

Electroglottography를 사용한 한국어 폐쇄자음의
특성 및 임상적 적용

Characteristics of Korean Stop Consonants by
Using Electroglottography and Its Clinical Application

채윤정 · 김현기* · 홍기환**

(Y.-J. Chae · H.-G. Kim · K.-H. Hong)

ABSTRACT

An electroglottography (EGG) was used to investigate the function of the vocal folds during their vibration. In this study, four Korean native speakers and 10 vocal polyp patients were selected. To investigate the dynamic change of EGG waveforms for the three-way distinction of Korean stops, a DSP-Sonagraph model 5500, a Rino-Laryngeal stroboscope, a CSL model 4300B and a Laryngograph were used. An EGG Model 4338 was used to exam the vocal polyp of patients' voices during high, low, comfortable pitch production. The purpose of this study is to investigate the characteristics of Korean stop consonants in relation to pitch and to observe laryngeal movement during vocal fold vibration and speech production. The basic data accumulated during this research can be applied in clinical treatment. The results are as follows: on the Korean stop consonants, the aspirated stop is the highest in the GOT and PC1. On the angle of vowel contour, the angle of lenis is smaller than the angle of heavily aspirated and glottalized stops. The fundamental frequency is lowest at the lenis stop. In vocal polyp patients', the low pitch range is smaller than in normal speakers'. The pitch break and the vocal fry were observed. The jitter and OQ value are higher in vocal polyp patients than in those of normal speakers'.

Keywords: electroglottography, stop consonants, vocal polyp

* 전북대학교 인문과학대학 불어불문학과
** 전북대학교 의과대학 이비인후과

1.0 서론

정상발성시 혹은 성대에 병변이 있을 때의 성대진동 기전에 대한 연구에는 크게 음향음성학적인 방법과 생리음성학적인 방법이 사용되고 있다. 생리음성학적 방법으로는 초고속 영화촬영(4,000-10,000 frames/s)과 후두 스트로보스코프 검사법, 후두내근의 근전도 검사법 등이 있다. 그러나 이러한 검사법은 모두 침습적이거나, 가격이 비싸다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 최근 몇 가지 glottography가 개발되어 발성에 대한 생리학적인 연구에 이용되고 있다. 그 중에 대표적인 것이 전기 glottography와 光 glottography이다. 전기 glottography의 원리는 물체를 통해 흐르는 전류량과 반비례하여 발생하는 전기 저항을 측정하는 원리로, 갑상연골 양측 피부에 부착시킨 두 전극을 통하는 전기의 저항을 측정하는 것으로 성대가 열려있을 때에는 양 성대 사이에 절연체 역할을 하는 공기가 있어 전기가 흐르지 않으므로 전기저항이 커지고 성대가 닫히면 양측 성대를 통해 전류가 흐르게 되어 전기저항이 작아지게 되는 원리이다. 이러한 원리로 정상후두의 기능 및 후두질환의 진단과 그 평가를 위해서 사용하고 있다. 1970년대 중반부터 전기 glottography 파형을 stroboscopy 및 초고속 영화촬영 과 동시에 나타낼 수 있는 방법들이 개발되었고, 더 나아가 光 glottography가 개발됨으로써 발성생리를 연구하는데 도움을 주게 되었다. Childers 등(1987)은 EGG model을 만들어서 실험한 결과, 성대결절이나 폴립 등이 있을 때 성문접촉의 opening phase에 특징적인 편평파(flat segment of wave)가 관찰되었는데, 이를 이용하여 성대결절이나 폴립의 객관적인 진단뿐 아니라 위치나 크기의 추정에도 이용할 수 있을 것이라는 가설을 제시하였다. Hanson 등(1988)은 전기 glottography와 光 glottography를 동시에 시행하여 반회신경마비, 상후두신경마비나 혼합형 마비 등의 감별진단도 가능하다고 하였다. Choi 등(1990)은 전기 glottography를 정상 성인과 성대결절 혹은 폴립군, 성대마비군에 대해서 실시하여 성문폐쇄율과 성문접촉속도율로 분석한 결과, 성대결절 혹은 폴립군은 성문폐쇄율과 성문접촉속도율이 모두 유의있게 증가되어 있었으며, 특징적인 편평파가 성문접촉면적 감소시기에 관찰되었고, 성대마비의 경우 완전마비에서는 파형이 나타나지 않았으며, 부분마비에서는 성문폐쇄율과 성문접촉속도율이 모두 감소되어 있었다고 보고하였다.

성대폴립, 성대마비, 성대결절 등 위에서 언급한 성대병변이 생기면 발성시 장애, 다시 말해 음성장애가 생기게 되는데 이는 정상인 청력을 가진 사람이 알아듣기 어려운 정도로 작은 목소리로 말하는 것, 그 사람의 나이나 성별과 잘 맞지 않는 이상한 음의 높이를 가진 목소리를 가진 경우, 목소리의 강도나 음도의 flexibility가 부족하거나, 음의 질(quality)이 어딘가 어색하고 정상인 목소리를 비정상적인 목소리라고 말할 수 있을 것이다. 이러한 비정상적인 목소리는 다음과 같은 병변으로 인해 발생할 수 있다. 먼저, 신경학적 병변으로 인한 음성장애가 있

는데 이는 크게 중추신경계상의 병변과 뇌간 내의 뇌신경핵, 축삭, 신경근접합부, 그리고 근육상의 병변으로 인한 경우이다. 경직성, 고운동성, 이완성, 저운동성, 복합성, 운동실조성 발성장애로 분류된다. 두 번째로, 성대마비인데 성대마비는 제 10번 뇌중추신경으로부터 말초의 반회후두신경의 마비로 인한 dysarthria로 마비된 측의 성대가 부정중선 부위에서 마비되게 되는데 이는 마비되지 않은 운상갑상근에 의해 성대가 내전되기 때문이다. 세 번째로 삼관육아종은 후두수술이나 기관지경검사, 또는 기관내 삼관술 후에 잘 발생한다. 네 번째로 후두유두종이 있는데 이는 후두의 양성종양중 가장 흔한 종양이며 소아형과 성인형으로 분류할 수 있으며 소아형인 경우 다발성이고 재발이 흔하다. 다섯 번째로, 본 연구에서 다루게 되는 성대폴립 및 결절은 지속적인 음성남용 또는 무리한 발성에 의한 국소적 염증반응에 의해 생기고 직업적으로 음성남용이 많은 사람에게 잘 생긴다. 지속적인 애성이 나타나고 음성피로가 쉽게 나타난다. 특히 폴립의 경우 크기와 위치에 따라 증상의 변화가 다양하며 범발성인 경우는 심하면 호흡곤란도 야기된다. 본 연구에서는 이러한 성대폴립이 있는 환자와 정상성인 남자를 대상으로, 1995년 Kay사에서 개발한 EGG Model 4338을 중심으로 하여 발성시 나타나는 성대의 운동양상이 어떻게 다른가를 기술하고자 하였다. 본 연구의 목적은 이러한 연구를 통하여 한국어의 폐쇄자음의 후두기전을 규명하고 성대병변이 있을 때의 성대진동 및 발화시 후두의 운동변화를 관찰하여 향후 임상치료의 기초자료로 사용하고자 함이다.

