

주파수 대역 제한에 의한 한국어 모음의 지각 특성 분석

Perceptual Characteristics of Korean Vowels Distorted by the Frequency Band Limitation

김연화¹⁾ · 최대림²⁾ · 이숙향³⁾ · 이용주⁴⁾

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

ABSTRACT

This paper investigated the effects of frequency band limitation on perceptual characteristics of Korean vowels. 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 tests by types of filter and cutoff frequencies. We reported phoneme recognition rates and types of perception error of band-limited Korean vowels to examine how frequency distortion in the process of speech transmission affect listener's perception.

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 영향은 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 기초 자료로서도 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 하여 모음에 대한 분석 결과를 보고한다.

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(CV음절 144종, VC음절 56종, V음절 8종)을 대상으로 다음과 같은 특성의 필터를 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

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 2012년 원광대학교 교비 지원으로 수행된 연구임.

접수일자: 2014년 2월 8일

수정일자: 2014년 3월 13일

게재결정: 2014년 3월 21일

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 헤드폰 등 실험시스템 자체의 기본적인 주파수 특성도 당연히 포함되어 있으므로 여기서는 차단주파수에 따른 상대적인 변화경향을 중심으로 참고하여야 한다.

3. 결과 및 분석

3.1 발화자의 음성 특성

본 실험에 사용된 음성의 기본주파수는 남성은 평균 113 Hz, 여성은 206 Hz이며, 남녀 각 발화자에 따른 모음 포먼트 주파수의 분포는 <그림 1> 및 <그림 2>와 같다. /예/와 /에/는 남녀 화자 모두 거의 하나의 모음으로 병합되었음을 보이는 반면, /오/와 /우/는 아직까지는 별개의 음소로 유지되고 있음을 알 수 있다.

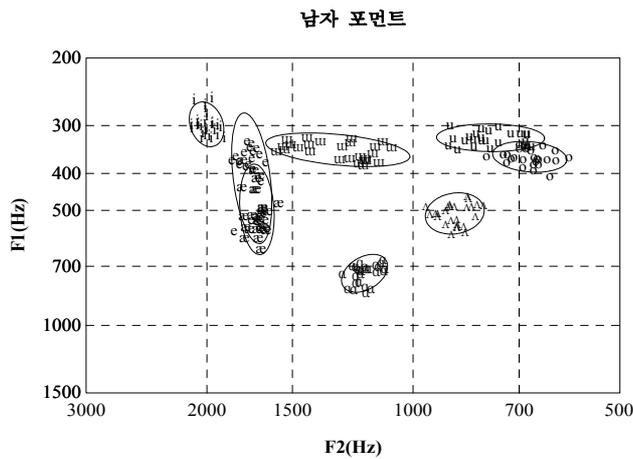


그림 1. 남성 발화자의 모음 포먼트 분포
Figure 1. Vowel formant distribution of a male speaker

3.2 전체 음소 인식률

필터의 종류 및 차단주파수에 따른 전체 음소 인식률은 <표 1>과 <그림 3>에서 제시하였다. 전반적으로 필터의 종류에 상관없이 초성자음보다 종성자음이 높은 인식률을 보인다. 또한 대역제한을 하지 않았을 경우는 여성의 목소리가 남성에 비해 인식률이 약간의 차이로 높았으나 대역 제한을 가할 경우에는 반대로 남성의 목소리가 전반적으로 인식률이 약간 더 높았다.

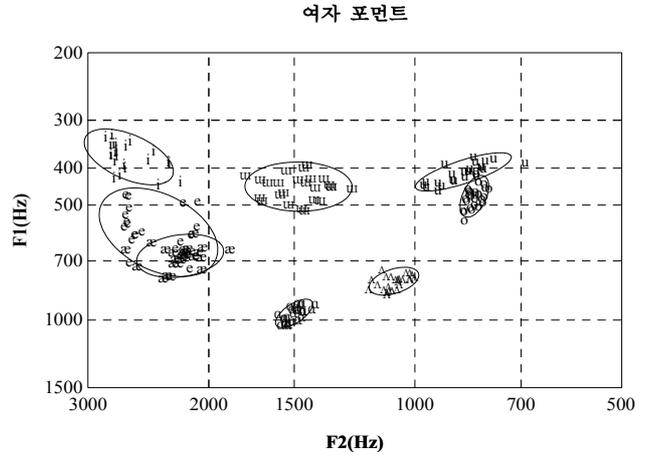


그림 2. 여성 발화자의 모음 포먼트 분포
Figure 2. Vowel formant distribution of a female speaker

표 1. 필터의 종류 및 차단주파수에 따른 음소 인식률(%)
Table 1. Phoneme recognition rates by types of filter and cut-off frequencies

| 차단주파수 | 0 | 300 | 500 | 700 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 5000 | ∞ |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| HPF | 평균 | 94.7 | 89.6 | 86.9 | 84.0 | 79.4 | 72.7 | 67.6 | 57.1 | 39.1 | 18.6 |
| | 모음 | 95.2 | 93.9 | 91.2 | 89.3 | 85.2 | 78.2 | 72.2 | 58.8 | 32.4 | 12.1 |
| | 초성자음 | 92.7 | 81.9 | 78.9 | 76.7 | 74.4 | 68.4 | 65.5 | 58.0 | 46.6 | 23.9 |
| | 종성자음 | 96.1 | 93.0 | 90.6 | 85.9 | 78.7 | 71.6 | 65.0 | 54.5 | 38.4 | 19.9 |
| LPF | 평균 | 18.2 | 32.2 | 44.2 | 57.3 | 72.8 | 81.9 | 86.7 | 88.6 | 90.4 | 94.7 |
| | 모음 | 12.5 | 27.0 | 43.4 | 58.0 | 78.3 | 87.6 | 92.9 | 92.9 | 94.1 | 95.2 |
| | 초성자음 | 13.9 | 27.7 | 32.6 | 41.8 | 57.5 | 68.3 | 74.4 | 77.9 | 81.3 | 92.7 |
| | 종성자음 | 28.1 | 41.8 | 56.5 | 72.0 | 82.7 | 89.9 | 92.9 | 95.1 | 95.8 | 96.1 |

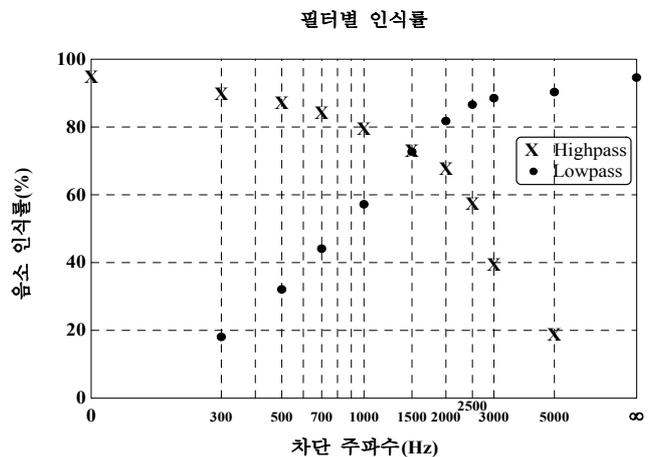


그림 3. 필터의 종류 및 차단주파수에 따른 전체 음소 인식률(%)
Figure 3. Total phoneme recognition rates by types of filter and cut-off frequencies

3.3 모음 인식률

전설/후설, 원순/평순에 따라 모음을 분류하고 각 필터별 인식률을 정리한 것이 <표 2>와 <표 3>이다. 필터를 통과하지 않은 원음을 먼저 살펴보면 /에, ऐ/를 제외하고는 대체적으로 95% 이상의 모음 인식률을 보인다.

