

# 비강 공명이 한국어 모음에 미치는 음향학적 영향

서울대학교 의과대학 이비인후과학교실

성명훈 · 오승하 · 강명구 · 고태용 · 김광현 · 김진영

= Abstract =

## Effect of the Nasal Cavity Resonance on the Acoustic Characteristics of Korean Vowels

Myung Whun Sung, M.D., Seung Ha Oh, M.D., Myung Koo Kang, M.D.,  
Tae Yong Koh, M.D., Kwang Hyun Kim, M.D., Jin Young Kim, M.D.

*Department of Otolaryngology, Seoul National University, College of Medicine, Seoul, Korea*

Cleft palate or velopharyngeal incompetence shows many disorders and disabilities affecting speech transmission, including distortion, substitution, and the nasalization of the vowels. The nasalized vowels are produced primarily by lowering of the velum, resulting in opening a side passage for the air flow through the nasal cavity. These abnormal movements give rise to complex modification of the physical property of the sound or in the sound spectrum.

The authors employed Sonagraph® as a sound analyzer in order to ascertain the features which characterize the nasalization of vowels. Twenty healthy Korean male adult volunteers were analyzed in artificial conditions of anterior and posterior nasal obstruction, and velopharyngeal incompetence.

The results were as follows :

- 1) Fundamental frequency was not changed by nasal obstruction or velopharyngeal incompetence.
- 2) There was no significant difference of the formant intensity between normal and nasal vowels.
- 3) In VPI, a decrease of the frequency of F<sub>2</sub> was observed in /e/ and /i/ vowels (p<0.001).
- 4) In VPI, the F<sub>2</sub> was frequently missed in /o/ and /u/ vowels.
- 5) In the consonant spectra of VPI, the 'release burst' was usually not observed.

### 서 론

구개열이나 구개부전이 있는 환자는 여러가지 비정상적인 발음을 보이는데, 자음의 경우에는 구음장애로 인한 왜곡이나 치환 등을 볼 수 있으며 모음은 심한 비음화(nasalization)을 보이게 된다.

이러한 발음이상과 구조이상 간의 관계를 밝히기 위해서는 구조이상에 대한 객관적인 평가와 함께 발음이상을 정확하게 평가하는 방법이 중요하며 지난 반세기 동안 여러가지 방법이 개발되어 왔다. 이러한 발음이상에 대한 객관적 지표로서의 여러 가능성 중에 음향학적 분석이 비교적 많이 시행

되었는데 주로 모음의 비음화를 평가하는 것이었다.

모음에서는 성대의 주기적 진동에 의한 음성 에너지가 인두강과 구강을 거치면서 그 harmonics 중 공명이 되는 특정 주파수에 energy가 집중되어 formant의 형성이 이루어진다<sup>11)</sup>. 이 때 혀, 구개, 인두벽 등의 구조가 모음에 따라 위치가 변하고 이에 따라 각 모음별로 특징적인 formant를 보이게 된다. 그러나 구개열이나 구개부전이 되면 비강이라는 side tube가 구강이라는 main tube에 결합된 상태로 공명구조의 변화를 가져오고, 그 결과 formant의 강도, 주파수 등 음성음향학적인 지표의 변화를 기대할 수 있게 된다<sup>11)12)</sup>.

저자들은 개인별 공명구조의 차이에 기인한 오차를 줄이기 위해 정상 성인 남자 20명에 대해 각각 한국어 모음 /아/, /에/, /이/, /오/, /우/를 정상시와 인공적으로 일으킨 비폐색시, 역시 인공적으로 만든 구개부전의 경우에서 발음하도록 하여 음성음향학적 차이를 분석하여 보았다. 분석 결과 비음화의 객관적 지표로서 제 2 formant의 주파수의 변화가 유용함을 알 수 있었고, 따라서 이에 대한 가능한 구조적 해석 및 다른 지표에 대한 소개를 문헌 고찰과 함께 보고하고자 한다. 또한 구개부전에서 보이는 자음의 특성을 관찰하고, 음성음향학적 분석 외의 다른 구개부전 평가방법에 대해서도 고찰해 보고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 피검자

청력 및 구음발성기관에 장애가 없는 한국인 정상 성인 남자 20명을 대상으로 하였다.

### 2. 녹음 방법

20명에 대하여 무향실 내에서 한국어 모음 /아/, /에/, /이/, /오/, /우/를 각각 녹음하였다. 녹음은 마이크에서 20cm 떨어진 상태로 실시하였으며 편한 발성으로 약 5초간 소리내도록 하여 3회 되풀이하였다. 또한 자음이 포함된 음절 /이카거/도 3회 녹음하였다. 녹음이 끝나면 비전정부위를 손으로 막고 (anterior nasal obstruction), 위의 녹음을 다시 시행하였으며, lidocain 마취하에 gauze로

후비강을 막고 (posterior nasal obstruction) 또 반복하였다. 마지막으로 Nelaton tube를 이용하여 연구개를 당기고 (velopharyngeal incompetence : VPI) 같은 발음을 녹음하였다.