2.0 연구방법

2.1. 피실험인

한국어 폐쇄자음의 연구를 위해서는 전라방언을 구사하고, 임상적으로 후두질환 및 조음장애가 없으며, 정상적인 언어생활을 하고 있는 성인남자 1명을 대상으로 하였다. 그리고, 성대폴립 환자 및 정상인의 성대양상을 연구하기 위해서는 대조군으로 후두질환 및 조음장애가 없는 정상성인 남자 3명을 대상으로 하였고, 실험군으로는 1998년 1월-3월까지 전북대학교 대학병원 이비인후과에 내원하여 성대폴립 진단을 받고, 폴립수술전 언어치료실에서 음성검사를 받은 환자 10명을 대상으로 하였다.

표 1. 피실험인 수

단위: 명

한국어 폐쇄자음	1	
	실험군	대조군
성대폴립 환자 및 정상인 비교	10	3

2.2. 음성언어표본

음성언어표본은 표 1에서 나타난 바와 같이 한국어 폐쇄자음의 연구를 위해서는 CV(C: /p/, /p^h/, /p'/, V: /e/)형태의 단음절로 하여 10회씩 발음하도록 하였으며, 성대폴립 환자의 성대 양상을 분석하기 위해서는 지속모음 /a/를 정상피치 (comfortable pitch), 고피치 및 저피치로 발성하도록 하여 측정하였다.

표 2. 한국어 폐쇄자음 및 성대폴립 환자의 음성언어표본

한국어 폐쇄자음	베 /pe/ 폐 /p ^h e/ 뻤 /p'e/ 각각 10회씩 발음
성대폴립 환자 및 정상인 비교	지속모음 /a/ (정상, 고, 저피치로 발성)

2.3. 실험장비

한국어 폐쇄자음의 특성을 연구하기 위해서는 Kay사에서 시판된 Laryngograph, DSP Sona-Graph model 5500, CSL model 4300B, Rhino-Laryngeal Stroboscope를 사용하였고 성대 폴립 환자의 성대 양상을 분석하기 위해서는 1995년 Kay사에서 개발한 EGG model 4338을 사용하였다.

CSL model 4300B는 음성신호를 500 kHz 샘플링과 16비트 해상정도로 스펙트럼, 음형태 변화, 피치 추출, 파워 스펙트럼 분석 및 LPC 분석 등을 실행한다. CSL의 구성은 굳은모(hardsare)에서 외장 모듈과 컴퓨터 내장 보드로 구성되어 있다. 음성은 마이크를 통해 전기 신호로 바꾸고 증폭기와 low pass filter(22.5 kHz 100 dB/oct)를 통해 음성신호를 필터링한 다음 A/D 변환기 (100 kHz 16 bit)를 통해 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한 다음 80 MHz로 작동하는 digital filter DSP16A 보드를 사용하여 주파수 영역을 20, 16, 10, 8, 5, 4, 2, 1 kHz로 선택한 다음 개인용 40 MHz로 작동하며 컴퓨터 버스에 연결된 제 2의 DSP보드(320C25)에 의해 음성 신호를 모니터 상에 실행한 다음 분석 및 저장을 한 다음 다시 D/A 전환기(50 kHz 12 bit)로 통해 스피커로 재생된다. CSL의 무른모(software)는 메뉴 선택시의 "윈도우" 환경에서 실행되며 음파, FFT, LPC 다양한 음역대에 의한 스펙트럼, 피치 tracking 및 음형태 tracking을 분석한다.

EGG processing option model 4338은 실제 시간(real time)으로 EGG 파형을 분석하고 보여준다. EGG 신호는 시판용 electroglottograph(즉 laryngograph)로부터 출력한다. CSL 디지털 신호 프로세서를 사용하면서 이 프로그램은 DC float와 신호의 베이스를 일그러뜨리지 않고 broadband noise를 소거하는 동안 EGG신호를 진행시킨다. 그 다음 신호는 보여지고 파생된 quotient의 real-time 분석은 추출된 기저주파수와 함께 동시적으로 time-varying contour로써 보여진다. 사용자는 나타나는 6가지 quotient들 중 선택할 수 있다. 음향신호와 EGG신호는 16 bit에서 동시에 포착되고 50 kHz sampling rate로 포착된다. 이 프로그램은 EGG신호를 위해

자동적으로 CSL상에 DC-coupled input selection을 사용한다. 데이터의 EGG파형과 quotient display는 time-linked커서로 분석되어질 수 있으며 비교될 수 있다. 통계(수치)는 또한 모두 산출되거나 혹은 파형의 선택된 부분만 산출될 수 있다. 이 소프트웨어는 EGG신호가 음성평가를 위한 성대접촉 패턴의 분석과 biofeedback을 위해 사용된다. 환자들은 real time에서 그들의 목소리의 양상이 변화하는 결과를 볼 수 있다.

2.4. 분석항목

가. 한국어 폐쇄자음의 분석

- (1) Glottal opening time(GOT)을 측정하여 성문의 개방정도를 측정하였다.
(부록 1 참조)
- (2) 자음파열 이전 혹은 파열순간 baseline이 최대 이동된 지점까지의 높이(peak of consonant1(PC1))(부록 2 참조)

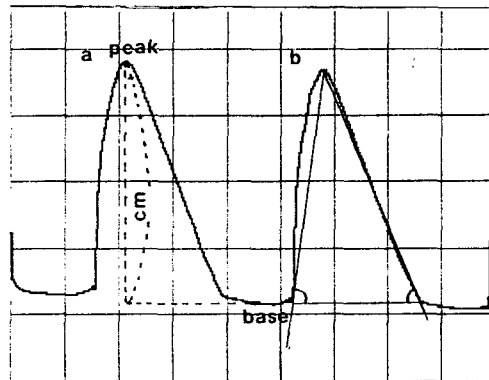


그림 1. 모음진동 곡선의 높이(PV2) 및 각도의 측정

- (3) 자음파열 이후 첫 번째 모음진동 곡선에서 그 다음 열 번째까지의 모음진동 곡선 각각의 baseline에서 정점까지의 높이(peak of vowel 2(PV2)) (그림 1a)
 - (4) 자음 파열이후 첫 번째 모음진동 부분에서 그 다음 열 번째까지의 모음진동 곡선의 각도(그림 1b)
 - (5) 피치
- 나. 성대 폴립 환자 및 정상인의 EGG 분석(부록 3참조)
- (1) pitch
 - (2) jitter
 - (3) open/close 정도

