

주파수 대역 제한에 의한 한국어 자음의 지각 특성 분석

Perceptual Characteristics of Korean Consonants Distorted by the Frequency Band Limitation

김 연 화¹⁾ · 최 대 립²⁾ · 이 숙 향³⁾ · 이 용 주⁴⁾

Kim, YeonWhoa · Choi, DaeLim · Lee, Sook-hyang · Lee, YongJu

ABSTRACT

This paper investigated the effects of frequency band limitation on perceptual characteristics of Korean consonants. Monosyllabic speech (144 syllables of CV type, 56 syllables of VC type, 8 syllables of V type) produced by two announcers were low- and high-pass filtered with cutoff frequencies ranging from 300 to 5000 Hz. Six listeners with normal hearing performed perception test by types of filter and cutoff frequencies. We reported phoneme recognition rates and types of perception error of band-limited Korean consonants to examine how frequency distortion in the process of speech transmission affect listener's perception. The results showed that recognition rates varied with the following factors: position in a syllable, manner of articulation, place of articulation, and phonation types. Consonants in the final position were stronger to the frequency band limitation than those in the initial position. Fricatives and Affricates are stronger than stops. Fortis consonants were less stronger than their lenis or aspirated counterparts. Types of perception error also varied depending on such factors as consonant's place of articulation: In case of bilabial stops, they were perceived as alveolar stops with while in cases of alveolar and velar stops, there were changes in phonation types without any change in the place of articulation.

Keywords: perception test, distortion, frequency band distortion, filtering, perception errors

1. 서론

공간이나 통신로 등을 통한 음성의 전달과정에는 최종적인 청취자의 지각에 영향을 미치는 다양한 왜곡이 있을 수 있다. 주파수 대역의 제한, 피크 클리핑, 다양한 소음의 혼입, 그리고 화두 또는 화미의 시간적인 절단 등이 그 예가 될 것이다. 이러한 여러 왜곡 조건하에서 음성의 전달 및 지각 특성의 영향에 대한 분석은 음성통신의 초창기부터 효율적인 음성신호의 전송 및 통화품질의 평가 등을 목적으로 영어를 대상으로 한 기초적인 분석이 오래전에 이루어졌다[1][2]. 이러한 영향

은 각 나라의 언어적인 특성에 따라 세부적인 양태가 달라질 수 있으므로 우리말을 대상으로 한 기본적인 자료의 확보는 효율적인 음성신호의 전송 설계 및 평가뿐만 아니라 각종 음성지각과정의 기초자료로서도 중요하다.

최근 청각장애 등의 연구를 목적으로 저역통과필터(LPF; Low Pass Filter)를 통과시켜 대역 제한한 우리말을 대상으로 주파수 요인이 음소 지각 능력에 어떤 영향을 주는지 연구한 사례[3]가 있으나, 본 연구에서는 보다 다양한 차단주파수의 변화에 따른 저역 및 고역 통과필터 (LPF & HPF)를 통과시킨 다수의 우리말 음성자료를 대상으로 모음에 대해 분석한 논문 에 이어 자음 항목을 분석한 결과를 보고한다.

1) 원광대학교, kimyw@wonkwang.ac.kr

2) 원광대학교, dlchoi@wku.ac.kr

3) 원광대학교, shlee@wku.ac.kr

4) 원광대학교, yjlee@wku.ac.kr, 교신저자

본 연구는 2013년 원광대학교 교비 지원으로 수행된 연구임.

접수일자: 2014년 2월 10일

수정일자: 2014년 3월 19일

게재결정: 2014년 3월 26일

2. 음성자료의 설계 및 실험 방법

본 실험에서는 표준어권 출신으로 오랜 기간 방송 아나운서로 근무 중인 남녀 각 1명(50대초)이 스튜디오에서 발성한 무의미 단음절 중 CV음절(18자음 x 8모음 = 144종)과 VC음절(8모음 x 7자음 = 56종)을 대상으로 다음과 같은 특성의 필

터를 통과시킨 음성자료를 지각 실험에 사용하였다.

- 주파수 필터의 특성 : 버터워스 8차 디지털 필터
 - LPF 차단주파수(Hz)
300, 500, 700, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 5000, ∞(원음)
 - HPF 차단주파수(Hz)
0(원음), 300, 500, 700, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 5000

지각실험에는 표준어권의 20대 피험자 6명(남성 3명, 여성 3명)이 대역 제한된 음절을 PC를 통해 헤드폰(DENON AH-D1001)으로 들으면서 소리 나는 대로 적기 방식을 취하였고, 필터에 의한 대역제한의 영향으로 음량이 작은 경우는 본인이 듣기 편한 음량으로 조절할 수 있도록 하였다.

본 실험에서는 통과대역의 주파수 특성이 평탄하고 차단특성이 급준한(-48dB/octave) 버터워스 8차 디지털 필터를 사용하였으며 각각의 차단주파수는 외국의 유사 연구[1][2]들의 결과와 비교 등을 고려하여 동일하게 선정하였다.

아울러 본 연구에서의 결과는 대역통과필터(BPF)가 아닌 저역통과필터(LPF) 또는 고역통과필터(HPF)에 의한 한 종류의 필터만을 사용한 결과이며 헤드폰 등 실험시스템 자체의 주파수 특성도 당연히 포함되어 있으므로 여기서는 차단주파수에 따른 상대적인 변화경향에 초점을 맞춘 것임을 밝혀둔다.

3. 결과 및 분석

3.1 자음의 음절 내 위치별 지각 실험 결과 및 분석

3.1.1 초성 자음 인식률

초성 자음 인식률은 다음 <표 1> 및 <표 2>와 같다.

<표 1>과 <표 2>는 각 필터의 차단주파수별로 CV음절 청취 결과의 초성자음을 혼동 행렬표(confusion matrix)로 작성하고 여기에서 제대로 들은 결과만을 나타낸 것이다.

<표 1> 및 <표 2>에서 초성 원음(대역을 제한하지 않은 음성)은 조음방법 간 비교에서 마찰음과 파찰음이 비교적 다른 조음방법의 자음들 보다 높은 인식률을 보인다. 발성유형 간 비교에서는 경파열음 /ㅍ, ㅌ, ㅍ/가 다른 발성유형 파열음에 비해 낮은 인식률을 보인다.

필터상황에 따른 인식률의 변화를 80% 기준으로 보면, <표 1> HPF의 조음방법 간 비교에서 마찰음 /ㅅ/ 과 파찰음이 상대적으로 주파수왜곡에 강함을 보이는데 이는 마찰소음이 고 주파수대에 있기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 그리고 조음장소 간 비교에서 파열음의 경우는 연구개음, 치경음, 양순음 순으로 주파수왜곡에 강함을 보이는데 이는 이들의 locus 순과 일치하고 있다(연구개음 3000 Hz, 치경음 1700 Hz, 양순음 720 Hz)[4].