표 2. HPF 모음 인식률(%)
Table 2. Vowel recognition rates in HPF

| 모음 | | 차단주파수 | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 300 | 500 | 700 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 5000 | | |
| 전설 | 이 | 평균 | 99.3 | 96.3 | 94.0 | 92.0 | 88.7 | 90.3 | 87.3 | 74.0 | 62.0 | 43.0 | |
| | | 남자 | 100.0 | 98.0 | 97.3 | 96.0 | 96.0 | 92.7 | 92.7 | 75.3 | 62.0 | 40.0 | |
| | | 여자 | 98.7 | 94.7 | 90.7 | 88.0 | 81.3 | 88.0 | 82.0 | 72.7 | 62.0 | 46.0 | |
| | 에 | 평균 | 27.0 | 17.0 | 17.7 | 19.0 | 20.0 | 22.0 | 21.0 | 16.0 | 12.3 | 0.0 | |
| | | | 47.7 | 53.3 | 52.0 | 53.3 | 51.7 | 51.0 | 43.0 | 41.3 | 20.7 | 0.7 | |
| | | 남자 | 22.7 | 17.3 | 14.7 | 14.7 | 18.7 | 20.0 | 15.3 | 10.7 | 3.3 | 0.0 | |
| | | | 40.7 | 40.7 | 42.0 | 46.7 | 47.3 | 48.0 | 42.7 | 36.0 | 23.3 | 0.7 | |
| | | 여자 | 31.3 | 16.7 | 20.7 | 23.3 | 21.3 | 24.0 | 26.7 | 21.3 | 21.3 | 0.0 | |
| | | | 54.7 | 66.0 | 62.0 | 60.0 | 56.0 | 54.0 | 43.3 | 46.7 | 18.0 | 0.7 | |
| | 애 | 평균 | 29.0 | 14.3 | 17.7 | 18.3 | 16.3 | 19.3 | 19.0 | 14.0 | 7.7 | 0.0 | |
| | | | 59.0 | 70.3 | 63.3 | 63.3 | 62.3 | 53.7 | 49.7 | 41.7 | 21.0 | 0.7 | |
| | | 남자 | 29.3 | 16.0 | 14.7 | 17.3 | 11.3 | 19.3 | 18.7 | 14.7 | 4.0 | 0.0 | |
| | | 54.0 | 66.0 | 64.0 | 58.7 | 64.0 | 54.0 | 52.0 | 42.7 | 22.7 | 0.0 | | |
| 여자 | | 28.7 | 12.7 | 20.7 | 19.3 | 21.3 | 19.3 | 19.3 | 13.3 | 11.3 | 0.0 | | |
| | | 64.0 | 74.7 | 62.7 | 68.0 | 60.7 | 53.3 | 47.3 | 40.7 | 19.3 | 1.3 | | |
| 후설 평순 | 으 | 평균 | 100.0 | 99.7 | 97.7 | 97.3 | 93.7 | 83.7 | 78.0 | 64.0 | 24.0 | 2.7 | |
| | | 남자 | 100.0 | 99.3 | 97.3 | 97.3 | 97.3 | 89.3 | 88.7 | 72.0 | 28.0 | 4.0 | |
| | | 여자 | 100.0 | 100.0 | 98.0 | 97.3 | 90.0 | 78.0 | 67.3 | 56.0 | 20.0 | 1.3 | |
| | 어 | 평균 | 96.3 | 99.0 | 98.7 | 98.0 | 97.3 | 90.3 | 78.0 | 68.3 | 35.3 | 9.0 | |
| | | 남자 | 96.0 | 99.3 | 97.3 | 97.3 | 96.0 | 87.3 | 82.7 | 70.0 | 40.0 | 9.3 | |
| | | 여자 | 96.7 | 98.7 | 100.0 | 98.7 | 98.7 | 93.3 | 73.3 | 66.7 | 30.7 | 8.7 | |
| | | 평균 | 98.7 | 99.3 | 99.7 | 98.3 | 98.7 | 97.3 | 89.7 | 65.0 | 31.0 | 0.3 | |
| | | 남자 | 98.0 | 100.0 | 99.3 | 97.3 | 98.7 | 97.3 | 85.3 | 64.7 | 27.3 | 0.7 | |
| | | 여자 | 99.3 | 98.7 | 100.0 | 99.3 | 98.7 | 97.3 | 94.0 | 65.3 | 34.7 | 0.0 | |
| | 후설 원순 | 우 | 평균 | 95.3 | 89.7 | 77.7 | 72.7 | 67.3 | 60.7 | 59.3 | 51.3 | 28.7 | 25.7 |
| | | | 남자 | 98.0 | 97.3 | 90.7 | 86.7 | 74.7 | 67.3 | 63.3 | 58.7 | 43.3 | 24.7 |
| | | | 여자 | 92.7 | 82.0 | 64.7 | 58.7 | 60.0 | 54.0 | 55.3 | 44.0 | 14.0 | 26.7 |
| 오 | | 평균 | 95.3 | 95.7 | 95.3 | 89.7 | 75.3 | 52.3 | 46.7 | 32.7 | 15.0 | 3.3 | |
| | | 남자 | 95.3 | 96.0 | 94.0 | 86.7 | 72.7 | 58.7 | 44.7 | 32.7 | 18.7 | 3.3 | |
| | | 여자 | 95.3 | 95.3 | 96.7 | 92.7 | 78.0 | 46.0 | 48.7 | 32.7 | 11.3 | 3.3 | |

(* /에, ऐ/의 경우 상단은 /예/로, 하단은 /애/로 인식한 것임)