### 3. 분석

녹음된 3번의 각 모음 중 가장 분명히 된 것을 KAY Digital Sonagraph System(model 7800)을 이용하여 3-D spectrograph(wide and narrow band)와 section display(wide band)를 구하고 기본 주파수(fundamental frequency, Fo), 각 formant의 주파수, 각 formant의 강도를 측정하였다 (Fig. 1).

자음이 포함된 음절 /이카거/도 3-D spectrograph를 구하여 정상과 VPI 간에 비교하였다.

각 군에서 얻어진 결과는 paired t-test를 이용하여 통계적으로 분석하였다.

## 결 과

### 1. 기본 주파수(fundamental frequency, Fo)

기본 주파수는 3-D spectrograph에서 구하였으며 국어 모음 /에/에 대한 정상시 평균 기본 주파수는  $130.2 \pm 26.9\text{Hz}$ 였고, 다른 조건(anterior nasal obstruction, posterior nasal obstruction, VPI)에서는 약간씩 상승한 것 처럼 보였지만 이들 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 1).

### 2. 예/ 모음에서의 제 1 formant( $F_1$ ) 주파수 변화 (N=10)

우선 10명의 /예/의 section display 에서 구한 제 1 formant 주파수의 각 조건별 변화를 보면 정상 ( $468 \pm 164.15\text{Hz}$ )과 anterior nasal obstruction( $416 \pm 263.4\text{Hz}$ ), posterior nasal obstruction( $428 \pm 217.7\text{Hz}$ ), VPI( $436 \pm 342.13\text{Hz}$ )의 사이에서 paired t-test를 이용한 검증 결과 모두 유의한 차이가 없었다(Fig. 2).