3.0. 연구 결과

3.1. 한국어 폐쇄자음 분석

표 3. 한국어 폐쇄자음 분석 결과

	GOT(ms)			PC1(cm)			PV2(cm)			각도					
										OPEN-CLOSE			CLOSE-OPEN		
	/pe/	/p ^h e/	/p'e/	/pe/	/p ^h e/	/p'e/	/pe/	/p ^h e/	/p'e/	/pe/	/p ^h e/	/p'e/	/pe/	/p ^h e/	/p'e/
1회	42.0	52.0	18	+0.40	+0.88	-0.29	1.758	1.275	3.674	73.75	74.23	81.77	63.20	65.93	72.51
2회	41.0	48.0	6	+0.49	+0.69	-0.40	2.619	1.929	3.818	76.45	76.97	82.50	62.90	72.89	70.65
3회	29.0	46.0	9	+1.00	+1.24	-0.45	2.663	2.317	3.544	77.83	80.17	82.68	61.66	73.09	70.01
4회	31.0	50.0	25	+1.10	+1.10	-0.43	2.659	2.998	3.412	79.20	80.61	82.89	59.44	73.92	68.92
5회	45.0	46.0	10	+0.65	+1.70	-0.48	2.638	2.735	3.334	79.91	81.35	83.36	58.93	72.77	68.42
6회	56.0	54.0	15	+1.20	+0.82	-0.65	2.644	2.813	3.295	80.34	81.74	83.36	58.85	71.84	68.07
7회	42.0	45.0	17	+1.10	+2.17	-0.30	2.596	2.870	3.280	80.35	82.07	83.41	59.25	71.17	68.09
8회	34.0	50.0	20	+0.60	+1.20	-0.67	2.576	2.833	3.265	80.60	82.29	83.25	59.45	70.50	67.90
9회	37.0	54.0	25	+0.70	+1.70	-0.39	2.555	2.831	3.223	80.62	82.54	83.32	59.15	70.05	67.86
10회	39.0	57.0	25	+0.68	+0.60	-0.67	2.564	2.858	3.183	80.61	82.70	83.28	59.30	70.17	67.50
평균	39.6	50.2	17	+0.79	+1.21	-0.45	2.520	2.550	3.400	78.96	80.00	83.00	60.21	71.23	68.9

GOT: GOT는 자음파열 시작부터 모음진동 시작까지의 시간을 말하며, 이는 음향학적 파라미터 VOT에 해당한다 하겠다. 한국어 폐쇄자음의 GOT값은 예사소리는 그 길이가 평균 39.6 ms이었으며, 거센소리는 50.2 ms, 된소리는 17 ms로 거센소리에서 성문개방이 가장 크며, 그 다음 예사소리, 된소리 순이었다.

PC1: 한국어의 거센소리에서는 +1.21 cm, 예사소리의 경우는 +0.79 cm, 된소리의 경우는 -0.45 cm 이었다. 거센소리의 경우는 예사소리, 된소리와 비교해 볼 때 상대적으로 자음파열 이전 준비 단계의 길이가 길고, 그 높이가 또한 더 높았다. 그러나 된소리의 경우 PC1 부분이 이 두 기식자음과는 달리 자음파열 순간에 발생하는 것을 알 수 있으며 그 높이는 negative 형태로 나타나 다른 두 자음과는 분명히 다른 양상을 보였다. 이러한 자음 발화 시 성대움직임에 관해 후두 내시경에 의한 분석과 후두근전도 검사에 의한 분석이 몇몇 연구자들에 의해 보고된 바 있는데 Kagaya(1974)의 후두 내시경 연구를 살펴보면, 된소리는 성대가 완전히 닫혀 있으면서 성문하 공기압이 증가되어 있는 상태에서 경직된 성대가 갑자기 이완되면 성대의 좁은 사이를 통해 공기가 나오면서 자음파열이 이루어지게 되고 거센소리의 경우는 증가된 성문하 공기압에 의해 성대가 열린 상태에서 공기가 나오면서 파열이 되지만 예사소리의 경우에는 위의 특이한 현상들이 나타나지 않았다고 보고한 바 있다.

PV2: 모음의 평균높이는 예사소리 뒤에서 2.52 cm, 거센소리 뒤에서 2.55 cm,

된소리 뒤에서 3.4 cm로 된소리 뒤에서 가장 높았으며, 그 다음 거센소리, 예사소리 순이었다. 한국어의 된소리를 'glottalization' 혹은 'laryngealization'라고 서술한 Lisker(1972)와 Ladefoged(1973)의 설명에 따르면, 자음 파열이 있기 전 다른 두 기식자음에 비해 성대근의 활동이 현저하게 증대하며 이는 곧 성대 내부긴장의 증가뿐 아니라 조음폐쇄 바로 이후 혹은 그 폐쇄동안 성문협착의 증가를 가져온다고 하였다. 이러한 긴장성으로 인하여 된소리 뒤에 오는 모음의 높이도 그 영향을 받아 가장 높다 하겠다. 이러한 된소리의 특성과 관련하여 Kim(1987)은 된소리 뒤에 오는 모음의 최대강세는 강한 모음의 시작(attaque vocalique intense)으로 가장 크고, 그 다음 거센소리와 예사소리 순이며, 뒤에 오는 모음의 최대강세의 변화가 세 가지 무성폐쇄음의 각각의 다른 유형을 구분하는데 있어서 음향학적인 지표가 된다는 것을 시사해주며 다시 말해 자음 뒤에 오는 모음의 최대강세는 자음의 조음적 세기와 관련하여 변한다고 기술한 바 있다. 이러한 한국어의 된소리의 특징으로 인해 된소리 뒤에 오는 모음의 높이가 가장 높게 나타난 것으로 보인다.

모음진동 곡선의 각도: 내전시 평균각도는 된소리 뒤에 오는 모음의 각도가 83° 로 가장 크게 나타났고 그 다음 거센소리(80°), 예사소리(78.96°)순이었다. 외전시 평균각도는 거센소리 뒤에 오는 모음각도가 71.23° 로 가장 크게 나타났고 그 다음 된소리(69°), 예사소리(60.21°)순이었다.

표 4. 한국어 폐쇄자음에 후행하는 모음에서의 피치

단위: Hz

횟수	/pe/	/p ^h e/	/p'e/
1회	113.60	172.41	185.18
2회	108.69	156.25	172.41
3회	104.16	156.25	166.66
4회	108.69	161.29	178.57
5회	106.38	151.51	178.57
6회	113.63	172.41	156.25
7회	113.63	161.29	166.66
8회	111.11	156.25	161.29
9회	106.38	159.25	156.25
10회	109.49	156.25	167.33
MEAN	130.00	160.00	167.33

피치: 예사소리 뒤에 오는 모음의 피치는 평균 130 Hz이었고 거센소리 뒤에 오는 모음의 피치는 160 Hz이었고 된소리 뒤에 오는 모음의 피치는 167.33 Hz로 된소리 뒤에 오는 모음에서 피치가 가장 높았고 그 다음 거센소리, 예사소리 순이었다. Han and Weitzman(1970)은 narrow - band spectrogram으로 Fo를 측정하였는데 그 결과 거센소리와 된소리 뒤에 오는 Fo의 값이 예사소리 뒤에 오는 Fo보다 좀더 높다고 보고한 바 있으며, Kagaya(1974)는 예사소리가 Fo값이 낮은 이유는

성대가 느슨해지고 성문에서의 transglottal 압력차이가 작기 때문이라고 보고한 바 있다.