이미 젊은 세대에서는 산출 및 지각에서 하나의 모음으로 병합되고 있다[4][5]고 보고된 /에, ऐ/는 낮은 인식률일 것으로 예

표 3. LPF 모음 인식률(%)
Table 3. Vowel recognition rates in LPF

| 모음 | | 차단주파수 | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| | | 300 | 500 | 700 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 5000 | ∞ | | |
| 전설 | 이 | 평균 | 26.7 | 18.7 | 13.3 | 22.0 | 59.3 | 84.0 | 92.7 | 94.0 | 93.7 | 99.3 | |
| | | 남자 | 16.7 | 23.3 | 14.7 | 24.0 | 68.0 | 94.7 | 95.3 | 96.7 | 96.0 | 100.0 | |
| | | 여자 | 36.7 | 14.0 | 12.0 | 20.0 | 50.7 | 73.3 | 90.0 | 91.3 | 91.3 | 98.7 | |
| | 에 | 평균 | 0.3 | 6.7 | 7.3 | 10.0 | 12.3 | 13.7 | 16.0 | 16.3 | 17.7 | 27.0 | |
| | | | 1.7 | 13.7 | 15.0 | 15.7 | 41.3 | 55.7 | 58.0 | 57.3 | 54.7 | 47.7 | |
| | | 남자 | 0.7 | 7.3 | 8.7 | 8.0 | 11.3 | 12.7 | 14.7 | 13.3 | 15.3 | 22.7 | |
| | | | 2.7 | 12.7 | 6.7 | 10.7 | 34.7 | 47.3 | 52.0 | 44.7 | 42.7 | 40.7 | |
| | | 여자 | 0.0 | 6.0 | 6.0 | 12.0 | 13.3 | 14.7 | 17.3 | 19.3 | 20.0 | 31.3 | |
| | | | 0.7 | 14.7 | 23.3 | 20.7 | 48.0 | 64.0 | 66.7 | 70.0 | 66.7 | 54.7 | |
| | 애 | 평균 | 1.3 | 4.7 | 6.0 | 7.7 | 12.3 | 14.3 | 12.3 | 12.7 | 17.0 | 29.0 | |
| | | | 1.0 | 25.0 | 22.0 | 18.7 | 51.3 | 62.3 | 74.0 | 73.0 | 67.7 | 59.0 | |
| | | 남자 | 2.7 | 4.0 | 5.3 | 4.7 | 11.3 | 13.3 | 11.3 | 9.3 | 14.0 | 29.3 | |
| | | 2.0 | 38.7 | 19.3 | 13.3 | 48.7 | 63.3 | 75.3 | 72.0 | 66.7 | 54.0 | | |
| 여자 | | 0.0 | 5.3 | 6.7 | 10.7 | 13.3 | 15.3 | 14.0 | 16.0 | 20.0 | 28.7 | | |
| | | 0.0 | 11.3 | 24.7 | 24.0 | 54.0 | 61.3 | 75.3 | 74.0 | 68.7 | 64.0 | | |
| 후설 평순 | 으 | 평균 | 40.0 | 51.0 | 40.3 | 68.7 | 95.3 | 98.0 | 98.3 | 98.0 | 99.3 | 100.0 | |
| | | 남자 | 58.0 | 69.3 | 58.7 | 92.7 | 98.7 | 98.7 | 98.7 | 98.7 | 100.0 | 100.0 | |
| | | 여자 | 22.0 | 32.7 | 22.0 | 44.7 | 92.0 | 97.3 | 98.0 | 97.3 | 98.7 | 100.0 | |
| | 어 | 평균 | 4.7 | 22.0 | 69.7 | 81.3 | 93.0 | 93.3 | 98.3 | 98.0 | 100.0 | 96.3 | |
| | | 남자 | 6.0 | 16.0 | 83.3 | 88.7 | 94.0 | 94.0 | 99.3 | 96.0 | 100.0 | 96.0 | |
| | | 여자 | 3.3 | 28.0 | 56.0 | 74.0 | 92.0 | 92.7 | 98.7 | 100.0 | 100.0 | 96.7 | |
| | | 평균 | 0.3 | 25.7 | 49.3 | 83.7 | 95.7 | 99.0 | 99.3 | 99.7 | 100.0 | 98.7 | |
| | | 남자 | 0.7 | 32.7 | 71.3 | 87.3 | 96.7 | 98.7 | 99.3 | 100.0 | 100.0 | 98.0 | |
| | | 여자 | 0.0 | 18.7 | 27.3 | 80.0 | 94.7 | 99.3 | 99.3 | 99.3 | 100.0 | 99.3 | |
| | 후설 원순 | 우 | 평균 | 12.3 | 10.3 | 41.0 | 49.7 | 62.3 | 75.0 | 86.3 | 84.3 | 91.0 | 95.3 |
| | | | 남자 | 13.3 | 15.3 | 54.7 | 58.0 | 70.0 | 86.7 | 88.7 | 89.3 | 96.0 | 98.0 |
| | | | 여자 | 11.3 | 5.3 | 27.3 | 41.3 | 54.7 | 63.3 | 79.3 | 79.3 | 86.0 | 92.7 |
| 오 | | 평균 | 1.7 | 36.7 | 64.7 | 75.0 | 84.0 | 90.7 | 95.0 | 96.3 | 96.3 | 95.3 | |
| | | 남자 | 3.3 | 36.0 | 76.7 | 84.7 | 90.0 | 92.0 | 95.3 | 96.7 | 95.3 | 95.3 | |
| | | 여자 | 0.0 | 37.3 | 52.7 | 65.3 | 78.0 | 89.3 | 94.0 | 96.0 | 97.3 | 95.3 | |

(* /에, ऐ/의 경우 상단은 /예/로, 하단은 /애/로 인식한 것임)

상해볼 수 있다. 그렇지만 두 모음의 인식률을 합하였을 경우에는 적어도 원음에서는 다른 여타 모음과 유사한 인식률, 즉 95% 이상의 인식률을 기대해볼 수 있는데 실재는 예상과 다르게 나타났다. /에/의 경우, /예/ 27%, /애/ 47.7%로 인식하여 합 74.7%, /애/의 경우는 /애/ 59%, /예/ 29%로 합 88%의 인식률을 보인다. 이를 성별로 나눠보면 남자화자의 /에/는 /예/ 22.7%, /애/ 40.7%로 합 63.4%, 여자화자의 /에/는 /예/ 31.3%, /애/ 54.7%로 합 86%, 남자화자의 /애/는 /애/ 54.0%, /예/ 29.3%로

합 83.3%, 여자화자의 /에/는 /애/ 64.0%, /예/ 28.7%로 합 92.7%의 인식률로 남녀 간에 인식률 차이를 보인다. 이미 병합된 모음임을 고려하여서 두 모음 인식률의 합을 보더라도 /예/가 /애/에 비해 낮은 인식률을 보이며 /예/든 /애/든 모두 /애/로 인식하는 비율이 높다. 여자화자의 /예/와 /애/ 그리고 남자화자의 /애/는 95% 이상은 아니지만 적어도 80% 이상의 인식률을 보이거나 남자화자의 /예/는 63.4%에 그치고 있다.