### 3. /에/ 모음에서의 제 2 formant( $F_2$ ) 주파수의 변화(N=10)

10명의 /에/에 대한 section display의 제 2 formant 주파수를 각 조건 별로 비교한 결과, 정상

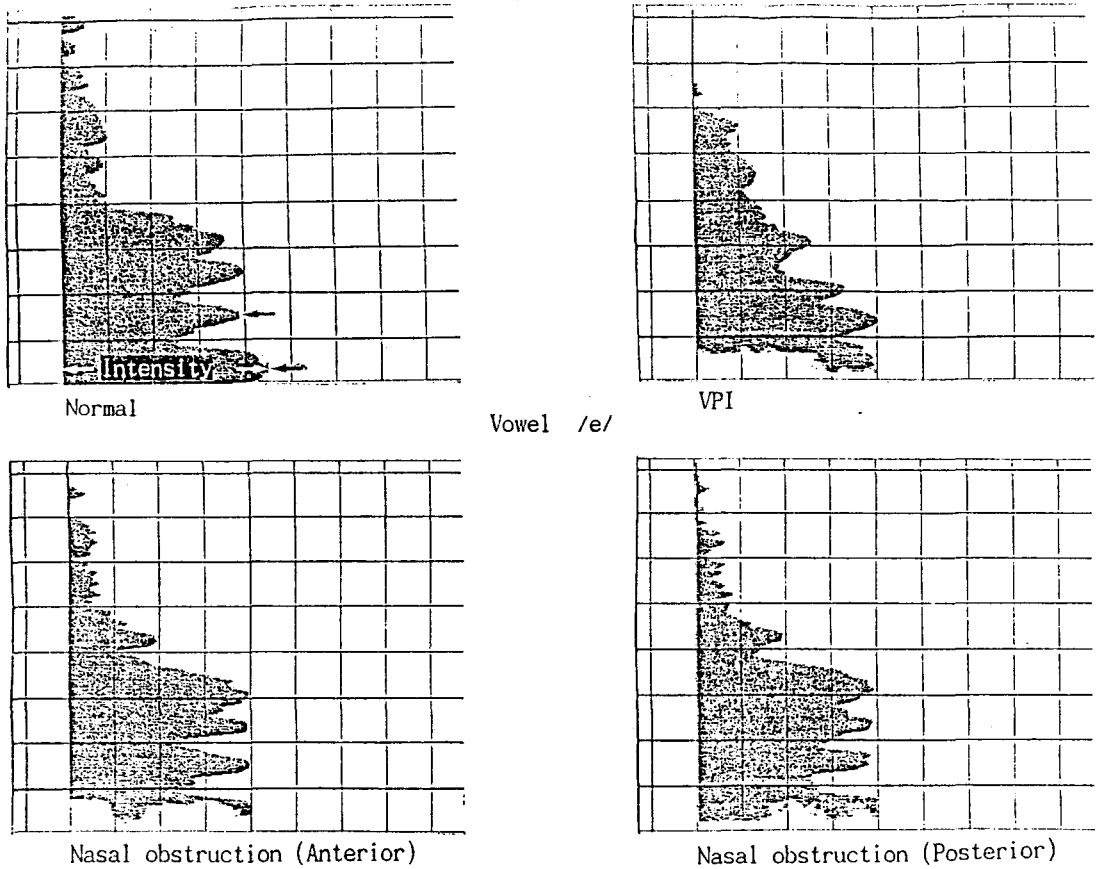


Fig. 1. An example of section displays of 4 conditions in one person.  
(arrows : first and second formant)

Table 1. Fundamental frequency in vowel /e/

Normal	130.2 ± 26.9 Hz
Anterior nasal obstruction	136.0 ± 30.4 Hz
Posterior nasal obstruction	135.4 ± 30.0 Hz
Velopharyngeal incompetence	136.0 ± 39.2 Hz

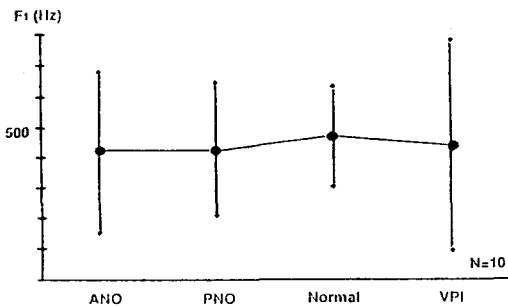


Fig. 2. First formant variation in vowel /e/.

(1540 ± 360Hz)과 anterior nasal obstruction(1480 ± 373.5Hz), posterior nasal obstruction(1488 ± 252.5Hz)은 각각 paired t-test에서 통계적 유의성이 없었으나 정상과 VPI(1356 ± 316.5Hz) 간에는 유의하게 VPI에서 제2 formant의 주파수가 하강함을 알 수 있었다( $p < 0.005$ )(Fig. 3).

10명의 section display 분석 결과 anterior nasal obstruction과 posterior nasal obstruction은 모두 정상에 비해 큰 차이가 없었고, VPI와 정상 간에는 formant 주파수, 특히 제2 formant 주파수의 차이를 보여, 20명을 대상으로 각 모음별로 formant의 주파수, 강도를 측정하였다.

#### 4. 각 모음별 제1 formant 주파수 변화(N=20)

정상과 VPI간에 각 모음별로 제1 formant 주파수 변화는 paired t-test 결과 /아/ ( $p < 0.01$ )와

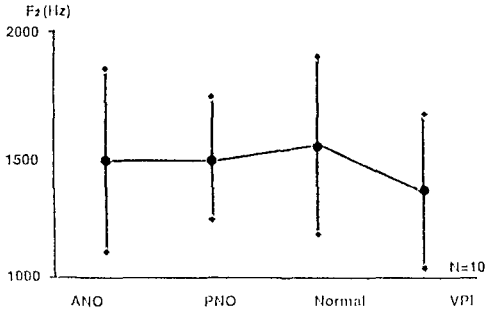


Fig. 3. Second formant variation in vowel /e/.

/예/ ( $p < 0.05$ )만 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 2, Fig. 4).

5. 각 모음별 제 2 formant 주파수 변화(N=20)

VPI를 만들었을 때 종종 제 2 formant가 소실되는 현상이 나타났으며 특히 /오/, /우/에서는 많은 missing이 보였다(Table 3).

소실된 경우를 제외하고 제 2 formant의 주파수를 비교하여 보면 /아/, /에/, /이/, 특히 /예/와 /이/에서 VPI시 통계적으로 매우 유의하게 ( $p < 0.001$ ) 주파수의 하강을 볼 수 있었다(Table 4, Fig. 5).

이를 다시 개인별로 비교하여 보면 /예/에서는 20명 중 2명을 제외한 모든 사람에서 제 2 formant 주파수의 하강을 보였고(Fig. 6), /이/에서도 제 2 formant가 소실된 1명을 제외한 19명 중 16명에서 제 2 formant 주파수의 하강을 보였다(Fig. 7).