3.2. 성대폴립환자 및 정상인 EGG 분석

피치: 폴립 환자의 평균 정상 피치는 132.8 Hz이었고, 정상인의 경우는 110.71 Hz이었다. 그리고 고피치를 발생시켰을 때 폴립환자의 경우는 252.8 Hz, 정상인은 303 Hz이었고, 저피치의 경우는 폴립환자는 110.5 Hz까지, 정상인은 85.16 Hz까지 발생시킬 수 있었다.

Jitter: 정상피치 발생시 성대폴립환자의 평균 jitter 값은 1.84 %, 정상인은 0.41 %였고, 고피치 발생시 폴립환자는 1.4 %, 정상인은 0.22 %, 그리고 저피치 발생시 폴립환자는 2.32 %, 정상인은 0.37 %로 폴립환자는 모든 발생시 Jitter 값이 1 % 이상을 보였으며 특히 저피치시 jitter 값이 가장 높았다.

표 5. 성대폴립 환자 및 정상인의 pitch range 와 jitter값

실험군	comfortable pitch		high pitch		low pitch	
	pitch(Hz)	jitter(%)	pitch(Hz)	jitter(%)	pitch(Hz)	jitter(%)
P1	121.75	2.10	304.0	0.65	110.0	1.42
P2	129.70	1.23	292.4	2.00	118.0	5.04
P3	145.02	1.54	362.0	1.58	94.0	1.02
P4	124.03	1.55	218.0	0.33	153.0	1.49
P5	133.00	1.72	234.0	5.13	99.0	4.85
P6	129.20	10.58	208.0	0.96	106.2	0.20
P7	139.75	0.16	230.0	2.50	103.5	5.50
P8	142.79	0.36	304.0	0.45	86.5	3.13
P9	132.00	0.41	195.3	0.55	104.0	0.20
P10	131.00	0.36	181.0	1.13	130.9	0.41
MEAN	132.80	1.84	252.8	1.40	110.5	2.32
대조군	comfortable pitch		high pitch		low pitch	
	pitch (Hz)	jitter(%)	pitch (Hz)	jitter(%)	pitch (Hz)	jitter(%)
N1	126.16	0.31	320	0.24	84.14	0.38
N2	109.69	0.17	309	0.21	93.50	0.38
N3	96.30	0.77	280	0.22	77.85	0.37
MEAN	110.71	0.41	303	0.22	85.16	0.37

CQ와 OQ: 하나의 진동 cycle을 closed phase, closing phase, opening phase, open phase, opening+open phase, cycle 이렇게 6가지로 나누어 1 : 6에 해당하는 contact quotient(CQ), 4 : 6에 해당하는 open quotient(OQ)를 parameter로 정하였다. 먼저, 정상피치(comfortable pitch) 발생시 폴립환자의 CQ와 OQ는 각각 40.3 % / 59.67 % 였고, 정상인의 경우는 46.15 % / 53.83 %, 고피치 발생시 폴립환자의 CQ와 OQ는 43.12 % / 56.83 %이며 정상인의 경우는 46.5 % / 53.43 %이었고 저

피치 발생시 폴립환자의 CQ와 OQ는 38.99 % / 60.98 % 이었고 정상인의 경우는 41.64 % / 58.35 %였다(표 6 참조).

파형의 형태: 파형의 형태를 살펴보면 정상, 고, 저피치 모두에서 정상인과 비교해 볼 때 불규칙한 형태를 보이거나 일그러진 형태를 갖는다는 것을 알 수 있었다. 또한 발생시 피치가 두 가지로 나타나는 vocal fry 현상이 나타났다.

성대폴립 환자에서 나타나는 EGG 파형의 형태를 보면 정상피치, 고평치, 저피치 발생시 모두에서 파형의 형태가 일그러져 있거나, 대단히 불규칙한 양상을 보여 준다. 이는 성대진동 부분의 이상으로 인해(mass등과 같은 이상) 성대가 진동 할 때 비정상적인 진동을 하고 있다는 것을 보여주며, 이러한 이유로 인해 jitter값 또한 정상인에 비해 높은 값을 보인다는 것을 알 수 있다(부록 4 참조).

성대폴립 환자의 발생에서 나타나는 또 다른 현상은 그림 2, 그림 3에서 보는 바와 같이 vocal fry가 특징적으로 나타났다는 것이다. vocal fry는 정상인이 아주 낮은 소리를 발생할 경우 청각적으로 ‘그렁그렁한, 거친, 성근’ 소리로 들리는 소리이다. 성대병변이 있는 환자의 경우 정상적인 편안한 발성(modal register)을 할 때 성대 진동 부분의 mass로 인해 진동주기에 문제가 생겨 vocal fry 현상이 나타나게 된다. 그림 2에서 보는 바와 같이 narrow-band spectrogram상 harmonic과 harmonic 사이에 subharmonic이 나타나며, 이것은 고주파수대로 갈수록 희미해진 다. 또한 이러한 현상으로 인해 그림 2의 피치창에서도 보는 바와 같이 피치가 정상적으로 나타나다가 중간에 정상피치의 약 이분의 일에 해당하는 주기로 진동하는 양상을 볼 수 있다. 이러한 현상이 EGG의 open/close contour와 피치 contour에서도 나타나 그림 3에서 보는 바와 같이 피치곡선에서 이중으로 피치가 나누어지고, open/close 곡선의 형태도 이중으로 나누어지는 것을 확인할 수 있다.