표 1. HPF 초성 자음 인식률(%)

Table 1. Initial consonants recognition rates in HPF

초성자음 \ 차단주파수		0	300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000	5000
		파열음	ㄱ	87.5	63.5	63.5	57.3	56.3	44.8	46.9	41.7
ㅋ	76.0		68.8	66.7	65.6	59.4	59.4	49.0	35.4	19.8	14.6
ㆁ	94.8		69.8	71.9	69.8	62.5	60.4	46.9	44.8	33.3	8.3
ㄷ	91.7		87.5	84.4	78.1	76.0	63.5	68.8	58.3	50.0	26.0
ㄸ	85.4		81.3	79.2	67.7	67.7	64.6	59.4	55.2	36.5	13.5
ㅌ	100.0		81.3	78.1	80.2	77.1	67.7	65.6	60.4	44.8	16.7
ㄴ	97.9		90.6	84.4	90.6	82.3	74.0	64.6	57.3	56.3	37.5
ㄷ	77.1		64.6	56.3	52.1	56.3	63.5	65.6	53.1	39.6	29.2
ㄹ	96.9		86.5	88.5	84.4	76.0	71.9	68.8	51.0	47.9	25.0
마찰음	ㅅ	99.0	88.5	85.4	84.4	86.5	80.2	81.3	70.8	53.1	28.1
	ㅆ	93.8	74.0	67.7	67.7	67.7	53.1	55.2	56.3	61.5	51.0
	ㅎ	99.0	79.2	81.3	76.0	75.0	63.5	70.8	71.9	60.4	51.0
파찰음	ㅈ	97.9	97.9	94.8	89.6	84.4	84.4	76.0	69.8	59.4	32.3
	ㅊ	100.0	90.6	90.6	88.5	89.6	86.5	81.3	75.0	52.1	21.9
	ㅊ	95.8	89.6	92.7	91.7	90.6	87.5	85.4	82.3	69.8	39.6
비음	ㅁ	86.5	83.3	71.9	75.0	70.8	68.8	58.3	45.8	28.1	5.2
	ㄴ	99.0	93.8	86.5	85.4	84.4	69.8	71.9	59.4	42.7	8.3
유음	ㄹ	90.6	84.4	77.1	76.0	76.0	67.7	63.5	56.3	54.2	11.5

표 2. LPF 초성 자음 인식률(%)

Table 2. Initial consonants recognition rates in LPF

초성자음 \ 차단주파수		300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000	5000	∞
		파열음	ㄱ	35.4	25.0	34.4	49.0	56.3	64.6	62.5	65.6
ㅋ	25.0		40.6	35.4	47.9	51.0	59.4	67.7	70.8	68.8	76.0
ㆁ	36.5		36.5	47.9	66.7	59.4	64.6	69.8	74.0	71.9	94.8
ㄷ	13.5		22.9	19.8	39.6	68.8	75.0	77.1	82.3	83.3	91.7
ㄸ	9.4		21.9	30.2	44.8	58.3	75.0	83.3	81.3	82.3	85.4
ㅌ	9.4		25.0	6.3	17.7	42.7	59.4	60.4	65.6	77.1	100.0
ㄴ	1.0		36.5	56.3	59.4	71.9	75.0	85.4	89.6	90.6	97.9
ㄷ	0.0		26.0	42.7	53.1	59.4	77.1	82.3	83.3	78.1	77.1
ㄹ	3.1		49.0	62.5	60.4	67.7	77.1	83.3	88.5	85.4	96.9
마찰음	ㅅ	1.0	2.1	0.0	6.3	50.0	57.3	62.5	62.5	78.1	99.0
	ㅆ	7.3	8.3	9.4	9.4	34.4	42.7	45.8	53.1	61.5	93.8
	ㅎ	33.3	43.8	57.3	65.6	59.4	62.5	71.9	76.0	79.2	99.0
파찰음	ㅈ	0.0	7.3	6.3	15.6	51.0	65.6	76.0	86.5	89.6	97.9
	ㅊ	0.0	17.7	19.8	19.8	38.5	69.8	81.3	88.5	90.6	100.0
	ㅊ	0.0	2.1	0.0	3.1	37.5	63.5	71.9	76.0	87.5	95.8
비음	ㅁ	13.5	31.3	57.3	60.4	67.7	77.1	87.5	83.3	83.3	86.5
	ㄴ	30.2	42.7	43.8	62.5	82.3	85.4	86.5	87.5	94.8	99.0
유음	ㄹ	31.3	59.4	57.3	70.8	78.1	79.2	84.4	87.5	87.5	90.6

<표 2> LPF 결과는 HPF 결과 해석과 비슷한 양상을 보이거나 파열음의 경우 양순음은 낮은 주파수대의 정보만으로도 높

은 인식률일 것으로 기대해볼 수 있는데 예상과는 다르다. 전체적으로 자음은 모음에 비해 높은 주파수대가 아닌 경우 인식률이 급격히 떨어지고 있는데 이는 모음에 비해 자음의 정보가 대체적으로 고주파수대에 있음을 보여준다.

3.1.2 중성 자음 인식률

중성 자음 인식률은 다음 <표 3> 및 <표 4>와 같다. <표 3>과 <표 4>의 중성 원음은 비음과 유음이 파열음보다 높은 인식률을 보인다.

표 3. HPF 중성 자음 인식률(%)

Table 3. Final consonants recognition rates in HPF

차단주파수 중성자음		차단주파수									
		0	300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000	5000
파열음	ㅂ	92.7	89.6	87.5	72.9	71.9	72.9	62.5	57.3	34.4	10.4
	ㄷ	92.7	89.6	82.3	78.1	74.0	65.6	61.5	52.1	41.7	21.9
	ㄱ	91.7	87.5	90.6	86.5	80.2	69.8	67.7	62.5	57.3	37.5
비음	ㅁ	97.9	89.6	84.4	79.2	59.4	47.9	44.8	31.3	18.8	7.3
	ㄴ	99.0	95.8	96.9	95.8	89.6	81.3	81.3	62.5	51.0	26.0
	ㅇ	99.0	99.0	94.8	90.6	84.4	77.1	67.7	59.4	36.5	32.3
유음	ㄹ	100.0	100.0	97.9	97.9	91.7	86.5	69.8	56.3	29.2	4.2

필터상황에 따른 인식률의 변화를 80% 기준으로 보면, <표 3>과 <표 4>를 종합하여 보았을 경우, 파열음은 보다 넓은 주파수대의 정보를 필요로 하는 반면 상대적으로 유음은 높은 주파수대(예, 비교적 1500 Hz HPF) 정보만으로도 또는 매우 낮은 주파수대(예, 700 Hz LPF) 정보만으로도 80% 이상의 인식률을 보인다.

표 4. LPF 중성 자음 인식률(%)

Table 4. Final consonants recognition rates in LPF

차단주파수 중성자음		차단주파수									
		300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000	5000	∞
파열음	ㅂ	77.1	82.3	87.5	87.5	77.1	86.5	89.6	92.7	95.8	92.7
	ㄷ	1.0	3.1	18.8	44.8	74.0	84.4	85.4	92.7	94.8	92.7
	ㄱ	22.9	27.1	40.6	65.6	74.0	81.3	86.5	90.6	92.7	91.7
비음	ㅁ	36.5	44.8	56.3	75.0	83.3	88.5	92.7	96.9	93.8	97.9
	ㄴ	33.3	40.6	32.3	51.0	81.3	94.8	100.0	97.9	97.9	99.0
	ㅇ	12.5	42.7	79.2	87.5	90.6	93.8	95.8	94.8	95.8	99.0
유음	ㄹ	13.5	52.1	81.3	92.7	99.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

3.2 파열자음의 오류유형 분석

<표 5>와 <표 6>은 초성 및 중성 파열 자음에서 각 필터별

차단주파수에 따른 혼동 행렬표(confusion matrix)를 간략화 하여 나타낸 것이며, 여기에 표시한 오인식 결과는 인식을 순서대로 나열한 것이다.