6. VPI시 formant의 강도 변화

Section display에서 각 모음별로 정상과 VPI에서 제 1 formant, 제 2 formant의 크기를 3 KHz 이하의

Table 2. First formant variation(I)

	Norman	VPI* (Hz)
** /아/	532 ± 400	348 ± 402
*** /예/	404 ± 234	331 ± 356
/이/	244 ± 83.5	290 ± 205
/오/	324 ± 116	342 ± 196
/우/	262 ± 117	268 ± 160

\*velopharyngeal incompetence

\*\* :  $p < 0.01$

\*\*\* :  $p < 0.05$

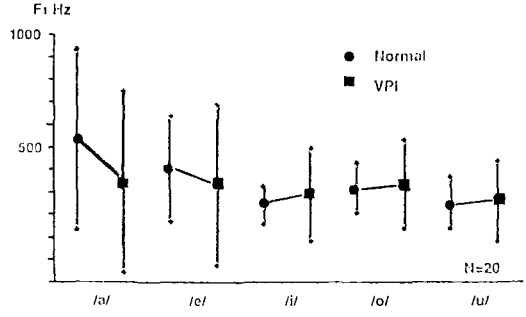


Fig. 4. First formant variation(II).

Table 3. Second formant missing in VPI(N=20)

/아/	2/20
/예/	0/20
/이/	1/20
/오/	4/20
/우/	7/20

Table 4. Second formant variation(I)

* /아/	1059 ± 254	882 ± 385
** /예/	1582 ± 347	1346 ± 363
*** /이/	2026 ± 638	1621 ± 700
/오/	795 ± 278	835 ± 248
/우/	1084 ± 804	970 ± 612

\*  $p < 0.05$

\*\*  $p < 0.001$

\*\*\*  $p < 0.001$

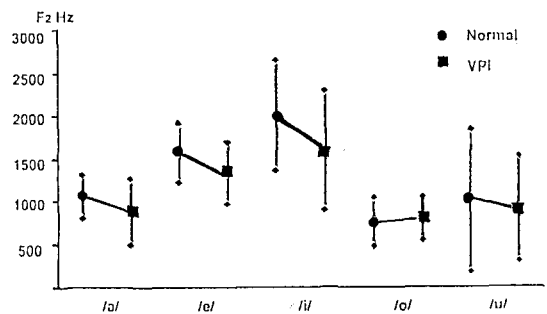


Fig. 5. Second formant variation(II).

총 크기와 비교하여 백분율로 비교한 결과 Fig. 8과 같았으며 상호간에 통계적 유의성은 없었다.

7. VCVCV음절 /이카커/의 비교

자음이 포함된 음절 /이카커/를 비교한 결과 정상인에서 자음(stop consonants) 시작 전에 특정

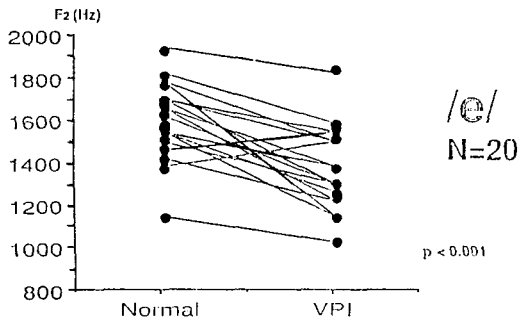


Fig. 6. Frequency difference of second formant(I).

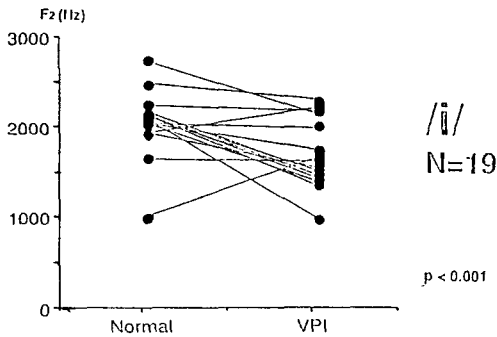


Fig. 7. Frequency difference of second formant(II).

적으로 나타나는 release burst 현상이 VPI에서는 소실되는 것을 관찰 할 수 있었다(Fig. 9).

## 고 안

음성에 관한 연구방법에는 크게 분석기를 사용하는 물리음향학적 방법, 해부 기능적 관계를 규명하는 생리음향학적 방법, 그리고 감각 지각을 이용한 심리음향학적 방법의 3가지 방법이 있다. 그 중 객관적이고 임상 적용에 용이한 물리음향학이 공학의 발전과 더불어 많이 연구되어 왔다. Sound spectrography는 음성의 연구에 매우 중요한 분야로써 음성병리를 연구하는데 많은 객관적 자료를 제공한다<sup>1)</sup>.