젊은 세대들에게는 하나의 모음으로 병합되고 있는 /예, 애/ 외에 최근 몇몇 연구에서 병합이 진행되고 있는 것으로 보고된 /오, 우/는 각각 95.3%(/우/: 남 98%, 여 92.7%, /오/: 남 95.3%, 여 95.3%)의 인식률을 보이고 있어 독립적인 두 개의 모음으로 존재하고 있음을 알 수 있고 <그림 1>과 <그림 2>의 모음 포먼트 주파수 분포에서 두 모음의 포먼트 주파수가 거의 중첩 없이 각각의 영역을 차지하고 있음에서 별개의 두 모음으로 존재하고 있음을 확인할 수 있다. 본 연구의 화자들은 50대 초반으로 음성산출에서 별개의 음소이고 청자들은 20대로 청지각에서 별개의 음소로 인지한다. 젊은 세대에서는 음성 산출면에서는 두 모음의 대립약화가 보고[6]되고 청지각에서는 변별이 되고 있다는 결과[7]가 본 연구의 결과를 뒷받침해주고 있다.

차단주파수에 따른 필터별 인식률 80%를 기준으로 보면, <표 2> HPF에서 /이, 으, 어, 아/는 1500 Hz, 2000 Hz 이상의 주파수 정보만으로 충분한 반면, /우, 오/는 상대적으로 훨씬 낮은 주파수의 정보들까지 필요로 하고 있음을 보인다. 이로 미루어볼 때, /이/는 적어도 F2를, /오, 우/는 F1 F2 모두를 필요로 하고 있음을 알 수 있다. 그러나 F1, F2값이 대략 1500 Hz 이하에 있는 /아, 어, 으/는 이들 정보가 없는데도 여전히 높은 인식률을 보인다는 것은 F1, F2 외에 이들 모음 인식에 다른 정보들이 사용되고 있다고 볼 수 있다.

차단주파수에 따른 필터별 인식률 80%를 기준으로 보면, <표 3> LPF에서 /이/는 2000 Hz LPF까지는 80% 이상의 높은 인식률을 보이다가 1500 Hz LPF에서 59.3%로 급락하고 있는데 이는 위의 HPF 결과와 함께 /이/의 인식에 F1보다는 F2가 보다 중요한 역할을 하고 있다고 판단된다.

3.4 모음 오류 유형 분석

남녀 화자에 따른 모음별 인식 오류 유형은 <표 4>와 <표 5>에 제시되어 있다. 필터별로 주파수 정보에 따른 왜곡의 영향을 살펴보기 전에 원음의 모음 인식률을 보면 음절유형 간에 차이를 보인다. 대체적으로 VC에서의 모음 인식률이 CV에서보다 높게 나타난다. 남자 /애/와 여자/우/의 경우를 제외하고는 같거나 VC에서 보다 높은 인식률을 보인다. 이런 경향은 /예, 어, 오/에서 뚜렷하게 나타난다.

<표 4> HPF 주파수 왜곡으로 인한 인식률의 경향을 전반적으로 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 필터왜곡이 있어도 원음에서와 같이 일반적으로 VC 모음의 인식률이 CV에서보다 높게 나

타난다. 둘째, 지각 오류유형이 음절유형(CV, VC)에 따라 남녀 발화별로 차이를 보인다. 예를 들면, 남자화자의 /이/는 CV에서 /의, 위, 애/로, VC에서는 /어/로, 여자화자의 /이/는 CV에서 /위/로, VC에서는 /아, 어, 우/로의 인식되는 오류유형을 보인다. 셋째, /예, 애/를 제외하고 필터왜곡이 아주 심한 경우를 제외하면 각 모음 자체의 인식률이 가장 높게 나타난다. 왜곡이 아주 심한 경우는 ‘확인불능’ 비율이 가장 높게 나오는 경우가 더러 관찰되지만 다른 모음으로 인식하는 비율이 가장 높은 경우는 드물다. 넷째, 인식률 80%를 경계로 음절유형 간 모음 인식률을 살펴보면 적어도 10% 이상의 차이를 보인다.(여자 CV /이/: 2000 Hz 81.5%, 2500 Hz 73.1% 제외)

HPF필터 왜곡이 각개 모음에 끼치는 영향을 살펴보면, /예/와 /애/는 대단히 흥미로운 양상을 보인다. 우선 앞에서 논한 /이/의 경우, 아무리 필터왜곡이 심해도 인지 제 1순위는 /이/이고 그 다음 다른 모음으로 인지한다. 그런데 /예/는 CV 남자화자에서 /예/로 제대로 인정한 경우가 원음에서조차 매우 드물고 (애 31.5%, 외 17.6%, 예 17.6%), 필터왜곡이 주어진 경우에는 주로 /애/로, 그 다음은 /외/로 인지한다(500 Hz 애 33.3%, 외 30.6%). 그리고 여자화자에서는 주로 /애/로 그 다음은 /예/로 인지하고 있다(300 Hz 애 61.1%, 예 14.8%). 남녀화자 모두 /예/를 /애/로 인지하는 비율이 가장 높으나 그 다음 순서로 남자화자의 경우 /외/가 차지하고 /예/로 인지되는 비율은 대단히 낮아 두 화자 간에 차이를 보이며 이는 남녀 두 화자의 /예/의 산출이 다를 수 있음을 간접적으로 보여준다. 더욱 흥미로운 것은 VC음절에서의 /예/는 CV에서와 달리 남녀화자 모두 300 Hz, 500 Hz, 700 Hz에서 /예/와 /애/ 두 모음 합 100% 인식률을 보인다는 것이다. 예를 들어 500 Hz에서 남녀화자 모두 /애/ 64.3%, /예/ 35.7%로 합 100% 인식률을 보이는 경우이다. 왜곡이 좀 더 심해져도 이와 유사한 경향을 보이며 두 모음 합 인식률이 상당히 높게 나타난다. 이에 대한 이유로는 VC에서와 CV에서의 모음 자체의 산출이 달라서 또는 자음의 음절 내 위치에 따라 인접모음에 끼치는 자음의 영향이 달라서라는 가능성을 생각해볼 수 있다. 원음에서조차 낮은 인식률을 보인 /예/ (남자 CV 17.6%, 여자 30.6%; VC 남자 35.7%, 여자 33.3%)는 /예/와 /애/의 병합이 가장 큰 원인일 수 있으나 그것만으로는 설명이 어려운 경우가 있다. 남자화자의 경우 원음에서도 CV /애/가 /애/ 31.5%, /예/ 17.6%로 합 49.1%를 보이고 가장 필터 왜곡이 적은 300 Hz에서도 CV /애/가 /애/ 31.5%, /외/ 30.6%, /오/ 17.6%의 인식률로 두 모음 합 인식률이 매우 낮다. /애/는 /예/와 다소 다른 양상을 보이고 있지만 여전히 남자화자에서 두 모음 합 인식률이 낮다는 점에서는 유사하다. 원음 /애/는 남자화자 CV에서 /애/ 63%, /예/ 28.7%로 합 91.7%, 여자화자 CV에서 /애/ 61.1%, /예/ 29.6%로 합 90.7%로 두 모음 합 인식률이 높다. 반면 남자화자 VC에서 /애/ 31%, /예/ 31%로 합 62%, 여자화자 VC에서 /애/ 71.4%, /예/ 26.2%로 합 100% 인식률을