표 5. 파열음의 인지오류유형(HPF)

Table 5. Recognition error types of stops in HPF

(* 괄호 안은 인식률, U: 확인불능, 탈: 탈락)

차단주파수 자음유형	양순음	치경음	연구개음	차단주파수									
				0	300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000	5000
양순음	CV	ㅂ	ㅂ	ㅂ(87.5)	ㅂ(63.5)	ㅂ(63.5)	ㅂ(57.3)	ㅂ(56.3)	ㅂ(44.8)	ㅂ(46.9)	ㅂ(41.7)	ㅂ(31.3)	ㅂ(44.8)
				ㄷ(10.4)	ㄷ(20.8)	ㄷ(18.8)	ㄷ(13.5)	ㄷ(22.9)	ㄷ(25.0)	ㄷ(27.1)	ㄷ(29.2)	ㄷ(27.1)	
				ㄱ(8.3)	ㄱ(7.3)	ㄱ(7.3)	ㄱ(10.4)	ㄱ(12.5)	ㄱ(14.6)	ㄱ(13.5)	ㄱ(16.7)	ㄱ(10.4)	
	ㅁ	ㅁ	ㅁ(76.0)	ㅁ(68.8)	ㅁ(66.7)	ㅁ(65.6)	ㅁ(59.4)	ㅁ(59.4)	ㅁ(49.0)	ㅁ(35.4)	ㅁ(26.0)	ㅁ(40.6)	
			ㄴ(13.5)	ㄴ(16.7)	ㄴ(10.4)	ㄴ(12.5)	ㄴ(12.5)	ㄴ(16.7)	ㄴ(19.8)	ㄴ(24.0)	ㄴ(19.8)	탈(24.0)	
			ㅇ(8.3)	ㅇ(8.3)	ㅇ(8.3)	ㅇ(8.3)	ㅇ(11.5)	ㅇ(7.3)	ㅇ(14.6)	ㅇ(13.5)	ㅇ(13.5)	ㅇ(14.6)	
ㅍ	ㅍ	ㅍ(94.8)	ㅍ(69.8)	ㅍ(71.9)	ㅍ(69.8)	ㅍ(62.5)	ㅍ(60.4)	ㅍ(46.9)	ㅍ(44.8)	ㅍ(33.3)	ㅍ(52.1)		
		ㅌ(4.2)	ㅌ(14.6)	ㅌ(11.5)	ㅌ(12.5)	ㅌ(17.7)	ㅌ(18.8)	ㅌ(25.0)	ㅌ(20.8)	ㅌ(33.3)	ㅌ(19.8)		
		ㅋ(8.3)	ㅋ(8.3)	ㅋ(8.3)	ㅋ(9.4)	ㅋ(10.4)	ㅋ(14.6)	ㅋ(22.9)	ㅋ(17.7)	ㅋ(19.8)	ㅋ(8.3)		
VC	ㅂ	ㅂ	ㅂ(92.7)	ㅂ(89.6)	ㅂ(87.5)	ㅂ(72.9)	ㅂ(71.9)	ㅂ(72.9)	ㅂ(62.5)	ㅂ(57.3)	ㅂ(34.4)	ㅂ(41.7)	
			ㄷ(4.2)	ㄷ(10.4)	ㄷ(8.3)	ㄷ(17.7)	ㄷ(14.6)	ㄷ(11.5)	ㄷ(15.6)	ㄷ(16.7)	ㄷ(31.3)	ㄷ(33.3)	
			ㄱ(2.1)	ㄱ(3.1)	ㄱ(3.1)	ㄱ(4.2)	ㄱ(9.4)	ㄱ(11.5)	ㄱ(13.5)	ㄱ(16.7)	ㄱ(26.0)	ㄱ(10.4)	
	ㄷ	ㄷ	ㄷ(91.7)	ㄷ(87.5)	ㄷ(84.4)	ㄷ(78.1)	ㄷ(76.0)	ㄷ(63.5)	ㄷ(68.8)	ㄷ(58.3)	ㄷ(50.0)	ㄷ(43.8)	
			ㅂ(3.1)	ㅂ(4.2)	ㅂ(3.1)	ㅂ(4.2)	ㅂ(10.4)	ㅂ(14.6)	ㅂ(24.0)	ㅂ(21.9)	ㅂ(29.2)	ㅂ(26.0)	
			ㅌ(3.1)	ㅌ(3.1)	ㅌ(3.1)	ㅌ(3.1)	ㅌ(4.2)	ㅌ(5.2)	ㅌ(2.1)	ㅌ(3.1)	ㅌ(6.3)	ㅌ(15.6)	
ㄴ	ㄴ	ㄴ(85.4)	ㄴ(81.3)	ㄴ(79.2)	ㄴ(67.7)	ㄴ(67.7)	ㄴ(64.6)	ㄴ(59.4)	ㄴ(55.2)	ㄴ(36.5)	ㄴ(46.9)		
		ㄷ(13.5)	ㄷ(8.3)	ㄷ(10.4)	ㄷ(14.6)	ㄷ(11.5)	ㄷ(17.7)	ㄷ(19.8)	ㄷ(21.9)	ㄷ(26.0)	ㄷ(13.5)		
		U(3.1)	U(3.1)	U(8.3)	U(8.3)	U(7.3)	U(8.3)	U(7.3)	U(7.3)	U(10.4)	U(9.4)		
ㅌ	ㅌ	ㅌ(100.0)	ㅌ(81.3)	ㅌ(78.1)	ㅌ(80.2)	ㅌ(77.1)	ㅌ(67.7)	ㅌ(65.6)	ㅌ(60.4)	ㅌ(44.8)	ㅌ(46.9)		
		ㅎ(5.2)	ㅎ(5.2)	ㅎ(4.2)	ㅎ(4.2)	ㅎ(7.3)	ㅎ(14.6)	ㅎ(19.8)	ㅎ(22.9)	ㅎ(33.3)	ㅎ(16.7)		
		U(4.2)	U(4.2)	U(4.2)	U(4.2)	U(4.2)	U(7.3)	U(5.2)	U(5.2)	U(7.3)	U(14.6)		
연구개음	CV	ㄱ	ㄱ	ㄱ(97.9)	ㄱ(90.6)	ㄱ(84.4)	ㄱ(90.6)	ㄱ(82.3)	ㄱ(74.0)	ㄱ(64.6)	ㄱ(57.3)	ㄱ(56.3)	
				ㅂ(5.2)	ㅂ(5.2)	ㅂ(5.2)	ㅂ(7.3)	ㅂ(11.5)	ㅂ(15.6)	ㅂ(21.9)	ㅂ(26.0)	ㅂ(25.0)	ㅂ(37.5)
				ㄷ(2.1)	ㄷ(4.2)	ㄷ(1.0)	ㄷ(1.0)	ㄷ(4.2)	ㄷ(4.2)	ㄷ(4.2)	ㄷ(4.2)	ㄷ(6.3)	ㄷ(6.3)
	ㅍ	ㅍ	ㅍ(77.1)	ㅍ(64.6)	ㅍ(56.3)	ㅍ(52.1)	ㅍ(56.3)	ㅍ(63.5)	ㅍ(65.6)	ㅍ(53.1)	ㅍ(39.6)	ㅍ(43.8)	
			ㄷ(21.9)	ㄷ(27.1)	ㄷ(33.3)	ㄷ(32.3)	ㄷ(27.1)	ㄷ(17.7)	ㄷ(17.7)	ㄷ(19.8)	ㄷ(28.1)	ㄷ(29.2)	
			탈(3.1)	탈(5.2)	탈(8.3)	탈(14.6)	탈(15.6)	탈(15.6)	탈(12.5)	탈(13.5)	탈(13.5)	탈(8.3)	
ㅋ	ㅋ	ㅋ(96.9)	ㅋ(86.5)	ㅋ(88.5)	ㅋ(84.4)	ㅋ(76.0)	ㅋ(71.9)	ㅋ(68.8)	ㅋ(51.0)	ㅋ(47.9)	ㅋ(47.9)		
		ㅎ(2.1)	ㅎ(6.3)	ㅎ(6.3)	ㅎ(5.2)	ㅎ(10.4)	ㅎ(15.6)	ㅎ(21.9)	ㅎ(26.0)	ㅎ(30.2)	ㅎ(25.0)		
		U(1.0)	U(3.1)	U(3.1)	U(4.2)	U(6.3)	U(4.2)	U(5.2)	U(8.3)	U(11.5)	U(9.4)		
VC	ㄱ	ㄱ	ㄱ(91.7)	ㄱ(87.5)	ㄱ(90.6)	ㄱ(86.5)	ㄱ(80.2)	ㄱ(69.8)	ㄱ(67.7)	ㄱ(62.5)	ㄱ(57.3)	ㄱ(38.5)	
			ㅂ(7.3)	ㅂ(9.4)	ㅂ(6.3)	ㅂ(4.2)	ㅂ(8.3)	ㅂ(13.5)	ㅂ(15.6)	ㅂ(18.8)	ㅂ(28.1)	ㅂ(37.5)	
			ㄷ(2.1)	ㄷ(2.1)	ㄷ(2.1)	ㄷ(4.2)	ㄷ(7.3)	ㄷ(10.4)	ㄷ(11.5)	ㄷ(11.5)	ㄷ(6.3)	ㄷ(10.4)	

원음은 대체적으로 유기음 /ㅍ, ㅌ, ㅋ/가 경우, 연음에 비해 비교적 높은 인식률을 보인다. 한 가지 주목할 만한 것은 초성양순음이 초성치경음, 초성연구개음과 다른 인식양상을 보이는 것이다. 양순음은 일관되게 치경음으로 인지하여 조음장소에서의 변화를 보인다. 즉, /ㅂ/는 /ㄷ/로, /ㅁ/는 /ㄴ/로 /ㅍ/는 /ㅌ/로 발성유형의 변화 없이 조음장소에서의 변화를 보이는 반면, 치경음과 연구개음은 발성유형에서의 변화를 보인다. 즉, /ㄷ/는 /ㄷ/로, /ㄱ/는 /ㄱ/로 조음장소의 변화 없이 발성유형에서의 변화를 보인다.