구개열, congenital short palate, uvulopalatopharyngoplasty(UPPP) 후 합병증 등 여러 원인에 의한 연구개부전(velopharyngeal incompetence, VPI)의 경우 특징적인 발음을 보이는데 흔히 자음은 distortion, substitution 되어 /b/가 /m/처럼 들리며 glot-

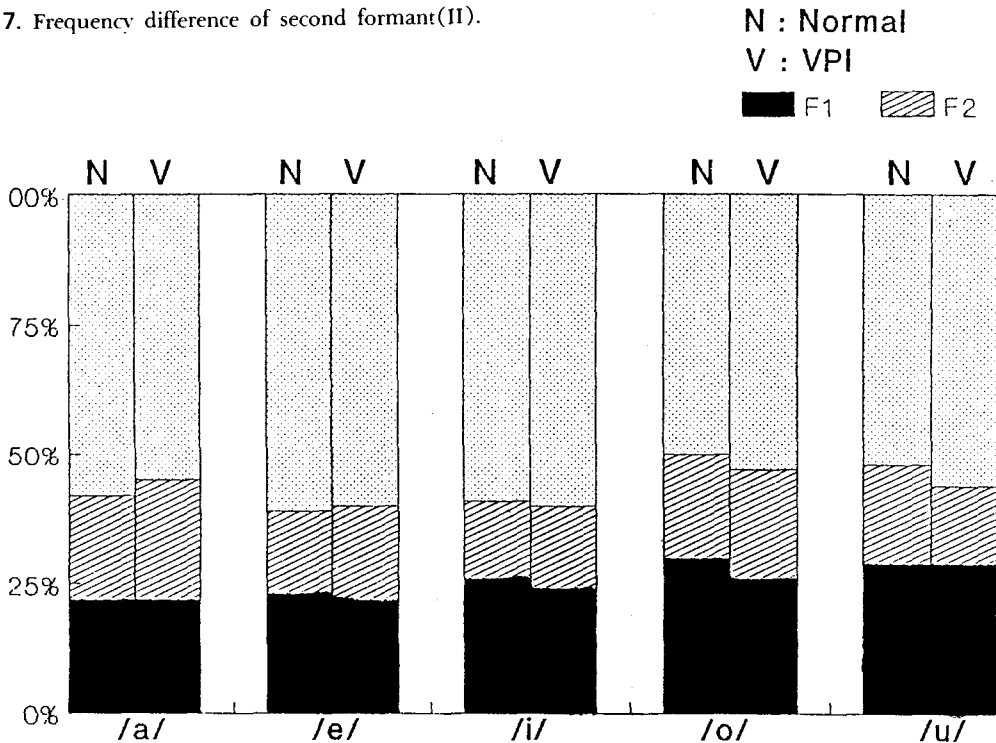
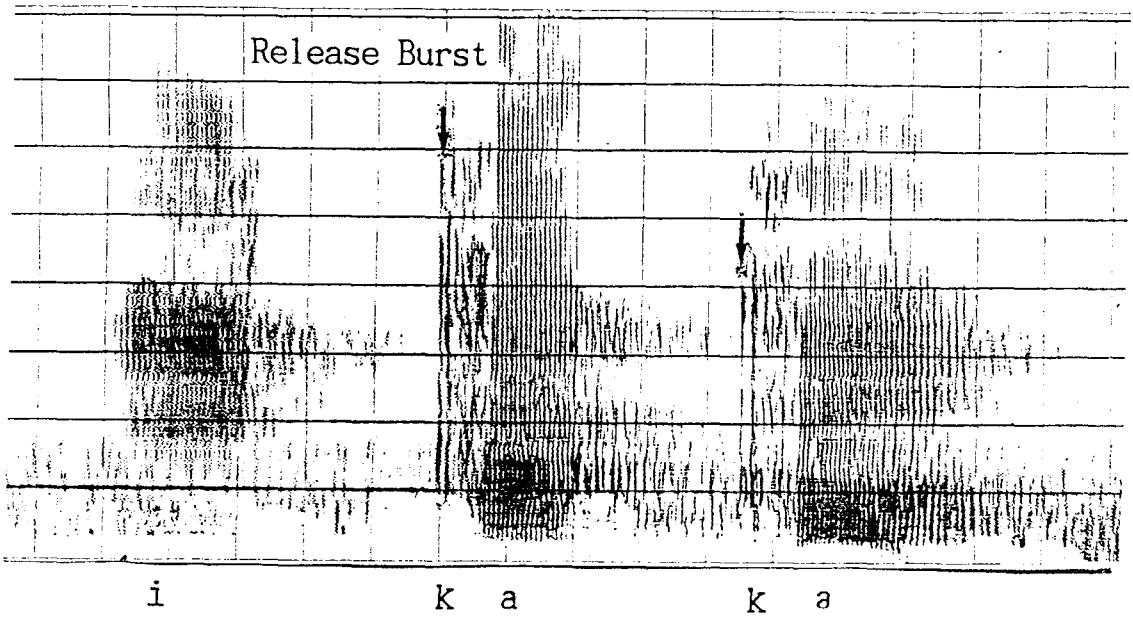


Fig. 8. Relative intensity of formants.