표 5. LPF에서 모음 인지오류 유형
Table 5. Recognition error types of vowels in LPF

(* 괄호 안은 인식률, U: 확인불능)

| 차단주파수 | | 300 | | 500 | | 700 | | 1000 | | 1500 | | 2000 | | 2500 | | 3000 | | 5000 | | ∞ | | |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 남자 | 여자 | 남자 | 여자 | 남자 | 여자 | 남자 | 여자 | 남자 | 여자 | 남자 | 여자 | 남자 | 여자 | 남자 | 여자 | 남자 | 여자 | 남자 | 여자 | |
| 전설 | 이 | cv | 오(50.9) | 이(39.8) | 으(44.4) | U(33.3) | 우(35.2) | U(32.4) | 으(57.4) | 오(29.6) | 이(68.5) | 이(50.0) | 이(92.6) | 이(72.2) | 이(93.5) | 이(86.1) | 이(95.4) | 이(88.0) | 이(94.4) | 이(88.0) | 이(100.0) | 이(98.1) |
| | | | U(22.2) | U(27.8) | 이(25.0) | 오(26.9) | 오(33.3) | 오(27.8) | 이(20.4) | U(28.2) | 오(21.3) | 오(27.8) | U(4.6) | U(17.6) | 위(2.8) | U(7.4) | 위(2.8) | 위(9.3) | 위(4.6) | 위(11.1) | 위(0.9) | 오(0.9) |
| | | 우(16.7) | 우(20.4) | 우(18.5) | 우(18.5) | U(19.4) | 우(25.0) | 이(22.2) | U(10.2) | U(21.3) | 위(1.9) | 위(1.9) | 위(1.9) | 위(6.5) | U(1.9) | U(2.8) | 위(0.9) | 위(0.9) | 위(0.9) | 위(0.9) | U(0.9) | |
| | | 우(16.7) | 이(28.6) | 이(19.0) | 오(31.0) | 이(23.8) | 오(14.3) | 우(11.9) | 이(14.3) | 우(19.0) | 오(21.4) | 오(42.9) | 이(100.0) | 이(76.2) | 이(100.0) |
| | 에 | cv | 오(62.0) | U(38.9) | 으(46.3) | U(34.3) | 오(36.1) | U(36.1) | 으(48.1) | U(38.9) | 오(38.0) | 에(48.1) | 에(41.7) | 에(66.7) | 에(45.4) | 에(70.4) | 에(39.8) | 에(72.2) | 에(38.0) | 에(70.4) | 에(31.5) | 에(50.0) |
| | | | U(26.9) | 이(31.5) | U(31.5) | 오(16.7) | 오(28.7) | 에(25.0) | U(25.0) | 에(21.3) | 에(25.0) | 에(21.3) | 에(20.4) | 위(13.9) | 위(20.4) | 에(10.2) | 위(30.6) | 에(13.0) | 위(30.6) | 에(11.1) | 에(11.1) | 에(11.1) |
| | | 우(4.6) | 으(14.8) | 에(7.4) | 에(15.7) | U(28.7) | 위(11.1) | 오(11.1) | 어(13.0) | U(16.7) | 위(11.1) | U(15.7) | U(12.0) | 오(18.5) | 위(7.4) | 오(12.0) | 위(8.3) | 오(18.5) | 위(6.5) | 위(17.6) | 에(11.1) | |
| | | 이(19.0) | 이(26.2) | 에(26.2) | 에(13.0) | 어(23.8) | 에(19.0) | 에(19.0) | 에(33.0) | 에(35.7) | 에(33.9) | 에(38.1) | 에(40.5) | 에(57.1) | 에(40.5) | 에(57.1) | 에(40.5) | 에(64.3) | 에(54.8) | 에(57.1) | 에(64.3) | 에(66.7) |
| | 애 | cv | 오(53.7) | U(36.1) | 에(50.0) | U(50.0) | U(30.6) | U(34.3) | 어(48.1) | U(32.4) | 에(57.4) | 에(58.3) | 에(78.7) | 에(64.8) | 에(88.0) | 에(81.5) | 에(85.2) | 에(78.7) | 에(76.9) | 에(74.1) | 에(63.0) | 에(61.1) |
| | | | U(30.6) | 이(35.2) | U(23.1) | 오(13.9) | 어(24.1) | 에(25.9) | U(27.8) | 에(26.9) | 위(13.9) | U(17.6) | 에(8.3) | 위(18.5) | 위(6.5) | 위(10.2) | 위(7.4) | 위(10.2) | 에(11.1) | 에(10.2) | 에(28.7) | 에(29.6) |
| | | 어(7.4) | 어(19.4) | 어(17.6) | 어(17.6) | 어(21.3) | 어(14.8) | 어(12.0) | 어(25.9) | U(11.1) | U(14.8) | 위(4.6) | U(10.2) | 에(3.7) | 에(4.6) | 에(5.6) | 에(7.4) | 에(6.5) | 위(8.3) | 에(4.6) | 에(3.7) | |
| | | 이(19.0) | 우(21.4) | 에(26.2) | 에(14.3) | 에(23.8) | 에(19.0) | 에(28.6) | 에(19.0) | 에(33.0) | 에(33.9) | 에(38.1) | 에(40.5) | 에(57.1) | 에(40.5) | 에(57.1) | 에(40.5) | 에(64.3) | 에(54.8) | 에(57.1) | 에(64.3) | 에(66.7) |
| 우 | cv | 오(57.1) | 오(35.7) | 어(42.9) | 어(35.7) | 에(31.0) | 어(50.0) | 어(38.1) | 어(45.2) | 에(59.5) | 에(47.6) | 에(61.9) | 에(57.1) | 에(59.5) | 에(57.1) | 에(57.1) | 에(64.3) | 에(54.8) | 에(57.1) | 에(64.3) | 에(66.7) | |
| | | 이(19.0) | 이(26.2) | 에(26.2) | 오(21.4) | 어(28.6) | 에(19.0) | 에(31.0) | 에(33.0) | 에(35.7) | 에(33.9) | 에(38.1) | 에(40.5) | 에(40.5) | 에(57.1) | 에(40.5) | 에(64.3) | 에(54.8) | 에(57.1) | 에(64.3) | 에(66.7) | |
| | 우(7.1) | 우(21.4) | 에(26.2) | 에(14.3) | 에(23.8) | 에(19.0) | 에(28.6) | 에(19.0) | 에(33.0) | 에(33.9) | 에(38.1) | 에(40.5) | 에(57.1) | 에(40.5) | 에(57.1) | 에(40.5) | 에(64.3) | 에(54.8) | 에(57.1) | 에(66.7) | | |
| | 오(57.1) | 오(33.3) | 오(54.8) | 오(45.2) | 오(54.8) | 어(45.2) | 오(35.7) | 어(35.7) | 오(28.6) | 에(42.9) | 오(31.0) | 에(52.4) | 에(33.3) | 에(59.5) | 에(38.1) | 에(61.9) | 에(40.5) | 에(54.8) | 에(31.0) | 에(71.4) | | |
| 후설 | 오 | cv | 오(52.8) | 이(38.0) | 오(66.7) | U(34.3) | 오(52.8) | U(36.1) | 오(91.7) | 오(40.7) | 오(99.1) | 오(90.7) | 오(98.1) | 오(96.3) | 오(97.2) | 오(99.1) | 오(97.2) | 오(99.1) | 오(100.0) | 오(100.0) | 오(100.0) | 오(100.0) |
| | | | U(21.3) | U(28.7) | U(17.6) | 오(25.0) | U(19.4) | 오(33.3) | U(4.6) | U(31.5) | 오(99.1) | 오(90.7) | 오(90.7) | 오(98.1) | 오(98.1) | 오(99.1) | 오(99.1) | 오(97.2) | 오(99.1) | 오(100.0) | 오(100.0) | |
| | | 우(15.7) | 오(17.6) | 오(7.4) | 오(23.1) | 우(17.6) | 오(13.0) | 우(2.8) | 오(12.0) | 오(9.9) | 오(9.3) | 오(9.9) |