필터상황에 따른 변화를 보면 <표 5> HPF 경우에 원음과

유사한 양순음 대 치경음/연구개음의 관계를 보인다. 종성자 음의 변화양상으로 주목할 만한 것은 종성양순음 /ㅂ/는 연구개음 /ㄱ/로, 종성연구개음 /ㄱ/는 양순음 /ㅂ/로 인지오류유형을 보이는 것이다. 이는 두 자음이 [+grave] 음운자질을 공유하고 있는 데서 그 원인을 찾을 수 있다.

표 6. 파열음의 인지오류유형(LPF)

Table 6. Recognition error types of stops in LPF

(* 괄호 안은 인식률, U: 확인불능, 탈: 탈락)

차단주파수		300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000	5000	∞	
양순음	b	ㅂ(35.4)	U(30.2)	ㅂ(34.4)	ㅂ(49.0)	ㅂ(56.3)	ㅂ(64.6)	ㅂ(62.5)	ㅂ(65.6)	ㅂ(72.9)	ㅂ(87.5)	
		U(26.0)	ㄷ(28.1)	ㄷ(22.9)	ㄷ(22.9)	ㄷ(30.2)	ㄷ(21.9)	ㄷ(22.9)	ㄷ(26.0)	ㄷ(18.8)	ㄷ(10.4)	
	ㅃ	ㅃ(36.5)	ㅃ(40.6)	ㅃ(35.4)	ㅃ(47.9)	ㅃ(51.0)	ㅃ(59.4)	ㅃ(67.7)	ㅃ(70.8)	ㅃ(68.8)	ㅃ(76.0)	
		ㅃ(25.0)	U(26.0)	U(24.0)	ㄷ(16.7)	ㄷ(17.7)	ㄷ(18.8)	ㄷ(16.7)	ㄷ(19.8)	ㄷ(18.8)	ㄷ(13.5)	
	ㅍ	ㅍ(36.5)	ㅍ(36.5)	ㅍ(47.9)	ㅍ(66.7)	ㅍ(59.4)	ㅍ(64.6)	ㅍ(69.8)	ㅍ(74.0)	ㅍ(71.9)	ㅍ(94.8)	
		ㅍ(24.0)	U(25.0)	ㅋ(20.8)	ㅎ(12.5)	ㅌ(14.6)	ㅎ(14.6)	ㅋ(14.6)	ㅋ(9.4)	ㅎ(11.5)	ㅌ(4.2)	
vc	ㅂ	ㅂ(77.1)	ㅂ(82.3)	ㅂ(87.5)	ㅂ(87.5)	ㅂ(77.1)	ㅂ(86.5)	ㅂ(89.6)	ㅂ(92.7)	ㅂ(95.8)	ㅂ(92.7)	
	U(16.7)	ㄱ(13.5)	ㄱ(6.3)	ㄱ(9.4)	ㄱ(11.5)	ㄱ(9.4)	ㄱ(7.3)	ㄱ(5.2)	ㄱ(2.1)	ㄱ(2.1)		
치경음	ㄷ	ㅂ(34.4)	U(34.4)	ㄱ(33.3)	ㄷ(39.6)	ㄷ(68.8)	ㄷ(75.0)	ㄷ(77.1)	ㄷ(82.3)	ㄷ(83.3)	ㄷ(91.7)	
		U(31.3)	ㄷ(22.9)	U(25.0)	ㄷ(29.2)	ㄱ(12.5)	ㅂ(8.3)	ㅂ(8.3)	ㅂ(6.3)	ㄱ(6.3)	ㅂ(3.1)	
	ㄸ	ㄸ(28.1)	U(31.3)	ㄸ(30.2)	ㄸ(44.8)	ㄸ(58.3)	ㄸ(75.0)	ㄸ(83.3)	ㄸ(81.3)	ㄸ(82.3)	ㄸ(85.4)	
		ㄸ(24.0)	ㅃ(30.2)	U(25.0)	ㄸ(20.8)	ㄸ(14.6)	U(8.3)	ㅃ(5.2)	ㄸ(4.2)	ㄷ(6.3)	ㄷ(13.5)	
	ㅌ	ㅌ(34.4)	U(31.3)	ㅋ(35.4)	ㅌ(26.0)	ㅌ(42.7)	ㅌ(59.4)	ㅌ(60.4)	ㅌ(65.6)	ㅌ(77.1)	ㅌ(100.0)	
		ㅌ(27.1)	ㅋ(27.1)	ㅌ(28.1)	ㅌ(24.0)	ㅌ(17.7)	ㅎ(13.5)	ㅎ(8.3)	ㅎ(11.5)	ㅎ(6.3)	ㅌ(6.3)	
vc	ㄷ	ㅂ(78.1)	ㅂ(86.5)	ㅂ(69.8)	ㅂ(44.8)	ㄷ(74.0)	ㄷ(84.4)	ㄷ(85.4)	ㄷ(92.7)	ㄷ(94.8)	ㄷ(92.7)	
	U(16.7)	ㄱ(6.3)	ㄷ(18.8)	ㅂ(40.6)	ㅂ(17.7)	ㅂ(9.4)	ㅂ(11.5)	ㅂ(6.3)	ㅂ(5.2)	ㅂ(7.3)		
연구개음	ㄱ	U(39.6)	ㄱ(36.5)	ㄱ(56.3)	ㄱ(59.4)	ㄱ(71.9)	ㄱ(75.0)	ㄱ(85.4)	ㄱ(89.6)	ㄱ(90.6)	ㄱ(97.9)	
		ㄱ(20.8)	U(30.2)	U(16.7)	U(14.6)	ㄷ(10.4)	ㄷ(10.4)	ㅂ(4.2)	ㅂ(3.1)	ㅂ(4.2)		
	ㅋ	U(38.5)	ㄸ(26.0)	ㄸ(42.7)	ㅌ(53.1)	ㅌ(59.4)	ㅌ(77.1)	ㅌ(82.3)	ㅌ(83.3)	ㅌ(78.1)	ㅌ(77.1)	
		ㅃ(17.7)	U(24.0)	U(29.2)	U(24.0)	ㄱ(16.7)	ㄱ(8.3)	ㄱ(11.5)	ㄱ(10.4)	ㄱ(12.5)	ㄱ(21.9)	
	vc	ㄱ	ㅂ(42.7)	ㅋ(49.0)	ㅋ(62.5)	ㅋ(60.4)	ㅋ(67.7)	ㅋ(77.1)	ㅋ(83.3)	ㅋ(88.5)	ㅋ(85.4)	ㅋ(96.9)
		U(25.0)	U(31.3)	U(15.6)	ㅎ(13.5)	ㅌ(10.4)	ㅎ(9.4)	ㅎ(5.2)	ㅌ(4.2)	ㅎ(7.3)	ㄱ(2.1)	
vc	ㄱ	ㅂ(64.6)	ㅂ(55.2)	ㅂ(50.0)	ㅂ(65.6)	ㄱ(74.0)	ㄱ(81.3)	ㄱ(86.5)	ㄱ(90.6)	ㄱ(92.7)	ㄱ(91.7)	
	U(22.9)	ㄱ(27.1)	ㄱ(40.6)	ㅂ(28.1)	ㅂ(13.5)	ㅂ(11.5)	ㅂ(11.5)	ㅂ(6.3)	ㅂ(5.2)	ㅂ(7.3)		