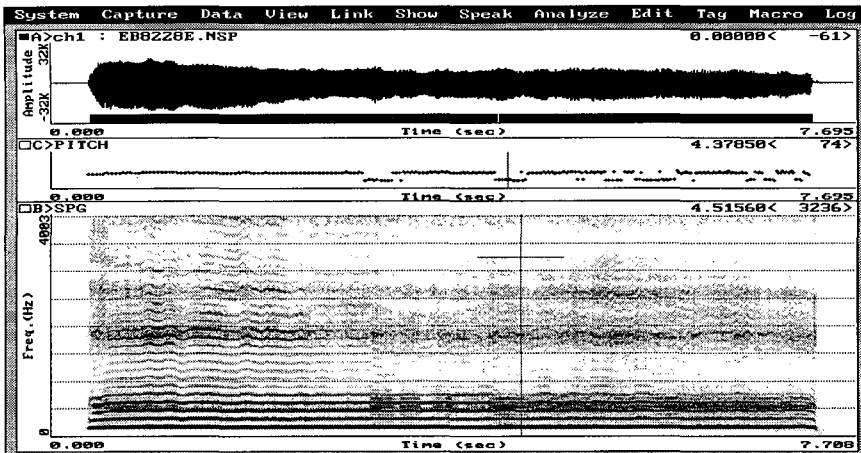


그림 2. 성대폴립 환자 발생시 spectrogram narrow-band filter에서 나타나는 vocal fry 현상

표 6. 성대폴립 환자 및 정상인 CQ 와 OQ 값

단위: %

실험군	comfortable pitch		high pitch		low pitch	
	CQ	OQ	CQ	OQ	CQ	OQ
P1	36.89	63.09	44.10	55.88	36.95	63.03
P2	35.17	64.81	42.69	57.29	38.22	61.76
P3	39.54	60.44	44.84	55.14	37.37	62.61
P4	40.00	59.98	40.44	59.54	35.35	64.63
P5	38.34	61.64	41.19	58.79	40.60	59.38
P6	41.88	58.10	44.87	55.11	40.77	59.21
P7	42.70	57.28	42.70	57.28	39.63	60.35
P8	42.06	57.92	42.06	57.92	41.54	58.44
P9	43.19	56.79	43.26	56.72	38.74	61.24
P10	43.26	56.72	45.06	54.92	40.75	59.23
MEAN	40.30	59.67	43.12	56.85	38.99	60.98
대조군	comfortable pitch		high pitch		low pitch	
	CQ	OQ	CQ	OQ	CQ	OQ
N1	46.24	53.74	44.39	55.59	45.42	54.56
N2	45.69	54.29	48.18	51.80	35.95	64.03
N3	46.52	53.46	47.07	52.91	43.57	56.41
MEAN	46.15	53.83	46.54	53.43	41.64	58.33

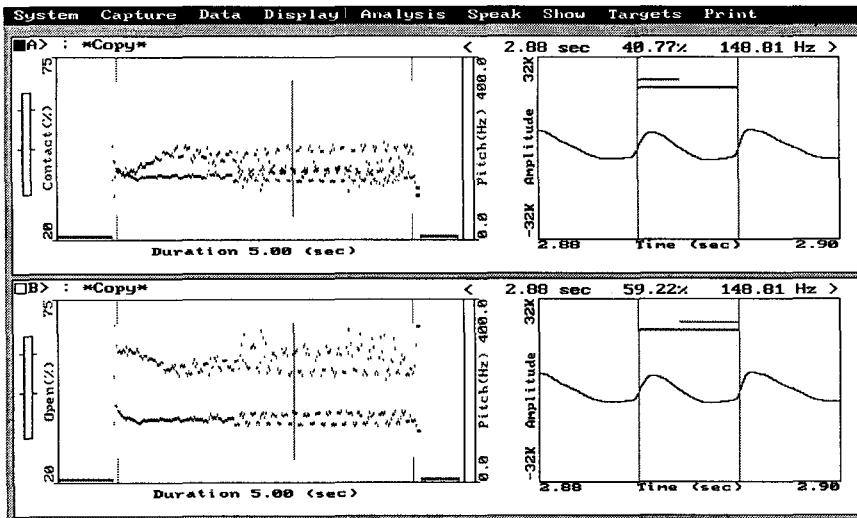


그림 3. 성대폴립 환자 발성시 EGG파형에서 나타나는 vocal fry 현상

4.0 총괄 및 고찰

전기 glottography는 Fabre에 의해 처음 개발된 이래로 해를 거듭하면서 약 50년 이상 재개발 되어오는 가운데 이를 이용한 많은 연구에 의해 neurochronaxic 이론의 검증에 적용되었고, breathy voice, vocal register, vocal fry 및 후두질환자의 성대활동 등의 진단 병리 혹은 음성언어 치료장비로도 많이 사용되고 있다. 상품화된 전기 glottography는 F-J Electroglottography, Voiscope, Laryngograph 등이 있으며, 가장 최근에 모든 음향신호들이 디지털화되면서 전기 glottography의 측정 방법도 컴퓨터 프로그램화 되면서 Computerized Speech Lab.에 부착된 EGG 모델 4338이 시판되고 있다. 이러한 EGG 사용의 증가 추세는 각 실험실 및 병원에서 음성 재활을 위해 그 중요성이 인식된 결과이다. 그러나 실제로 전기 glottography를 이용한 평가에는 아직도 많은 논란이 있는 상태이다. 특히 EGG 파형의 판독에 여러 가지 문제점을 안고 있는 바, 이는 실제 복잡한 성대진동 양상에 의해 생기는 것으로 여러 보고에 의하면 전기 glottography에 의한 양측 성대 사이의 전기 저항도는 실제 성문의 열림의 정도를 의미하는 것이 아니라 양측성대 사이의 접촉율을 의미하는 것이다. 정상적인 목소리의 발성시 성대의 진동 양상을 보면 zipper와 같은 원리로 성대의 앞부분부터 뒤로 운동이 진행된다. 즉, 성문하호기압에 의해 성대가 열리고 다시 Bernouilli 효과로 생기는 음압으로 인해 성대가 닫히게 되므로 성대하순이 닫힘으로서 성대접촉이 시작되고 그 후 성대 상순이 닫힘으로서 완전한 성대접촉이 이루어지고 다시 성문하호기압이 증대되어 성대하순이 열리기 시작하여 그 다음 성대상순이 열리게 되어 성대의 접촉율이 전혀 없게 된다. 그러므로 Ohm's 법칙과 같은 원리로 되어있는 전기 glottography에 의해 성문의 열림의 정도를 측정하는 것은 불가능하다는 것이 지배적이며 대신 양측 성대가 접촉함으로써 발생하는 전기저항의 정도를 측정함으로써 성문의 접촉율을 측정할 수 있다. 그러므로 EGG에 의해 측정되는 전기저항도는 성대의 접촉면(tissue cross-sectional area)과 접촉된 성대의 길이의 정도(tissue path length)를 동시에 복잡하게 나타내는 수치이다. EGG 파형에 영향을 줄 수 있는 요인으로는 여러 가지가 있는데 실제 임상에서 사용할 때는 이러한 요소를 최소화 시켜려는 노력이 필요할 것으로 보인다. 먼저 감상연골 위에 부착되는 전극의 위치에 따라 파형이 다르게 나타나므로 정확히 성대위치에 위치해야 한다. 또한 피부하 지방도 절연체의 역할을 하기 때문에 경부피하조직이 많은 경우에도 판독에 어려움이 따른다. 또한 발성시 후두의 기계적 진동에 의한 소위 “마이크로폰” 효과나 후두의 상하운동과 성문 이외의 원인에 의한 “입피던스”의 변화 등과의 분리가 곤란하다는 한계를 갖고 있다. Ewan and Kronen(1974)와 Shipps(1975)는 이러한 변화에 대한 연구를 시행한 바, 이러한 변화의 기전은 후두가 상승하면 따라서 감상연골사이의 전극은 그대로 있고 성대가 상승함으로써 양측 전극사이의 전류의 흐름이 하강되고 저항도가 증대될 것이고

또한 하강해도 같은 현상으로 저항도가 증대될 것이다. 또 한가지는 인두내의 압력의 변화로서 압력이 증대되면 인두주위 조직에 압박이 초래되어 전기저항이 증대하므로 전류의 흐름이 하강됨으로서 직접적인 영향이 초래되어 EGG 파형의 급격한 변화가 나타나게 되는 것이라고 보고하였다.