| | | 이(9.5) | 우(31.0) | 오(16.7) | 오(19.0) | 에(14.3) | 에(21.4) | 오(14.3) | 에(16.7) | 에(21.4) | 에(19.0) | 에(23.8) | 오(9.5) | 에(23.8) | 에(31.0) | 에(24.1) | 에(19.0) | 에(19.0) | 에(19.0) | 에(19.0) | 에(19.0) | 에(19.0) |
| | 어 | cv | 오(71.4) | 이(33.3) | 오(76.2) | 오(57.1) | 오(73.8) | 오(45.2) | 오(95.2) | 오(54.8) | 오(97.6) | 오(95.2) | 오(100.0) | 오(100.0) | 오(100.0) | 오(100.0) | 오(97.6) | 오(97.6) | 오(100.0) | 오(97.6) | 오(100.0) | 오(100.0) |
| | | | 이(9.5) | 오(33.3) | 오(16.7) | 오(31.0) | 오(14.3) | 오(42.9) | 오(2.4) | 오(28.6) | 오(2.4) | 우(4.8) | 오(100.0) | 오(100.0) | 오(100.0) | 오(100.0) | 오(97.6) | 오(97.6) | 오(100.0) | 오(97.6) | 오(100.0) | 오(100.0) |
| | | 우(7.1) | 우(26.2) | U(4.8) | 우(7.1) | 우(4.8) | U(7.1) | 어(4.8) | 우(19.0) | 우(19.0) | 우(4.8) | 어(91.7) | |
| | | 이(47.2) | U(42.6) | 에(46.3) | U(38.0) | 어(81.5) | 어(47.2) | 어(84.3) | 어(71.3) | 어(92.6) | 어(89.8) | 어(91.7) |
| | 아 | cv | 오(52.4) | 이(35.7) | 어(40.5) | 어(59.5) | 어(88.1) | 어(78.6) | 어(100.0) | 어(81.0) | 어(97.6) | 어(97.6) | 어(100.0) | 어(95.2) | 어(100.0) |
| | | | 이(19.0) | 우(26.2) | 에(26.2) | 오(16.7) | 에(7.1) | 어(9.5) | 어(100.0) | 어(11.9) | 어(11.9) | 어(2.4) | 어(100.0) | 어(95.2) | 어(100.0) |
| | | 우(14.3) | 오(19.0) | 에(21.4) | 에(9.5) | 에(4.8) | U(9.5) | 에(4.8) | 에(4.8) | 에(4.8) | 에(4.8) | 어(100.0) | 어(95.2) | 어(100.0) | |
| | | 오(40.7) | U(41.7) | U(30.6) | U(45.4) | 어(61.1) | 어(36.1) | 어(83.3) | 어(72.2) | 어(95.4) | 어(92.6) | 어(98.1) | 어(99.1) | 어(99.1) | 어(99.1) | 어(100.0) | 어(99.1) | 어(100.0) | 어(100.0) | 어(97.2) | 어(99.1) | |
| 우 | cv | 오(47.6) | 이(40.5) | 어(45.2) | 어(23.8) | 어(97.6) | 어(47.6) | 어(97.6) | 어(100.0) | |
| | | 이(19.0) | 오(21.4) | 어(42.9) | U(19.0) | 어(2.4) | 어(47.6) | 어(47.6) | 어(2.4) | 어(100.0) | | |
| | 우(16.7) | 우(21.4) | U(4.8) | 오(4.8) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | 어(16.7) | | |
| | 오(58.3) | 이(40.7) | 오(54.6) | U(33.3) | 우(63.0) | 우(32.4) | 우(61.1) | 우(38.0) | 우(71.3) | 우(48.1) | 우(86.1) | 우(60.2) | 우(92.6) | 우(75.0) | 우(88.0) | 우(76.9) | 우(96.3) | 우(86.1) | 우(97.2) | 우(93.5) | | |
| 후설 | cv | 오(58.3) | 이(40.7) | 오(54.6) | U(33.3) | 우(63.0) | 우(32.4) | 우(61.1) | 우(38.0) | 우(71.3) | 우(48.1) | 우(60.2) | 우(92.6) | 우(75.0) | 우(88.0) | 우(76.9) | 우(96.3) | 우(86.1) | 우(97.2) | 우(93.5) | | |
| | | U(25.0) | U(35.2) | 오(19.4) | 오(29.6) | 오(12.0) | 오(30.6) | 오(11.1) | 오(27.8) | 오(11.1) | 오(21.3) | 오(5.6) | 오(14.8) | 오(3.7) | 오(5.6) | 오(15.7) | 오(2.8) | 오(6.5) | 오(1.9) | 오(2.8) | | |
| | 이(12.0) | 오(17.6) | 오(14.8) | 오(23.1) | U(12.0) | U(26.9) | U(11.1) | U(15.7) | U(8.3) | U(12.0) | U(13.9) | 오(2.8) | U(13.9) | 우(5.6) | 오(4.6) | 우(0.9) | 오(2.8) | 오(0.9) | 오(1.9) | | | |
| | 이(14.3) | 우(28.6) | U(14.3) | 오(11.9) | U(7.1) | 우(9.5) | 우(19.0) | 오(9.5) | 오(19.0) | 우(66.7) | 우(71.4) | 우(88.1) | 우(71.4) | 우(95.2) | 우(90.5) | 우(92.9) | 우(85.7) | 우(95.2) | 우(85.7) | 우(100.0) | | |
| 오 | cv | 오(61.9) | 이(35.7) | 오(64.3) | 오(52.4) | 오(38.1) | 오(45.2) | 우(50.0) | 우(50.0) | 우(66.7) | 우(71.4) | 우(88.1) | 우(71.4) | 우(95.2) | 우(90.5) | 우(92.9) | 우(85.7) | 우(95.2) | 우(85.7) | 우(100.0) | 우(90.5) | |
| | | 우(16.7) | 오(28.6) | U(14.3) | 오(31.0) | 우(33.3) | 오(33.3) | 위(31.0) | 오(31.0) | 오(23.8) | 오(21.4) | 오(11.9) | 오(23.8) | 이(2.4) | 오(9.5) | 오(4.8) | 오(14.3) | 오(4.8) | 오(14.3) | 오(100.0) | 오(90.5) | |
| | 이(14.3) | 우(28.6) | U(14.3) | 오(11.9) | U(7.1) | 우(9.5) | 우(19.0) | 오(9.5) | 오(19.0) | 오(7.1) | 오(7.1) | 오(7.1) | 오(2.4) | | |
| | 오(65.7) | U(43.5) | 오(37.0) | 오(30.6) | 오(78.7) | 오(50.9) | 오(85.2) | 오(60.2) | 오(88.9) | 오(73.1) | 오(89.8) | 오(85.2) | 오(94.4) | 오(91.7) | 오(95.4) | 오(94.4) | 오(94.4) | 오(96.3) | 오(93.5) | 오(93.5) | | |
| 우 | cv | 오(65.7) | U(43.5) | 오(37.0) | 오(30.6) | 오(78.7) | 오(50.9) | 오(85.2) | 오(60.2) | 오(88.9) | 오(73.1) | 오(89.8) | 오(85.2) | 오(94.4) | 오(91.7) | 오(95.4) | 오(94.4) | 오(96.3) | 오(93.5) | 오(93.5) | | |
| | | U(19.4) | 이(33.3) | 오(35.2) | U(27.8) | 요(10.2) | 어(25.9) | 요(7.4) | 어(15.7) | 요(8.3) | 요(11.1) | 요(6.5) | 요(8.3) | 우(2.8) | 요(3.7) | 우(1.9) | 어(1.9) | 우(4.6) | U(1.9) | 요(5.6) | | |
| | 우(10.2) | 오(15.7) | U(13.9) | 오(12.0) | U(8.3) | U(14.8) | U(5.6) | U(14.8) | U(2.8) | U(11.1) | 우(1.9) | U(4.6) | 요(1.9) | U(2.8) | 요(1.9) | 요(1.9) | 요(0.9) | 요(0.9) | 요(0.9) | | | |
| | 오(85.7) | 오(42.9) | 오(50.0) | 오(54.8) | 오(71.4) | 오(57.1) | 오(83.3) | 오(78.6) | 오(92.9) | 오(90.5) | 오(97.6) | 오(100.0) | 오(100.0) | 오(100.0) | 오(100.0) | 오(100.0) | 오(97.6) | 오(100.0) | 오(100.0) | | | |