3.3 마찰음 · 파찰음 · 비음 · 유음의 오류유형 분석

<표 7> HPF의 경우, 치경마찰음 /s/와 /ss/는 서로 다른 모습을 보인다. /s/는 2000 Hz까지 80% 이상의 인식률을 보인 반면, /ss/는 원음에서 93.8% 인식률을 보이고 300 Hz에서 80% 이하로 떨어져 /ss/가 /s/에 비해 주파수 왜곡에 약함을 보인다. 두 마찰음의 오류유형을 보면 /s/는 주로 /ss/, z, ㄷ/

표 7. 마찰음 · 파찰음 · 비음 · 유음의 인지오류유형(HPF)

Table 7. Recognition error types of fricatives, affricates, nasals, and liquids in HPF

(* 괄호 안은 인식률, U: 확인불능, 탈: 탈락)

차단주파수		0	300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000	5000	
마찰음	s	s(99.0)	s(88.5)	s(85.4)	s(84.4)	s(86.5)	s(80.2)	s(81.3)	s(70.8)	s(53.1)	U(38.5)	
		ss(1.0)	ss(2.1)	z(2.1)	z(4.2)	ㄷ(2.1)	ㄷ(2.1)	ss(2.1)	ss(4.2)	ss(13.5)	ss(27.1)	
	ss	ss(93.8)	ss(74.0)	ss(67.7)	ss(67.7)	ss(67.7)	ss(53.1)	ss(55.2)	ss(56.3)	ss(61.5)	ss(51.0)	
		s(5.2)	s(17.7)	s(20.8)	s(15.6)	s(17.7)	s(21.9)	s(26.0)	s(24.0)	U(18.8)	U(35.4)	
	ㅎ	ㅎ(99.0)	ㅎ(79.2)	ㅎ(81.3)	ㅎ(76.0)	ㅎ(75.0)	ㅎ(63.5)	ㅎ(70.8)	ㅎ(71.9)	ㅎ(60.4)	ㅎ(51.0)	
		U(1.0)	ㅌ(5.2)	ㅌ(11.5)	ㅌ(9.4)	U(10.4)	탈(9.4)	U(21.9)	U(22.9)	ㅌ(32.3)	U(40.6)	
파찰음	z	z(97.9)	z(97.9)	z(94.8)	z(89.6)	z(84.4)	z(84.4)	z(76.0)	z(69.8)	z(59.4)	U(45.8)	
		ss(1.0)	ㄱ(1.0)	ㄱ(2.1)	ss(3.1)	ㄷ(4.2)	U(4.2)	ss(7.3)	ss(11.5)	ss(8.3)	ㄷ(32.3)	
	ㅌ	ㅌ(100.0)	ㅌ(90.6)	ㅌ(90.6)	ㅌ(88.5)	ㅌ(89.6)	ㅌ(86.5)	ㅌ(81.3)	ㅌ(75.0)	ㅌ(52.1)	U(50.0)	
		z(5.2)	z(5.2)	z(7.3)	z(6.3)	z(4.2)	z(5.2)	z(10.4)	z(8.3)	ㅌ(19.8)	ㅌ(21.9)	
	ㄷ	ㄷ(95.8)	ㄷ(89.6)	ㄷ(92.7)	ㄷ(91.7)	ㄷ(90.6)	ㄷ(87.5)	ㄷ(85.4)	ㄷ(82.3)	ㄷ(69.8)	U(42.7)	
		z(3.1)	z(7.3)	z(4.2)	z(6.3)	z(5.2)	z(6.3)	z(7.3)	z(10.4)	z(18.8)	z(39.6)	
비음	m	m(86.5)	m(83.3)	m(71.9)	m(75.0)	m(70.8)	m(68.8)	m(58.3)	m(45.8)	U(29.2)	U(49.0)	
		U(12.5)	U(12.5)	U(12.5)	U(9.4)	U(13.5)	U(20.8)	U(20.8)	U(20.8)	U(28.1)	탈(31.3)	
	n	n(97.9)	n(89.6)	n(84.4)	n(79.2)	n(59.4)	n(47.9)	n(44.8)	n(31.3)	U(38.5)	U(43.8)	
		U(1.0)	o(5.2)	o(6.3)	o(12.5)	o(19.8)	o(22.9)	o(21.9)	o(28.1)	o(18.8)	o(30.2)	
	vc	m	U(99.0)	U(93.8)	U(86.5)	U(85.4)	U(84.4)	U(69.8)	U(71.9)	U(59.4)	U(42.7)	U(47.9)
		U(1.0)	U(3.1)	U(4.2)	U(8.3)	U(12.5)	U(16.7)	U(18.8)	U(17.7)	U(26.0)	U(27.1)	탈(29.2)
vc	n	U(99.0)	U(95.8)	U(96.9)	U(95.8)	U(89.6)	U(81.3)	U(81.3)	U(62.5)	U(51.0)	U(41.7)	
	U(1.0)	U(2.1)	U(1.0)	U(2.1)	U(3.1)	U(2.1)	U(1.0)	U(1.0)	U(5.2)	U(9.4)	U(26.0)	
vc	o	o(99.0)	o(99.0)	o(94.8)	o(90.6)	o(84.4)	o(77.1)	o(67.7)	o(59.4)	o(36.5)	U(46.9)	
	U(1.0)	U(1.0)	U(1.0)	U(3.1)	U(7.3)	U(7.3)	U(5.2)	U(7.3)	U(7.3)	U(10.4)	o(32.3)	
유음	r	r(90.6)	r(84.4)	r(77.1)	r(76.0)	r(76.0)	r(67.7)	r(63.5)	r(56.3)	r(54.2)	U(50.0)	
		U(8.3)	U(11.5)	U(10.4)	U(8.3)	U(8.3)	U(9.4)	U(12.5)	U(12.5)	U(7.3)	U(30.2)	
음	r	r(100.0)	r(100.0)	r(97.9)	r(97.9)	r(91.7)	r(86.5)	r(69.8)	r(56.3)	U(37.5)	U(49.0)	
		U(1.0)	U(1.0)	U(1.0)	U(1.0)	U(5.2)	U(6.3)	U(10.4)	U(14.6)	U(17.7)	U(22.9)	

로, /ㅍ/는 /ㅍ/로 인식되는 경우가 대부분이며 간혹 /ㅍ/로 인식된다. 성문마찰음 /ㅎ/는 500 Hz까지만 80% 이상의 인식률을 보이며 필터왜곡이 심해지면 다른 자음에 비해 ‘확인불능(U)’의 비율이 높다. 그 외는 /ㅋ/와 /ㅍ/로 인식되는 경향을 보인다.

<표 7> HPF의 경우, 치경경구개 파찰음은 /스/는 1500 Hz, /ㅍ/는 2000 Hz, /ㅌ/는 2500 Hz까지 80% 이상의 인식률을 보인다. 오류유형을 보면 /스/는 /ㅍ/로, /ㅍ/는 /스/로, /ㅌ/는 /스/로 인지되는 경향을 보인다.

<표 7> HPF의 경우, 비음은 초성 양순비음은 300 Hz, 초성 치경비음은 1000 Hz까지, 종성 양순비음은 700 Hz, 종성 치경비음은 2000 Hz, 종성 연구개비음은 1000 Hz까지 80% 이상의 인식률을 보인다. 초성보다는 종성이, 양순비음보다는 치경비음이 HPF필터 왜곡에 강함을 보인다. 오류유형을 보면 양순비음 /ㅁ/는 초성에서는 주로 /ㄴ/로, 종성에서는 /ㅇ/로 인식되고, 치경비음 /ㄴ/는 주로 초성에서는 /ㄹ/로, 종성에서는 /ㅇ, ㅁ, ㄷ/로 인식되며, 연구개비음 /ㅇ/는 종성에서 /ㅁ, ㄴ/로 인식되고 있어 음절 내 위치에 따라 다른 오류유형을 보인다.