Hong(1996)은 전기 glottography와 aerophoneII를 이용하여 한국어 폐쇄자음 발화시 후두의 조음 역학적인 특성을 기술한 바, 폐쇄음 발성시 저항도의 증대는 인두내의 압력증대에 의한 것이고 또한 이어지는 성대발성의 주파수 증대에 따른 성대의 상승으로 인해 전극사이의 전류의 흐름이 하강되고 저항도가 증대되므로 EGG 파형에 의한 저항도의 측정이 각종 자음 발성시의 긴장도를 간접적으로 측정할 수 있는 방법으로 이용될 수 있다. 그러므로 예사소리에 대해서는 인강내의 긴장도의 상승과 약간의 주파수 상승을 위한 후두의 상승으로 전기저항이 증대되며 거센소리에 대해서는 인강내의 과도한 긴장도 상승과 주파수 상승으로 인한 성대의 상승으로 전기저항도의 급격한 변화를 초래하며 된소리에 대해서도 기식음과 마찬가지로 전기저항도의 급격한 상승을 초래한다고 보고하였다.

본 연구에서는 EGG 파형 분석을 통해 먼저, 영어나 불어와 같은 이중대립 체계와 달리 삼중대립으로 이루어진 한국어 폐쇄자음 발화시 성대의 개방정도와 각각의 자음발성시 성대의 움직임의 양상과 후행하는 모음에 끼치는 영향을 알아보고, 각각의 자음의 긴장성의 정도를 알아보고자 하였다. 성대의 개방정도는 거센소리에서 가장 컸고 된소리에서 가장 작았다. Kagaya(1971)의 fiberoptic 관찰을 통해 보면 성문 넓이의 time course와 뒤에 오는 모음 부분에서의 성문상태에서 폐쇄음 유형이 차이가 있다. 먼저 거센소리는 발화처음 phase에서 성문넓이가 증가하고 다음에 오는 유성음을 위해 빨리 닫힌다. 성문넓이의 최대상태는 respiratory position의 최대넓이와 비길만하다. 예사소리에서 성문은 점차적으로 닫히고, 조음과열이후에 거센소리와 비슷한 방식으로 다음 유성음을 위해 빠른 내전이 발생한다. 된소리는 성문은 빨리 닫히고 유성음 시작 전에 vocal process의 완전한 접촉이 보인다고 보고하였다.

자음 발성시 EGG 파형에 나타난 성대의 움직임의 양상을 보면, EGG 파형의 baseline의 이동정도가 거센소리에서 가장 많았고, 된소리에서는 negative를 보여 기식성 자음들과는 뚜렷이 구분되는 특징을 보였다. 각각의 자음이 모음에 끼치는 영향을 알아보기 위해 모음에서의 높이를 측정하였는데 된소리 뒤에 오는 모음에서의 높이가 다른 두 자음 뒤에 오는 모음에서의 높이와 뚜렷이 구분되어 가장 높게 나타났다. 이러한 된소리에서의 특징에 대해 Hirose(1974, 1981)는 한국어 폐쇄음에 대해 성대근만을 이용하여 연구하였는데 된소리에 대한 성대근의 활동양상을 보면 과열이 있기 전의 다른 것에 비해 활동저하 없이 급격한 활동증대를 나타낸다고 보고하였고, 이러한 현상을 Lisker(1972)와 Ladefoged(1973)는 'laryngealization' 또는 'glottalization'이라고 서술하여 된소리의 이러한 현상을 주

로 성대근의 이러한 활동양상으로 설명하였다. 폐쇄음의 긴장성의 정도를 규명해 보기 위해 각각의 자음 뒤에 오는 모음에서의 각도를 측정해 보았다. 특히 본 연구에서는 된소리와 거센소리의 긴장성의 정도를 EGG를 통해 규명하고자 하였으나, 된소리와 거센소리의 긴장성의 크기를 규명하기는 어려웠고, 단지 본 연구를 통해 된소리는 내전시가 외전시보다 성대의 긴장도가 컸고, 거센소리는 성대 외전시가 내전시보다 성대의 긴장의 정도가 크다는 것을 보여주었다. 또한 각각의 자음 뒤에 오는 모음에서의 피치를 측정하여 예사소리에서의 피치가 된소리나 거센소리 뒤에 오는 모음에서의 피치보다 낮게 나타나 선임연구자들(Han and Weitzman 1970, Kagaya 1974)의 결과와 일치하였다

두 번째로 EGG 파형 분석을 통해 성대폴립 환자와 정상인을 비교 연구하였다. 아래의 3가지 그림은 pitch range, jitter, CQ and OQ를 측정한 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