/ i k a k ə /

Normal



VPI

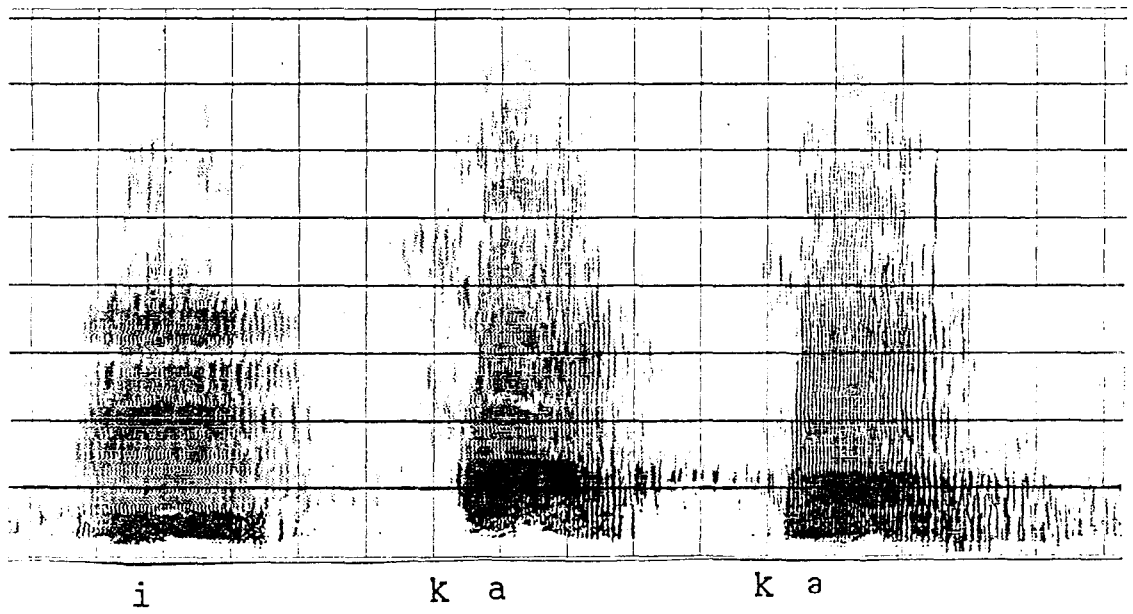


Fig. 9. An example of 3-D spectrographs of one person saying VCVCV, indicating absence of release burst in VPI.

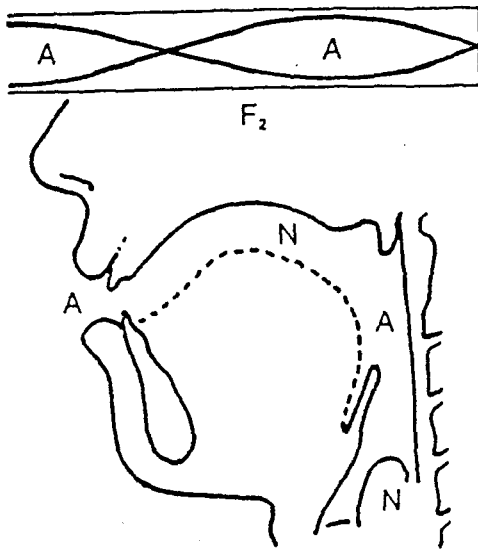


Fig. 10. Standing wave distributional pattern of volume velocity of simple tube.  
 N : node  
 A : antinode

tal stop, pharyngeal fricatives, omission 등의 현상도 나타난다<sup>9)10)</sup>. 한편, 모음은 특징적으로 비음화되는데 이의 객관적 평가에 sound spectrograph를 이용하려는 노력이 많이 있었다<sup>6)8)13)</sup>.

정상 모음의 음향학적 특징은 후두의 음 발생, 구인두강의 공명 효과, 입술을 통한 방사(radiation) 등의 3가지 요소가 있다. 후두에서의 음발생은 후두의 기본적 진동(fundamental frequency : 기본 주파수, 기음)과 그 harmonics(overtone)로 시작되어 공명구조를 거치면서 각 모음에 특유한 주파수에 energy의 집중, 즉 formant의 형성을 보이게 된다. 이러한 음 energy는 입술 밖의 대기로 나오면서 impedance차이에 의한 energy loss가 있는데 저음역에서 더 많은 손실을 보이면서 비로소 정상 모음의 energy spectrum을 보이게 된다<sup>13)</sup>. 하지만 비강이라는 공명구조가 구인두강의 기존 공명구조에 결합되면 이러한 주파수별 energy의 분포에 변화가 오리라고 예상할 수 있다<sup>8)13)</sup>.

1956년 House에 의하면 비강이 구인두강에 결합되면서 비음화(nasality)가 생기고 이 때 제 1 formant의 강도가 줄고 그 음역(band width)가 넓어진다고 하였다<sup>8)</sup>.