<표 7> HPF의 경우, 유음 /ㄹ/는 초성 탄설음은 300 Hz, 종성 접근음은 1500 Hz까지 80% 이상의 인식률을 보인다. 초성보다는 종성이 HPF필터 왜곡에 강함을 보인다. 오류유형을 보면 초성과 종성 모두 주로 /ㄴ/로 인식되며 다른 자음들에 비해 ‘확인불능’과 ‘탈락’으로 답한 비율이 높다.

<표 8> LPF의 경우, 치경마찰음 /스/와 /ㅍ/는 /스/와 /ㅍ/ 모두 원음을 제외하고는 80% 미만의 인식률을 보인다. 이는 음향적으로 치경 마찰소음이 고주파수대에 분포되어 있기에 치경마찰음 인식에는 고주파수대의 정보가 필수임을 보여주는 결과이다. /ㅎ/는 5000 Hz에서만 80% 가까운 인식률(79.2%)을 보이며 이 또한 고주파수대의 정보가 필수임을 보인다. 오류유형을 보면 /스/는 주로 /스, ㅌ, ㄷ, ㅍ/로, /ㅍ/는 /스, ㅍ/로 인식되는 경우가 대부분이다. 성문마찰음 /ㅎ/는 /ㅋ, ㅍ, ㅌ/로 인식된다. 필터 간 오류유형 차이를 보면, HPF에서 LPF에 비해 보다 단순한 오류유형을 보인다. HPF에서의 오류유형은 치경경구개 /스/를 제외하고는 동일 조음장소인 치경음에 거의 국한되나 LPF에서는 치경경구개, 연구개까지 그 범위를 넓히고 있다.

<표 8> LPF의 경우, 치경경구개 파찰음은 /스/는 3000 Hz, /ㅍ/는 2500 Hz, /ㅌ/는 5000 Hz에서 80% 이상의 인식률을 보인다. 치경 마찰음보다는 다소 낮은 주파수대이지만 치경경구개 파찰음 또한 음향적으로 높은 주파수대에 마찰소음이 있기 때문에 이를 인식하는 데에는 치경 마찰음과 마찬가지로 고주파수대의 정보가 필수임을 보여주는 결과로 해석할 수 있다.

- 5) 본 연구에서 통칭으로 ‘유음’으로 칭한 우리말 /ㄹ/는 음절 내 위치에 따라 확연히 다른 음성적 속성을 가지고 있다. 초성에서는 탄설음 /ㄹ/로, 종성에서는 설측 접근음 /ㄹ/로 실현된다.
- 6) 본 연구에서 인식률 80%는 80±1%를 의미한다.

표 8. 마찰음 · 파찰음 · 비음 · 유음의 인지오류유형(LPF)
Table 8. Recognition error types of fricatives, affricates, nasals, and liquids in LPF

(* 괄호 안은 인식률, U: 확인불능, 탈: 탈락)