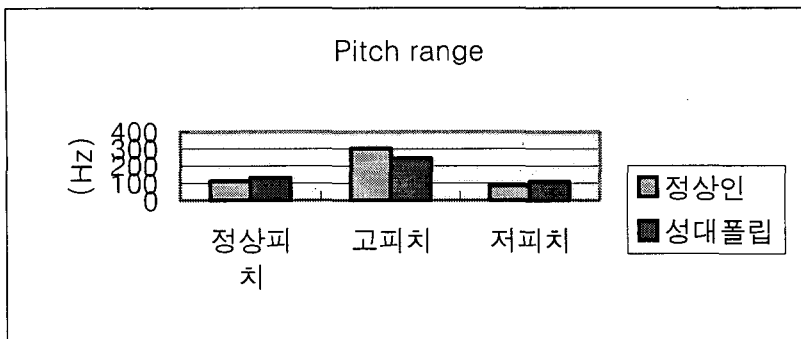


그림 4. 성대폴립 환자 및 정상인의 피치 range비교

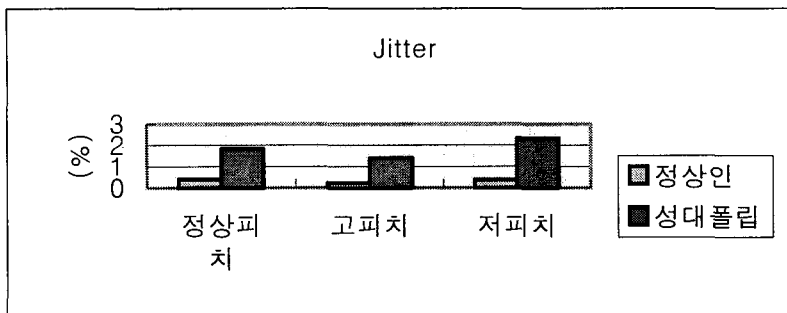


그림 5. 성대폴립 환자 및 정상인의 Jitter 비교

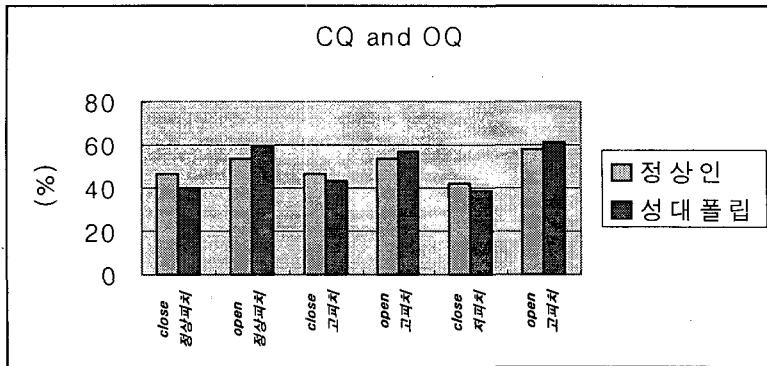


그림 6. 성대폴립 환자 및 정상인의 CQ와 OQ 비교

성대폴립이 발생시 성대에 어떠한 영향을 끼치는가를 알기 위해 피치 range, jitter, CQ, OQ, EGG 파형의 형태 등을 측정하였다. 음성의 높이, 즉 음성의 기본 진동수는 발생시의 성대의 진동수에 의해서 결정된다. 따라서 음성의 높이에는 성대의 진동수에 관여하는 물리적 요인, 즉 성대 진동부분의 길이, 질량, stiffness 등이 반영된다. 또 이런 것의 물리적 요인에는 후두의 크기 등의 구조적인 특징, 후두근의 동작 상태, 혹은 성대 조직의 성상 등이 관련하고 있다. 발생기능의 임상 검사법으로서 음성의 높이를 피아노 등의 악기음을 지표로 해서 청각적으로 판정하는 방법이 전통적으로 행해져서 현재도 쓰여지고 있다. 후두마비, 성대구증, 폴립 양성대, 단백동화 호르몬 또는 남성호르몬에 의한 여성의 발생장애 등에서 성역폭에 문제가 생길 수 있는데, 거의 모든 질환에서 성역상한은 내려가는 경향이 분명하다. 일본음성언어의학회(1992)에서 각 질환별로 성역을 측정한 결과 후두마비, 성대구증에서는 성역 하한이 상승하여 성역이 좁아지고, 폴립 양성대에서는 성역 전체가 하방으로 이동하며 특히 성역상한의 저하가 현저하다. 호르몬 부작용에 의한 여성의 발생장애에서도 성역은 전체가 저음으로 이동하나, 성대폭은 좁지 않다. 이와 같이 성역의 검사는 음성의 높이뿐만이 아니라 숨은 음성의 증상을 끄집어내려고 하는 점에서도 임상적으로 중요한 의미를 갖는다. 본 연구에서 이러한 피치 range를 측정한 바, 폴립환자는 성역상한이나, 성역하한에서 혹은 둘 다에서 발생시 어려움을 갖는 것으로 나타났다. 두 번째로 jitter 값을 측정하였는데, Isshiki and Ishizak(1976)는 성대의 비대칭적인 진동은 스펙트럼에서 subharmonic 구조를 나타내게 하여 이것은 rough 혹은 creaky sound로 산출된다고 보고하였다. Anita McAllister(1996) 등은 stiffness, 결절 혹은 성대의 다른 비정상적인 상태는 성대진동 패턴을 방해할 것이며 결과적으로 주기성에서의 편차는 건강한 목소리에서 보다 병적인 목소리에서 더 클 것이다. 또한 Fo 곡선의 들쭉날쭉함(jaggedness)은 종종 이웃하는 피치 펄스들간의 주기 시간에 있어서의 차이(dissimilarity)를 의미하는

것으로써 측정되어지고 이를 jitter 혹은 Fo perturbation이라고 부른다고 기술한 바 있다. Oates and Kirkby(1980)는 성대결절이 있는 아동들이 더 높은 Fo 값을 갖고, 더 높은 Fo variability를 갖는다는 것을 발견하였다. Kane and Wellen(1985)은 성대결절이 있는 아동들의 음성장애의 심각성의 정도의 청각적인 판정은 jitter와 shimmer 측정과 깊은 연관이 있다고 보고하였다. 본 연구에서도 이와 같은 결과를 얻을 수 있었는데 성대폴립으로 인한 발성시의 어려움으로 인해 주파수에서의 변동율이 많아 높은 jitter 값을 보였다. 세 번째로 CQ와 OQ를 측정한 결과 성대폴립 환자들은 성대의 mass로 인해 양측 성대의 완전한 접촉이 어려워 상대적으로 높은 OQ값을 보였다. 마지막으로, EGG 파형의 형태는 정상(modal register) 피치, 고프치, 저피치에서 각각 다르게 나타났는데, 그 파형의 형태를 보면, 아주 불규칙하거나, 폐쇄 phase에서 혹은 개방 phase에서의 일그러진 형태를 보여주고 있다. 그리고, rough voice와 같은 청각적 인상을 주는 경우가 많았고, 피치 곡선에서 피치 break 현상을 빈번하게 볼 수 있었으며, 피치가 이중으로 나타나는 현상을 볼 수 있었다. 이 피치 곡선에서의 이중 피치만을 보면, diplophonia를 의심해 볼 수도 있으나, 이러한 판단의 오류를 막기 위해 spectrogram을 narrow-band로 filter해서 동시에 보면, 각각의 harmonic과 harmonic 사이에서의 subharmonic을 볼 수 있기에 vocal fry라는 것을 알 수 있었다.

5.0 결론

한국어 폐쇄자음 발성시 성대의 양상 및 성대폴립 환자 및 정상인에서의 성대의 양상을 비교한 결과 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

먼저 한국어 폐쇄자음의 연구 결과 거센소리의 경우 성대의 열림이 많고 개방시간이 길기 때문에 GOT 값이 길고 PC1 값도 높았으며, 모음의 각도는 된소리의 경우 내전할 때가 외전할 때 보다 성대의 긴장이 컸으며, 거센소리의 경우는 내전시 보다 외전시에 성대의 긴장이 더 크게 나타났다. 이 두 자음을 예사소리와 비교해 볼 때 예사소리는 이 두자음이 갖는 긴장성을 갖지 않는 것으로 나타났다. 또한 한국어 폐쇄자음에서 된소리 뒤에 오는 모음의 높이는 선행자음의 긴장성의 자질에 영향을 받는 것으로 보인다.

두 번째로 성대폴립환자와 정상인과의 EGG 분석결과 성대폴립 환자는 고프치 및 저피치 발성시 정상인 보다 range가 적었으며 EGG 파형 형태에 있어서 역시 정상, 고, 저피치 모두에서 불규칙한 진동 싸이클을 갖거나 정상인의 파형과는 두드러지게 다른 형태를 보였다. 또한 pitch break나 vocal fry현상이 자주 보였으며 그로 인하여 jitter 값은 정상인과 많은 차이를 보이게 되는 것을 알 수 있었다. 그리고 성대 진동 부분의 mass로 인해 내전시 완전한 접촉이 일어나기 어려워 정상, 고, 저피치 모두에서 높은 OQ를 나타내었다. 이와 같이 기질성 음성장애인 성대폴

립은 발성시 pitfh, 내전/외전 등에 큰 영향을 끼치는 것으로 생각되었다.