1958년 Hattori 등은 250Hz 에서 reinforcement of intensity, 500Hz 에서 weakening of intensity (antiresonance), 1000~2500Hz 에서는 formant weakening을 보인다고 하였고, 이러한 현상이 nasal consonant(/m/, /n/, /ŋ/)에서도 마찬가지로 하였다. 그들은 모형을 통한 analog study에서 결국 비강은 낮은 주파수에서는 resonant chamber로, 높은 주파수에서는 damped channel로 작용함을 증명하고 이것이 각각 250Hz의 reinforcement, 500 Hz의 antiresonance가 되는 원인이라고 하였다<sup>6)</sup>.

1962년 Dickson도 narrow band section display를 통한 formant의 강도, formant 주파수, 음역, 기본 주파 등의 측정에서 다양한 특징을 기술하였으나 전체적으로 loss of power, increased damping, addition of resonances and antiresonances의 3가지 기본요소가 있으며 개인별 공명구조의 차이로 사람에 따라 조금씩 다른 모양을 보인다고 하였다<sup>3)</sup>.

구개열의 경우 발음을 결정하는데 구개열의 type, VPI, 수술시기, 구음습관, 혀의 운동성, 부정교합 등 여러요소가 있지만 VPI에 의한 비음화(nasality)가 가장 중요한 언어장애라 하겠다<sup>5)9)</sup>. Nasality는 연구개강(velopharynx)이 닫힐 때 남은 opening의 크기로 결정되는데, 실험에 의하면 직경 5mm(면적 약 20mm<sup>2</sup>) 이상의 opening이 생기면 비음(nasality)과 구음장애를 보이게 된다<sup>9)</sup>.

본 연구에서는 개인별 차이를 줄이기 위해 각 대상마다, 정상시와 인공적으로 만든 비폐색, 연구개부전 시를 비교하고자 하였으며 측정은 기본 주파수, formant의 강도, formant의 주파수에 대하여 시행하였다.

인공적으로 전비와 후비에 비폐색을 만들고 모음을 발음케 하였을 때 정상과 비교하여 보면 formant의 주파수가 거의 차이나지 않았는데 이는 국어 모음이 그 특성상 거의 비강을 공명구조에 포함시키지 않는 때문으로 볼 수 있다. 따라서 비폐색시의 소위 폐쇄성비음의 관찰에서는 모음 보다는 nasal consonant (/m/, /n/, /ŋ/)의 발음에서 더 명확한 차이를 기대할 수 있을 것으로 보이고 앞으로 연구해 보아야 할 과제라 하겠다.

또한, 실험적으로 연구개의 움직임을 제한시키면서 모음의 sound spectrograph를 구하여 for-

mant의 주파수와 강도를 정상과 비교하여 보았을 때 Fig. 5에서와 같이 /예/와 /이/에서 매우 유의하게 제 2 formant 주파수의 감소를 보였으며, Murry 등은 uvulopharyngopalatoplasty 전후의 비교를 통해 이와 비슷한 관찰 결과를 보고하였다<sup>11)</sup>. 제 2 formant가 Table 3에서와 같이 소실되는 현상도 VPI의 중요한 소견으로 생각되며 특히 /우/, /오/에 많은 것이 주목된다. 하지만 상대적으로 구한 제 1, 제 2 formant의 크기는 변화가 없어 House, Dickson 등의 연구와 차이가 있었으며, 따라서 nasality를 결정하는 요소로는 부적절하다고 보인다.

기본 주파수의 각 조건별 차이를 보면 정상보다 nasal obstruction이나 VPI 때 더 상승한 듯이 보이나 이는 어떠한 비정상적인 조건을 주었을 때 무의식 중에 힘주어 발음하므로 생긴 현상으로 생각되며 통계적으로도 유의한 차이를 볼 수 없었다.

제 2 formant는 800Hz와 4000Hz 사이에서 보이며 각 모음을 구분하는데 매우 중요한 요소로 여겨지는데, 본 연구에서 관찰된 제 2 formant의 소실이나 주파수의 변화는 VPI환자에서 발음의 명음도가 크게 떨어지는 현상을 설명하는 중요한 지표중의 하나라고 생각한다.

제 2 formant 주파수가 하강하는 이유는 VPI시 비강이 공명구조로 되면서 Fig. 10에서와 같이 standing wave의 node에 해당하는 경구개 부분이 넓어지기 때문으로 생각되고, 특히 발성시 경구개 부위가 가장 좁은 /이/, /예/의 발음에서 그 현상이 두드러진다고 여겨진다<sup>2)</sup>.

