특징을 가지고 있다는 말이 될 것이다. 향후 연구에서 다른 변수를 개발할 필요성을 느끼게 하는 부분이다.

전체 데이터를 대상으로 한 실험에서는 초성 비음을 가릴 수 있는 변수로 저주파 특정 영역(1,500~2,200 Hz)의 에너지 총량(zeroENG)이 가치 있는 것으로 판명되었다. 이 영역은 /ㄴ/의 반포먼트 출현 영역으로 추정할 수 있는 부분이라, /ㄱ/과 /ㄴ/의 구분을 잘 할 수 있을 것으로 짐작할 수 있는 변수이다. 종성의 경우에는 각 비음을 구분하는 능력이 가장 뛰어난 것으로 저주파 영역의 최대 에너지 값으로 나타났다. 남성, 여성, 그리고 전체 데이터 모두 이 변수(peak1_a)가 종성 비음 구분자로 가치 있는 것으로 나타났기 때문이다. 그 다음으로 가치를 가지고 있는 변수는 남성 비음과 전체 데이터에서 통계적 유의미성을 보여주고 있는 zeroENG이다. 결국, 전체 데이터를 대상으로 한다면, 초성과 종성 모든 위치에서 ‘1,500~2,200 Hz 저주파 영역의 에너지 총량’이 가장 가치 있는 변수라고 말할 수 있다. 물론, zeroENG가 구별할 수 있는 대상은 초성과 종성 모두 /ㄱ/과 /ㄴ/에 국한되어 있는 것을 전제로 한 얘기이다.

4. 맺음말

지금까지 한국어 비음을 음향학적으로 구분할 수 있는 음향 매개변수를 LTAS(Long term average spectrum)에 기반하여 제안하고 통계적으로 검정하는 과정

을 기술하였다. 음절 초성과 종성 위치에서 각 비음들은 제안된 음향 매개변수 중 몇몇 변수들에 의해 통계적으로 유의미한 차이를 보여주었다.

이 연구를 통하여 제안된 매개 변수들은 음성인식에 사용되고 있는 MFCC 기반 매개변수에 보조적으로 활용될 수 있을 것이다. 물론, 비음만을 대상으로 활용한 연구이니 그 가능성을 제안한 정도이겠지만, 예컨대 /ㅂ, ㅍ/과 같이 분절음 간의 음향적 특성이 비슷한 경우, 가능한 범위내에서 이 연구에서 제안한 매개 변수들을 적용해 볼 수 있을 것으로 판단된다. 또한 과다비음이나 과소비음과 같은 공명 장애음의 음향 특성을, 특별한 장비 없이도 기계적으로 구분할 수 있는 가능성의 단면을 보여주었다고 할 수 있다.

정상 비음과 장애 비음, 정상 모음과 비음화된 모음 등을 본 연구에서 제안한 매개 변수가 잘 구분해줄 수 있다면 이와 같은 소리들을 구분하는 음향 매개변수로서 사용할 수 있을 것이다. 또한 기술 언어학적 관점에서, 비음의 포먼트 주파수와 반포먼트 주파수를 LTAS 매개변수를 이용하여 정밀하게 관찰, 기술할 수 있는 가능성도 엿볼 수 있다. 후속 연구는 이와 관련해서 이어질 예정이다.

지금까지 본 연구에서 살펴본 내용은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) 남녀 간의 차이를 일관되게 보여주는 음향 매개변수는 peak1_a, zero_f, slope_1, slope_2, highENG, lowENG, centroid로 정리할 수 있다.
- 2) 남성의 경우, 초성 /ㄱ/과 /ㄴ/을 구분해주는 매개변수는 관찰되지 않았다. 종성 /ㄱ, ㄴ, ㅇ/의 구별에는 peak1_a, peak2_f, zeroENG가 통계적으로 유의미한 매개변수였다.
- 3) 여성의 경우, 초성 /ㄱ/과 /ㄴ/은 slope_2가, 종성 /ㄱ, ㄴ, ㅇ/은 peak1_a 매개변수가 통계적으로 유의미하였다.
- 4) 성별 구분 없이 비음 전체를 대상으로 할 경우 초성 /ㄱ/과 /ㄴ/은 zeroENG가, 종성 /ㄱ, ㄴ, ㅇ/은 peak1_a, peak2_f, peak2_a, zeroENG가 음향적 구분을 할 수 있는 매개변수로 나타났다.

참고문헌

- [1] P. Ladefoged, *A Course in Phonetics*, New York: Harcourt, 1975.
- [2] G. Fant, *Acoustic Theory of Speech Production*, The Hague: Mouton, 1960.
- [3] 성철재, “한국어 비음의 음향적 특성에 관한 실험음성학적 연구”, *말소리*, 31/32권, pp.

- 9-22, 1996.
- [4] K. Hayward, *Experimental Phonetics*, Pearson Education, 2000.
- [5] J. M. Pickett, *The Sounds of Speech Communication: A Primer of Acoustic Phonetics and Speech Perception*, Baltimore, University Park Press, 1985.
- [6] K. N. Stevens, *Acoustic Phonetics*, Massachusetts, The MIT Press, 1998.
- [7] O'shaughnessy, "A study of French spectral patterns for synthesis", *Journal of Phonetics*, Vol. 10. pp. 377-399, 1982.
- [8] P. Ladefoged, *Phonetic Data Analysis*, Blackwell, 2003.
- [9] K. Johnson, *Acoustic & Auditory Phonetics*, Blackwell, 2003.
- [10] K. G. Forrest et al. "Statistical analysis of word-Initial voiceless obstruents: preliminary data", *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 84, pp. 115-124, 1988.
- [11] 황현경, "한국어 치찰음의 마찰구간의 스펙트럼 특성", *대한음성학회 봄 학술대회 발표 논문집*, pp. 133-137, 2004.
- [12] 박한상, "동기관음의 스펙트럼 차이를 이용한 비강 특성 산출: 예비 연구", *말소리*, 제 53권, pp. 17-36, 2005.
- [13] N. N. Bitar, C. Y. Espy-Wilson, "Knowledge-Based parameters for HMM speech recognition", *Proceedings of ICASSP*, pp. 29-32, 1996.
- [14] C. Y. Espy-Wilson, "A feature-based approach to speech recognition", *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 96, pp. 65-72, 1994.
- [15] M. Y. Chen, "Acoustic correlates of English and French nasalized vowels", *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 102, pp. 2360-2370, 1997.
- [16] 이숙향, 이동근, 성현모, "비음성 측정의 음향적 척도", *한국 음향학회 음성통신 및 신호처리 학술대회 논문집*, 17권 1호, pp. 123-126, 2000.
- [17] 이동혁, 이숙향, "FFT 분석을 통한 영어 모국어 화자와 한국어 모국어 화자의 모음 비음화에 관한 연구", *대한 음성학회 가을 학술대회 발표논문집*, 대한음성학회, pp. 195-198, 2004.

접수일자: 2006년 11월 13일

게재결정: 2006년 12월 18일

▶ 최순애(Soonai Choi)

주소: 305-764 대전 유성구 궁동 220

소속: 충남대학교 대학원 언어병리학과

전화: 042) 821-6391

E-mail: common1@hanafos.com

▶ 성철재(Cheol-Jae Seong) : 교신저자

주소: 305-764 대전 유성구 궁동 220

소속: 충남대학교 인문대학 언어학과

전화: 042) 821-6395

E-mail: cjseong@cnu.ac.kr