차단주파수 자음유형		300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000	5000	∞
		<p>마찰음</p> <p>스 U(41.7) ㅎ(25.0) ㅌ(7.3) ㅍ(6.3) ㄷ(6.3) ㅅ(3.1) U(38.5) ㅎ(27.1) ㄷ(8.3) ㅍ(6.3) ㅌ(5.2) ㅋ(4.2) ㅎ(38.5) U(28.1) ㄱ(10.4) ㅍ(7.3) ㄷ(5.2) ㄱ(3.1) ㅎ(45.8) U(25.0) ㅍ(6.3) ㅎ(12.5) ㅌ(5.2) ㄱ(4.2) ㅅ(50.0) U(14.6) ㅌ(7.3) ㅍ(5.2) ㅌ(5.2) ㄱ(4.2) ㅅ(57.3) ㅌ(7.3) ㅌ(7.3) ㅌ(6.3) U(6.3) ㄱ(4.2) ㅅ(62.5) ㄷ(6.3) ㅌ(6.3) ㅌ(6.3) U(6.3) ㄱ(4.2) ㅅ(62.5) ㅌ(9.4) ㅌ(6.3) ㄷ(5.2) ㅎ(5.2) U(4.2) ㅅ(78.1) ㄱ(5.2) ㅌ(4.2) ㅌ(3.1) ㅅ(99.0) ㅌ(1.0)</p> <p>ㅍ U(35.4) ㅍ(15.6) ㄷ(10.4) ㅎ(10.4) ㄷ(9.4) ㅌ(7.3) U(41.7) ㅎ(13.5) ㄷ(11.5) ㅍ(8.3) ㅌ(8.3) ㄱ(6.3) U(43.8) ㅎ(14.6) ㄱ(11.5) ㅍ(10.4) ㅌ(9.4) ㄱ(5.2) U(38.5) ㅌ(14.6) ㅎ(12.5) ㅌ(11.5) ㅌ(6.3) ㅌ(6.3) ㅅ(34.4) U(19.8) ㅌ(17.7) ㅌ(10.4) ㄱ(6.3) ㅌ(6.3) ㅌ(42.7) U(17.7) ㅌ(13.5) ㅌ(10.4) ㅌ(8.3) ㅌ(8.3) ㅌ(45.8) ㅌ(19.8) ㅌ(17.7) ㅌ(13.5) ㅌ(5.2) ㅌ(5.2) ㅌ(53.1) ㅌ(17.7) ㅌ(13.5) ㅌ(5.2) ㅌ(3.1) ㅌ(3.1) ㅌ(61.5) ㅌ(17.7) ㅌ(10.4) ㅌ(7.3) ㅌ(93.8) U(1.0)</p> <p>ㅎ U(37.5) ㅎ(43.8) ㅌ(33.3) ㅌ(11.5) ㅌ(5.2) U(31.3) ㅌ(31.3) ㅌ(9.4) ㅌ(4.2) U(22.9) ㅌ(22.9) ㅌ(6.3) U(16.7) ㅌ(16.7) ㅌ(5.2) ㅌ(59.4) ㅌ(11.5) ㅌ(8.3) ㅌ(6.3) ㅌ(62.5) ㅌ(8.3) ㅌ(6.3) ㅌ(6.3) ㅎ(71.9) ㅌ(6.3) ㅌ(9.4) ㅌ(5.2) ㅎ(76.0) ㅌ(3.1) ㅌ(79.2) ㅌ(9.4) ㅌ(4.2) ㅌ(4.2) ㅎ(99.0) U(1.0)</p>									
<p>파찰음</p> <p>스 U(42.7) ㅌ(16.7) ㄷ(16.7) ㄷ(13.5) U(32.3) ㄷ(20.8) ㄷ(20.8) ㅌ(12.5) U(32.3) ㄱ(29.2) ㅌ(11.5) ㄷ(10.4) ㄱ(27.1) U(24.0) ㅌ(15.6) ㄷ(13.5) ㅌ(51.0) ㄱ(17.7) U(13.5) ㄷ(10.4) ㅌ(65.6) ㄱ(11.5) U(10.4) ㄷ(9.4) ㅌ(76.0) ㄱ(9.4) ㅌ(8.3) U(5.2) ㅌ(86.5) ㄱ(5.2) ㄱ(4.2) ㅌ(3.1) ㅌ(89.6) ㄱ(3.1) ㅌ(3.1) ㅌ(1.0)</p> <p>ㅍ U(36.5) ㅎ(11.5) ㄷ(10.4) ㅌ(7.3) ㄷ(5.2) U(34.4) ㄱ(17.7) ㅌ(17.7) ㅌ(7.3) ㅌ(5.2) U(37.5) ㅌ(22.9) ㅌ(19.8) ㅌ(19.8) ㅌ(3.1) U(35.4) ㅌ(26.0) ㅌ(19.8) ㅌ(19.8) ㄱ(3.1) ㅌ(38.5) ㅌ(19.8) U(17.7) ㅌ(17.7) ㅌ(4.2) ㅌ(69.8) ㅌ(19.8) ㄱ(7.3) ㅌ(5.2) ㅌ(4.2) ㅌ(81.3) ㅌ(8.3) ㅌ(4.2) ㅌ(2.1) ㅌ(2.1) ㅌ(88.5) ㅌ(6.3) U(2.1) ㅌ(2.1) ㅌ(1.0)</p> <p>ㅌ U(41.7) ㅎ(33.3) ㅌ(10.4) ㅌ(8.3) U(31.3) ㅌ(30.2) ㅌ(17.7) ㅌ(6.3) U(31.3) ㅌ(26.0) ㅌ(26.0) ㅌ(3.1) ㅎ(37.5) U(22.9) ㅌ(16.7) ㅌ(16.7) ㅌ(37.5) ㅌ(16.7) ㅌ(16.7) ㅌ(10.4) ㅌ(37.5) ㅌ(16.7) ㅌ(16.7) ㅌ(10.4) ㅌ(63.5) ㅌ(6.3) ㅌ(7.3) ㅌ(5.2) ㅌ(71.9) ㅌ(11.5) ㅌ(7.3) ㅌ(5.2) ㅌ(76.0) ㅌ(7.3) ㅌ(5.2) ㅌ(3.1) ㅌ(87.5) ㅌ(5.2) ㅌ(2.1) ㅌ(2.1) ㅌ(95.8) ㅌ(3.1) U(1.0)</p>											
<p>비음</p> <p>ㅁ ㄴ(26.0) ㄹ(25.0) U(24.0) ㅌ(13.5) ㄷ(11.5) ㄴ(39.6) ㅌ(31.3) U(24.0) U(12.5) ㅌ(57.3) ㄴ(25.0) ㄷ(10.4) U(7.3) ㅌ(60.4) ㄴ(28.1) ㄷ(10.4) ㄷ(2.1) ㅌ(67.7) ㄴ(27.1) U(4.2) ㄷ(1.0) ㅌ(77.1) ㄴ(16.7) U(1.0) ㄷ(2.1) ㅌ(87.5) ㄴ(11.5) U(1.0) ㅌ(1.0) ㅌ(83.3) ㄴ(15.6) U(1.0) ㅌ(1.0) ㅌ(83.3) ㄴ(15.6) U(1.0) ㅌ(1.0) ㅌ(86.5) ㄴ(12.5) U(1.0)</p> <p>ㅌ ㅌ(36.5) ㄴ(21.9) U(13.5) ㅌ(10.4) ㄷ(10.4) ㅌ(44.8) ㄴ(37.5) ㅌ(14.6) U(3.1) ㅌ(56.3) ㄴ(20.8) ㅌ(16.7) U(6.3) ㅌ(75.0) ㄴ(14.6) ㅌ(9.4) U(2.1) ㅌ(83.3) ㅌ(9.4) ㅌ(6.3) U(1.0) ㅌ(88.5) ㅌ(9.4) ㅌ(1.0) U(1.0) ㅌ(92.7) ㅌ(4.2) U(1.0) ㅌ(1.0) ㅌ(96.9) ㅌ(2.1) ㅌ(1.0) ㅌ(1.0) ㅌ(93.8) ㅌ(2.1) ㅌ(1.0) ㅌ(1.0) ㅌ(97.9) ㅌ(1.0) ㅌ(1.0) ㅌ(1.0)</p> <p>ㄴ ㄴ(30.9) ㄴ(21.2) U(16.7) ㄷ(13.5) ㄴ(42.7) ㅌ(29.2) U(17.7) ㄷ(10.4) ㄴ(43.8) ㅌ(40.6) U(8.3) ㄷ(7.3) ㄴ(62.5) ㅌ(24.0) U(8.3) ㄷ(4.2) ㄷ(1.0) ㄴ(82.3) ㅌ(7.3) U(6.3) ㄷ(4.2) ㅌ(85.4) ㅌ(11.5) ㅌ(2.1) ㄷ(1.0) ㅌ(86.5) ㅌ(10.4) ㄷ(2.1) U(1.0) ㅌ(87.5) ㅌ(9.4) ㄷ(2.1) U(1.0) ㅌ(94.8) ㅌ(5.2) ㅌ(1.0) ㅌ(1.0)</p> <p>ㄷ ㄴ(33.3) ㅌ(31.3) ㅌ(13.5) ㄷ(11.5) ㅌ(40.6) ㅌ(26.0) ㅌ(24.0) U(9.4) ㅌ(39.6) ㅌ(32.3) ㅌ(25.0) ㅌ(3.1) ㅌ(51.0) ㅌ(26.0) ㅌ(19.8) U(3.1) ㅌ(81.3) ㅌ(11.5) ㅌ(6.3) U(1.0) ㅌ(94.8) ㅌ(4.2) ㅌ(1.0) ㅌ(1.0) ㅌ(100.0) ㅌ(1.0) ㅌ(1.0) ㅌ(1.0)</p> <p>ㅇ ㅌ(32.3) ㄴ(27.1) ㄷ(14.6) ㅌ(11.5) ㅌ(42.7) ㄴ(28.1) ㅌ(20.8) U(7.3) ㅇ(79.2) ㅌ(7.3) ㅌ(6.3) ㅇ(87.5) ㅌ(5.2) U(4.2) ㅌ(3.1) ㅇ(90.6) ㅌ(6.3) U(2.1) ㅌ(1.0) ㅇ(93.8) ㅌ(3.1) ㅌ(3.1) ㅌ(3.1) ㅇ(95.8) ㅌ(2.1) ㅌ(1.0) ㄷ(1.0) ㅇ(94.8) ㅌ(9.4) ㅌ(2.1) ㅌ(1.0) ㅇ(95.8) ㅌ(3.1) ㅌ(1.0) ㄷ(1.0) ㅇ(99.0) ㅌ(1.0) ㅌ(1.0) ㅌ(1.0)</p>											
<p>유음</p> <p>ㄹ ㄹ(31.3) ㄴ(25.0) U(16.7) ㄷ(14.6) ㅌ(11.5) ㄹ(59.4) ㄴ(15.6) U(15.6) ㅌ(5.2) ㄹ(57.3) ㄴ(14.6) U(13.5) ㅌ(8.3) ㄹ(70.8) ㄴ(11.5) U(9.4) ㅌ(5.2) ㄹ(78.1) ㄴ(13.5) U(5.2) ㅌ(3.1) ㄹ(72.1) ㅌ(11.5) U(6.3) ㅌ(3.1) ㄹ(84.4) ㅌ(12.5) ㅌ(3.1) ㅌ(3.1) ㄹ(87.5) ㅌ(9.4) ㅌ(3.1) ㅌ(3.1) ㄹ(87.5) ㅌ(11.5) ㅌ(1.0) ㅌ(1.0) ㄹ(90.6) ㅌ(8.3) ㅌ(1.0) ㅌ(1.0)</p> <p>ㄹ ㄷ(51.0) U(18.8) ㄹ(13.5) ㄴ(5.2) ㅌ(4.2) ㄹ(52.1) ㄷ(15.6) U(15.6) ㄷ(9.4) ㄷ(9.4) ㄹ(81.3) ㄷ(9.4) ㄷ(9.4) ㄹ(92.7) U(4.2) ㄷ(3.1) ㄹ(99.0) U(1.0) ㄹ(100.0) ㄹ(100.0) ㄹ(100.0) ㄹ(100.0) ㄹ(100.0) ㄹ(100.0) ㄹ(100.0) ㄹ(100.0)</p>											

오류유형을 보면 /스/는 /ㄷ, ㄱ/로, /ㅍ/는 /스, ㅍ, ㅌ/로, /ㄷ/는 /스, ㅎ, ㅋ, ㅌ/로 인지되는 경향을 보인다. 필터 간 오류유형의 차이를 보면, HPF의 경우는 세 개의 파찰음의 오류가 동일조음장소 내에서 일어나는 반면 LPF의 경우에는 조음장소에서 양순을 제외하고 치경, 연구개 심지어는 성문 조음장소까지 오류를 보인다. 대신 발성유형은 동일하게 유지한다. 단, /ㅍ/와 /ㄷ/의 경우 조음장소는 같지만 발성유형이 다른 연음 /스/로 인식되기도 한다.