보여 남자 VC /에/가 보다 낮은 인식률을 보인다. 300 Hz 왜곡에서도 원음과 유사한 경향을 보인다. 즉, 남자화자 CV /에/와 VC /에/가 /에, 에/ 두 모음의 인식률을 합해도 상당히 낮은 인식률을 보이는데 이 두 모음 각각의 낮은 인식률이 단지 두 모음의 병합만이 원인이 아닐 수 있음을 보여준다.

필터왜곡에 비교적 강한 결과를 보여준 /으, 아, 어/는 왜곡이 심해지면서 /으/는 대체로 /우/로, /아/는 /어, 이/로, /어/는 /여, 오, 이, 위/로 인지하는 경향을 보인다. 이 중에서도 /아/는 남녀화자 모두 2000 Hz까지도 거의 90% 이상의 인식률을 보이다 2500 Hz에서 60%대로 급격히 떨어진다.

/우/는 주로 /오/로 인지 혼동이 발생하며 남자화자의 경우 /으/로 인식하는 경우도 가끔 보인다. /오/는 CV에서 남자화자 /우/로, 여자화자 /요, 어/로, VC에서는 남자화자 /으, 우/로 여자화자 /어, 우/로 인식하는 오류유형을 보인다. 즉, 남자화자는 주로 /우/로 인지하는 반면, 여자화자는 /우/보다는 /요, 어/로 인지하는 경우가 더 많이 나타나 남녀화자 간 차이를 보인다.

<표 5> LPF 왜곡에서 전체적인 경향을 살펴보면 다음과 같다. 첫째 HPF와 유사하게 필터왜곡이 있어도 일반적으로 VC 모음의 인식률이 CV에서보다 높다. 둘째, 모음에 따라서 오류 유형이 음절유형 간 차이를 보인다. 예를 들면, /오/는 남녀화자 모두 CV에서 /요/로 인지되는 경우가 더러 관찰되는데, VC에서는 /요/보다는 /에, 이, 어, 으/ 등으로 인지되는 경우가 더 많다. 셋째, HPF와는 달리 /에, 에/뿐만 아니라 여러 모음에서 필터왜곡이 어느 정도 심해지면 각 모음보다는 다른 모음으로 인식되는 비율이 더 높다. 예를 들어 /이/는 1000 Hz에서부터 /으/로 인식되는 비율이 가장 높다. 넷째, HPF와 마찬가지로 80%를 경계로 전후 두 개의 인식률값 간에 적어도 10% 이상의 차이를 보인다.

LPF필터 왜곡이 각개 모음에 끼치는 영향을 살펴보면, /이/는 CV에서 80% 이상의 인식률을 보이는 왜곡에서 /위/로 인지하는 경우가 더러 관찰되는데 VC에서는 /위/로 관찰되는 경우는 거의 없고 /으, 우, 오/ 등으로 인지되고 있어 음절유형 간 오류유형의 차이를 보인다. 한 가지 더 주목할 만한 것은 두 음절유형 모두에서 남녀화자 모두 2000 Hz 근처까지 80% 이상의 인식률을 보이다 왜곡이 더 심해지면서 그 이하로 떨어지는데 VC에서 CV에 비해 그 떨어지는 폭이 훨씬 크다는 것이다. 즉, CV에서 남자화자는 2000 Hz에서 92.6%, 1500 Hz에서 68.5%, 여자화자는 2500 Hz에서 86.1%, 2000 Hz에서 72.2%의 인식률을 보인 반면, VC에서 남자화자는 2000 Hz에서 100%, 1500 Hz에서 66.7%, 여자화자는 2500 Hz에서 100%, 2000 Hz에서 76.2%의 인식률을 보인다.

LPF필터 왜곡에서도 /에/와 /애/는 대단히 흥미로운 양상을 보인다. HPF에서와 마찬가지로 /에/는 두 음절유형 모두에서 남녀화자 모두 /애/로 인지하는 비율이 가장 높다. 그 다음으로 남자화자는 /외/와 /외/로(5000 Hz 에 38%, 외 30%, 으 18.5%;

3000 Hz 에 39.8%, 외 30.6%, 으 12.0%), 여자화자는 /에/와 /외/로(5000 Hz 에 72.2%, 에 13.0%, 외 8.3%) 인지한다. 즉, HPF왜곡에서와 같이 남녀화자의 /에/를 모두 /애/로 인지하는 비율이 가장 높으나 그 다음 순서로 남자화자의 경우 /외/가 차지하고 여자화자의 경우는 /에/가 차지하며 남자화자의 경우, /외/ 다음으로 /애/가 아니라 /으/라는 것 또한 특기할 만하다. 더욱 흥미로운 것은 VC에서는 CV에서와 달리 남녀화자 모두 5000 Hz부터 1500 Hz까지 /애/ 다음으로 /에/로 인지하는 비율이 높게 나타나며 5000 Hz부터 2000 Hz까지 두 모음의 인식률 합이 100%에 가까운 값을 보인다는 것이다. 이런 차이에 대한 이유로는 VC에서와 CV에서의 모음 자체의 산출이 달라서 또는 자음의 음절 내 위치에 따라 인접모음에 끼치는 자음의 영향이 달라서라는 가능성을 생각해볼 수 있다.