본 실험은 Nelaton tube로 연구개를 앞으로 당기어 운동을 제한시키면서 실시했던 것이므로 실제 구개열이 있을 때의 소견과 차이가 있을 수 있으며, tube를 당길 때 윗입술도 앞으로 당기어져 움직임이 제한되는 것이 동반되므로 이러한 영향도 어느 정도 있었을 것으로 생각된다.

이외에 nasality를 인지하는 다른 여러 방법 중 심리음향학적 방법으로 믿을만한 청취자를 통해 측정하는 방법이 있으나 기준이 모호해서 신뢰도 및 임상 정보교환의 어려움이 있다<sup>4)</sup>. Fletcher는 500Hz 근처의 특정 주파수 대에서 코와 입으로 나오는 음의 크기를 상대적으로 비교하는 TONAR (the oral nasal acoustic ratio)를 개발하여 percep-

tual study와 비교한 결과 correlation ratio가 0.91로서 nasality를 객관적으로 표시하는 좋은 방법이라 하였고<sup>4)5)</sup> Horii는 nose and neck accelerometer를 이용하여 nasal amplitude와 vocal amplitude의 ratio를 구하는 방법으로 nasality를 객관화 하였으며<sup>7)</sup>, Quigley는 공기의 흐름이 가열된 filament를 냉각시키는 방법을 이용한 anemometer를 발표하였다<sup>12)</sup>.

자음에 대해서는 3-D spectrograph를 이용하여 음절 /이카커/를 정상과 VPI간에 비교하여 볼 때 release burst가 소실되는 것을 관찰하였으나 아직 VPI의 객관적, 정량적인 지표로는 부족하다고 보인다<sup>10)</sup>.

## 결 론

한국인의 정상 성인 남자의 한국어 모음 /아/, /에/, /이/, /오/, /우/에 대한 정상 발음과 인공적으로 만든 anterior nasal obstruction, posterior nasal obstruction, VPI간의 sound spectrograph 비교에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 평균 기본 주파수는 약 130Hz 였다.
- 2) 한국어 모음에 있어서 정상과 비폐색간에는 음향학적 특성의 차이가 없었다.
- 3) 정상과 VPI의 비교에서, 제 2 formant 주파수의 하강이 특히 /예/, /이/ 모음에서 뚜렷하였다 ( $p < 0.001$ ).
- 4) VPI의 경우 제 2 formant의 소실이 보였는데 /오/, /우/ 모음에서 빈도가 많았다.
- 5) 정상과 VPI 시 formant 강도의 비교에서는 유의한 차이가 없었다.
- 6) 자음을 포함한 음절 /이카커/의 발음에서는 VPI시 release burst의 소실을 볼 수 있었다.

(본 연구의 자료정리에 수고를 한 서울대학교 병원 언어청각장애진료실의 원미경씨에게 감사로 표현한다.)

## References

- 1) 문영일 : *Sonagraph*에 의한 정상음성분석. 대한 이비인후과학회지 16 : 25-32, 1973
- 2) Otolaryngology Head and Neck Surgery : (eds.



- Cumming CW, et al*)vol. III, CV Mosby Company, St. Louis, pp1776-1788, 1896
- 3) Dickson DR : *An acoustic study of nasality. J Speech Hearing Res* 5 : 103-111, 1962
  - 4) Fletcher SG : *Theory and instrumentation for quantitative measurement of nasality. Cleft Palate J* 7 : 601-609, 1970
  - 5) Fletcher SG : "Nasalance" vs listener judgements of nasality. *Cleft Palate J* 13 : 31-44, 1976
  - 6) Hattori S, Yamamoto K, Fujimura O : *Nasalization of vowels in relation to nasals. J Acoust Soc Am* 30 : 267-274, 1958
  - 7) Horii Y : *An accelerometric approach to nasality measurement : A preliminary report. Cleft Palate J* 17 : 254-261, 1980
  - 8) House AS, Stevens KN : *Analog studies of the nasalization of vowels. J Speech Hearing Dis* 21 : 218-232, 1956
  - 9) Isshiki N, Honjow I, Morimoto M : *Effects of velopharyngeal incompetencs upon speech. Cleft Palate J* 5 : 297-310, 1968
  - 10) Leder SB, Lerman JW, Alfonso PJ : *Speech segment duration measurements in adult speakers with repaired cleft palate and hypernasality. Laryngoscope* 98 : 884-887, 1988
  - 11) Murry T, Bone RC : *Acoustic characteristics of speech following uvulopalatopharyngoplasty. Laryngoscope* 99 : 1217-1219, 1989
  - 12) Quigley LF, Shiere FR, Webster RC, et al : *Measuring palatopharyngeal competence with the nasal anemometer. Cleft Palate J* 1 : 304-313, 1963
  - 13) Schwartz MF : *The acoustics of normal and nasal vowel production. Cleft Palate J* 5 : 125-140, 1968