<표 8> LPF의 경우, 비음은 초성 양순비음은 2500 Hz, 초성 치경비음은 1500 Hz까지, 종성 양순비음은 1500 Hz, 종성 치경비음은 1500 Hz, 종성 연구개비음은 700 Hz까지 80% 이상의 인식률을 보이고, HPF 경우와 유사하게 LPF필터 왜곡 또한 초성보다는 종성이(양순음에서), 양순비음보다는 치경비음이(초성에서) 강함을 보인다. 오류유형을 보면 양순비음 /ㅁ/는 초성에서는 주로 /ㄴ(가끔 ㄹ)/로, 종성에서는 /ㄴ, ㅇ/로 인식되고, 치경비음 /ㄴ/는 주로 초성에서는 /ㅁ(가끔 ㄹ)/로, 종성에서는 /ㅇ, ㅁ/로 인식되며, 연구개비음 /ㅇ/는 종성에서 /ㅁ, ㄴ/로 인식되고 있어 HPF와 유사하게 음절 내 위치에 따라 다른 오류유형을 보일 뿐만 아니라 필터 간에도 다른 유형을 보인다.

<표 8> LPF의 경우, 유음 /ㄹ/는 초성 2000 Hz, 종성 700 Hz까지 80% 이상의 인식률을 보이고, HPF 경우와 유사하게 LPF필터 왜곡에서 또한 초성보다는 종성이 강함을 보인다. 오류유형을 보면 초성은 주로 /ㄴ, ㅁ/로 인식되고, 종성은 ‘확인불능’ 이거나 ‘탈락’이 대부분이다. 특히 종성에서는 1500 Hz까지 거의 100% 인식률을 보이고 음절 내 위치에 따라 확연히 다른 오류유형을 보일 뿐만 아니라 필터 간에도 다른 유형을 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 50대초 남녀 아나운서 각 1명이 발성한 무의미 단음절 음성을 대상으로 다양한 차단주파수의 저역 및 고역 통과필터를 통과한 음성을 이용하여 20대 피험자 6명의 청취실험을 통해 대역제한에 따른 각 필터별 자음 음소인식률을 비교하고 주파수 왜곡으로 인한 자음별 오류 유형 경향을 분석하였다.

특징적인 부분만을 정리하면 다음과 같다.

전반적으로 자음은 모음에 비해 고주파수대의 정보가 없는 경우에는 인식률이 급격히 떨어진다.

초성자음의 경우, 마찰음과 파찰음이 다른 조음방법의 자음들 보다 높은 인식률을 보이며 경파열음이 다른 유형의 파

열음에 비해 낮은 인식률을 보인다. 또한 고주파수대의 마찰소음으로 인하여 마찰음과 파찰음은 주파수 왜곡에 강하며, 조음장소별로 볼 때 파열음은 연구개음, 치경음, 양순음 순으로 주파수 왜곡에 강하다

종성자음의 경우, 비음과 유음이 넓은 주파수대의 정보가 필요한 파열음에 비해 인식률이 높다.

파열음의 경우, 유기파열음이 경음, 연음에 비해 비교적 높은 인식률을 보인다. 양순음의 경우 주파수의 제한에 따라 치경음으로 인지하여 조음 장소의 변화를 보이거나(예, /ㅁ/는 /ㄱ/로, /ㅃ/는 /ㄷ/로) 치경음과 연구개음은 발성유형의 변화(예, /ㄷ/는 /ㄷ/로, /ㄱ/는 /ㄱ/로)만을 보이는 것이 특징적이다. 종성 양순음 /ㅁ/는 연구개음 /ㄱ/로, 종성연구개음 /ㄱ/는 양순음 /ㅁ/로 인지오류유형을 보이며 이는 두 자음이 [+grave] 음운자질을 공유하고 있기 때문으로 판단된다.

마찰자음의 경우, /ㅍ/가 /ㅍ/에 비해 주파수 왜곡에 약하며 성문 마찰음 /ㅎ/는 주파수 왜곡에 특히 취약하다

비음의 경우는 초성보다 종성이, 양순 비음보다는 치경비음이 주파수 왜곡에 강하며 유음의 경우도 초성보다는 종성에서 주파수왜곡에 강함을 보인다.

향후 연구에서는 주파수 대역의 제한뿐만 아니라 음성의 전송과정에서 발생할 수 있는 보다 다양한 왜곡 요인을 고려하여 음성의 지각 특성에 미치는 영향을 살펴볼 예정이다. 본 논문에서 제시한 결과 및 분석표가 우리말의 지각 특성에 관한 기초 통계자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 연구 및 참고문헌[5][6]의 연구에 사용된 음성자료의 녹음에 직접 참여해 주신 KBS 아나운서실 한국어연구회의 여러 분들과 도움을 주신 김상준 님(전, KBS 한국어 연구회 회장, 한국음성학회 고문)께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Fletcher, H. (1953). *Speech and hearing in communication*. VAN Nostrand.
- [2] French, N.R. & Steinberg, J.C. (1947). Factors governing the intelligibility of speech sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 19, 90.
- [3] Kim, H., Chang, H., Jeon, H., & Shin, M. (2011). A study of phoneme perception in non-lexical syllables according to level of lowpass filtering. *Proceedings of the 2011 Spring*

Conference of the Korean Society of Speech Sciences, 145-148.
 (김효정, 장현진, 전희숙, 신명선 (2011). 저주파수 대역 필터링 수준에 따른 무의미음절 내 음소 지각 연구. 2011 한국음성학회 봄 학술대회 발표 논문집, 145-148.)

관심 분야: 음성학, 음운론, 음성공학
 현재 컴퓨터공학과 교수

[4] Johnson, K. (1997). *Acoustic and auditory phonetics*. Blackwell Publishers.

[5] Kim, Y., Choi, D., Lee, S., & Lee, Y. (2013). Perceptual characteristics of Korean vowels limited by the frequency band distortions. *Proceedings of the 2013 Fall Conference of the Korean Society of Speech Sciences*, 96-99.

(김연화, 최대림, 이숙향, 이용주 (2013). 주파수 대역 제한에 의한 한국어 모음의 지각 특성 분석. 2013 한국음성학회 가을 학술대회 발표 논문집, 96-99.)

[6] Kim, Y., Choi, D., Lee, S., & Lee, Y. (2013). Perceptual characteristics of Korean consonants limited by the frequency band distortions. *Proceedings of the 2013 Fall Conference of the Korean Society of Speech Sciences*, 147-150.

(김연화, 최대림, 이숙향, 이용주 (2013). 주파수 대역 제한에 의한 한국어 자음의 지각 특성 분석. 2013 한국음성학회 가을 학술대회 발표 논문집, 147-150.)

• **김연화 (Kim, Yeonwhoa)**

원광대학교 컴퓨터공학과
 익산시 신용동 344-2번지
 Tel: 063-850-6885 Fax: 063-850-6885
 Email: kimyw@wonkwang.ac.kr
 관심 분야: 음성학, 음운론, 음성공학
 현재 컴퓨터공학과 대학원생

• **최대림 (Choi, Daelim)**

원광대학교 음성정보기술산업지원센터
 익산시 신용동 344-2번지
 Tel: 063-850-6885
 Email: dlchoi@wku.ac.kr
 관심 분야: 음성인식, 음성공학
 현재 음성정보기술산업지원센터 책임연구원

• **이숙향 (Lee, Sook-hyang)**

원광대학교 영어영문학과
 익산시 신용동 344-2번지
 Tel: 063-850-6885
 Email: shlee@wku.ac.kr
 관심 분야: 음성학, 음운론
 현재 영어영문학과 교수

• **이용주 (Lee, Yongju)**

원광대학교 컴퓨터공학과
 익산시 신용동 344-2번지
 Tel: 063-850-6885 Fax: 063-850-6885
 Email: yjlee@wku.ac.kr