HPF에서 필터왜곡에 비교적 강한 결과를 보여준 /으, 아, 어/는 LPF필터 왜곡에도 강한 특성을 보여준다. /으/는 /이/와 80%를 경계로 전후 값 간의 차이가 무척 크다는 점에서 유사한 특성을 보이는데 두 음절유형 모두에서 남녀화자 모두 1000 Hz 근처까지 80% 이상의 인식률을 보이다가 왜곡이 더 심해지면 그 이하로 떨어지나 /이/와는 반대로 VC에서 CV에 비해 그 떨어지는 폭이 적다. 즉, CV에서 남자화자는 1000 Hz에서 91.7%, 700 Hz에서 52.8%, 여자화자는 1500 Hz에서 90.7%, 1000 Hz에서 40.7%의 인식률을 보인 반면, VC에서는 남자화자는 1000 Hz에서 95.2%, 700 Hz에서 73.8%, 여자화자는 1500 Hz에서 95.2%, 1000 Hz에서 54.8%의 인식률을 보였다. 왜곡이 가해지면서 /으/는 대체로 /우, 오, 이, 의/로, /어/는 CV에서는 주로 /여, 위/로, VC에서는 /아/로, /아/는 CV에서는 /어, 와/로, VC에서는 /어/로, 인지하는 경향을 보인다. /아/는 VC에서 남녀화자 모두 꽤 왜곡이 심해져도 거의 100% 인식률을 보이다가 갑자기 40%대로 떨어진다. 남자화자 700 Hz에서 97.6%, 500 Hz에서 42.9%의 인식률을, 여자화자 1000 Hz에서 100%, 700 Hz에서 47.6%의 인식률을 보인다.

/우/는 CV에서 남자화자는 주로 /으, 오/로, 여자화자는 /오/로, VC에서는 남자화자는 /으/로, 여자화자는 /으, 오/로 인지된다. /오/는 CV에서 남자화자는 /으, 요/로, 여자화자 /확인불능, 어/로, VC에서는 남자화자는 /으/로 여자화자는 /으, 어/로 인식하는 오류유형을 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 남녀 아나운서 각 1명이 발생한 무의미 단음절 음성을 대상으로 이를 다양한 차단주파수의 저역 및 고역통과필터를 통과한 음성을 이용하여 20대 피험자 6명의 청취실험을 통해 대역제한에 따른 각 필터별 모음 음소인식률을 비교하고 주파수 왜곡으로 인한 모음별 오류 유형 경향을 분석하였다.

주파수 대역 제한에 의한 한국어 모음의 지각 특성 분석을

요약하면 다음과 같다. /예/와 /애/를 제외한 모음은 원음에서 95% 이상의 음소 인식률을 보이지만 이미 젊은 세대에서 음성의 산출 및 지각에서 하나의 모음으로 병합된 것으로 보고되는 /예/의 경우, /에/ 27%, /애/ 47.7%로 인식하여 합 74.7%, /애/의 경우는 /에/ 59%, /예/ 29%로 합 88%의 낮은 인식률을 나타낸다. 필터상황에 따른 인식률의 변화를 80% 기준으로 보면, HPF에서 /이, 으, 어, 아/는 1500, 2000 Hz 이상의 주파수 정보만으로 충분한 반면, /우, 오/는 상대적으로 훨씬 낮은 주파수의 정보들까지 필요로 하고 있음을 보인다. /아, 으, 어/는 필터 왜곡에 비교적 강한 결과를 보여주는데 F1, F2값이 대략 1500 Hz 이하에 있는 /아, 어, 으/는 이들 정보가 없는데도 여전히 높은 인식률을 보인다는 것은 F1, F2 외에 이들 모음 인식에 다른 정보들이 사용되고 있다고 볼 수 있다. /이/는 2000 Hz LPF까지는 80% 이상의 높은 인식률을 보이다가 1500 Hz LPF에서 59.3%로 급락하고 있는데 이는 /이/의 인식에 F2가 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 주파수 왜곡으로 인한 오류 유형이 음절 유형 간 차이를 보이고 있는데 대체적으로 본 연구에서는 VC 모음의 인식률이 CV보다 높고 남녀 발화별로 음절 유형에 따라 오류 유형에 다양한 차이가 나타났다.

본 논문에서는 한국어 모음에 국한하여 분석을 진행하였는데 이를 보완하기 위한 주파수 대역 제한에 의한 한국어 자음의 지각 특성 분석에 대한 연구가 현재 진행 중이며, 향후 연구에서는 주파수 대역의 제한뿐만 아니라 음성에서 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[8][9]의 연구에 사용된 음성자료의 녹음에 직접 참여해 주신 KBS 아나운서실 한국어연구회의 여러분들과 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.)
- [4] Hwang, H., Moon, S. (2005). An acoustic comparative study of Korean /예, 애/ and English /ε, æ/ pronounced by Korean young male speakers. *Malsori*, 56(4), 29-47.
- (황혜정, 문승재 (2005). 한국인이 발음한 한국어 /예, 애/와 영어 /ε, æ/ 모음. 대한음성학회지: 말소리, 56(4), 29-47.)
- [5] Jang, H., Shin, J. (2006). An acoustic study on the generational difference of the monophthongs in the Daegu dialect. *Malsori*, 57(1), 15-30.
- (장혜진, 신지영 (2006). 대구 방언 단모음의 세대 간 차이에 대한 음향 음성학적 연구. 대한음성학회지: 말소리, 57(1), 15-30.)
- [6] Han, Jeong-Im, & Kang, Hyunsook. (2013). Cross-generational Change of /o/ and /u/ in Seoul Korean I: Proximity in vowel space. *Phonetics and Speech Sciences*, 5(2), 25-31.
- [7] Yun, Jihyeon, & Seong, Cheoljae. (2013). Effects of F1/F2 manipulation on the perception of Korean vowels /o/ and /u/. *Phonetics and Speech Sciences*, 5(3), 39-46.
- (윤지현, 성철재 (2013). F1/F2의 변화가 한국어 /오/, /우/ 모음의 지각판별에 미치는 영향. 말소리와 음성과학, 5(3) 39-46.)
- [8] 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.)
- [9] 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
관심 분야: 음성학, 음운론, 음성공학
현재 컴퓨터공학과 교수