참 고 문 헌

- 안희영 역. 1992. 음성검사법 일본 음성언어 의학회 편. 진수출판사.
- 최홍식, 김기령, 김광문, 김경수, 조규중. 1990. "전기 Glottography의 임상적 이용." *한이인지*, 제 33권, 제3호, 537-547.
- 홍기환. 1996. "전기 glottography(EGG)와 공기 역학적 연구에 의한 한국어 파열음 발화시의 후두 조음역학적 특성." *어학*, 제 22집, 전북대학교 어학연구소.
- Abramson AS and Lisker L. 1971. "Voice timing in Korean stops." Proceedings of the Seventh International Congress of Phonetic Science, Montreal, The Hague: *Mouton*. 439-446.
- Anita McAllister, Elisabeth Sederholm, Sten Ternstrom and Johan Sundberg 1996. "Perturbation and Hoarseness : A pilot study of six children's voices." *Journal of Voice*, vol. 10, No. 3. september, 252-261.
- Aronson, A. E. 1985. *Clinical voice disorders* 2nd edition. Thieme Inc.
- Baken, R. J. 1987. *Clinical measurement of speech and voice* College-Hill Press.
- Childers, D. G., Hicks, D. M., and Moore, G. P. 1986. "A model for vocal fold vibratory motion, contact area, and the electroglottogram." *Journal of Acoustic Society of America*, 80, 1309-1320.
- Han, M. S. and Weitzman, R. S. 1970. "Acoustic features of Korean /P, T, K/, /p, t, k/ and /p^h, t^h, k^h/." *Phonetics*, 22, 112-128.
- Hardcastle, W. J. 1973. "Some observations on the tense-lax distinction in initial stops in Korean." *Journal of Phonetics*, 1, 263-272.
- Hirose, H. Lee, C. Y. and Ushijima, T. 1974. "Laryngeal control in Korean stop production." *Journal of Phonetics*, 2, 145-152.
- Kagaya, R. 1971. "Laryngeal gestures in Korean stop consonants." *Logopedics*, No. 5.
- Kagaya, R. 1974. "A fiberoptic and acoustic study of the Korean stops, affricates and fricatives." *Journal of Phonetics*, 2, 161-180.
- Kim, H. G. 1978. *La force articulatoire des occlusives du coréen analyse radiocinématographique, mingographique et sonographique* Thèse de doctorat nouveau régime présenté a l'université de strasbourg
- Swashima, M. 1974. "Laryngeal research in experimental phonetics." *Linguistics*, 12, 2304-2380.
- Yoshioka, H. Lofqvist, A. Hirose, H. and Collier, R. 1986 "How voiceless sound sequences are organized in terms of glottal opening gestures." *Ann. Bull RILP*. No. 20. 55-67.

접수일자 : '98. 9. 23.

게재결정 : '98. 11. 10.

▲ 채윤정

전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-18

전북대학교 불어불문학과(우 : 560-190)

Tel: (0652) 250-1811(O), 270-3190

▲ 김현기

전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

전북대학교 불어불문학과 (우 : 560-190)

Tel : (0652) 270-3196 (O), 270-3671 (Phonetics Lab.)

(0652) 77-5457 (H)

Fax : (0652) 270-3296, H/P : 011-241-5457

▲ 홍기환

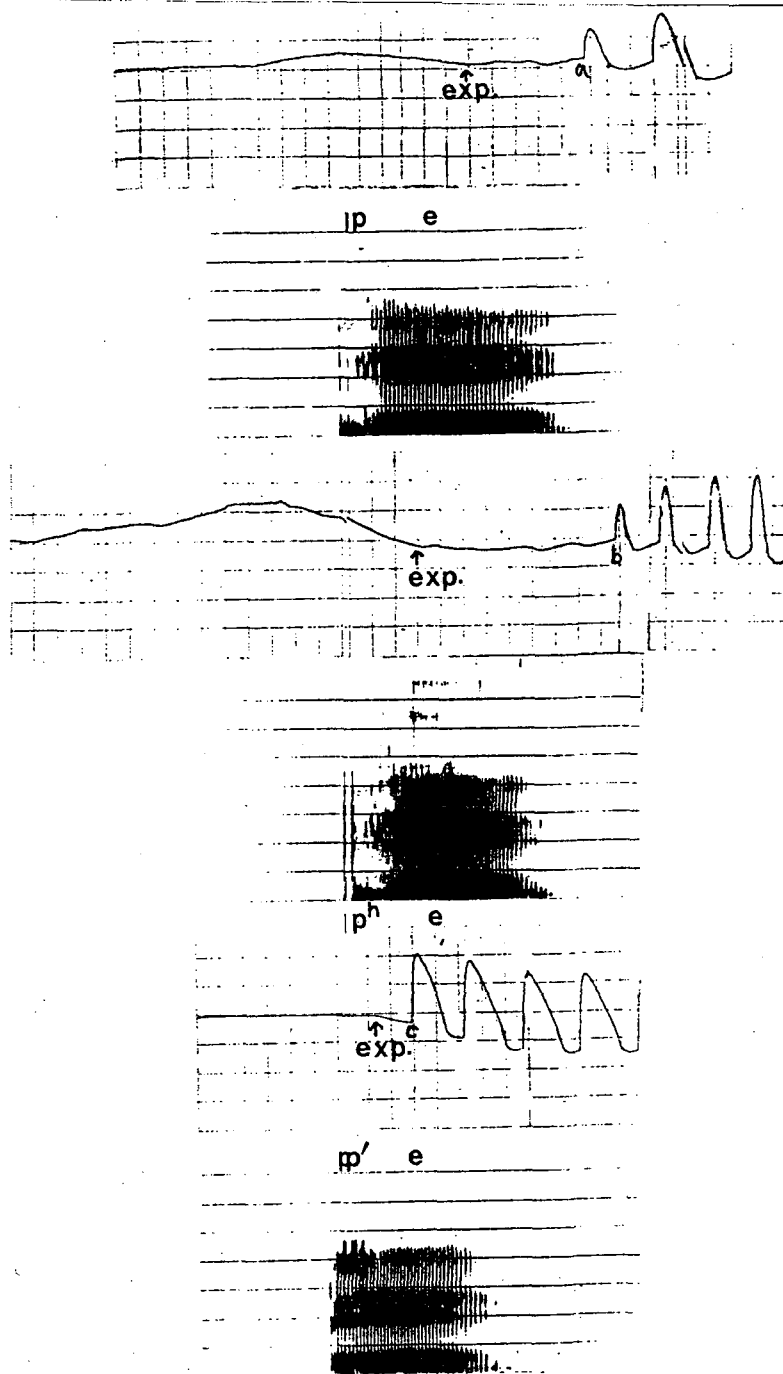
전북 전주시 덕진구 금암동 산 2-20

전북대학교 의과대학 이비인후과교실(우 : 560-182)

Tel : (0652) 250-1980/1985, Fax : (0652) 77-5546

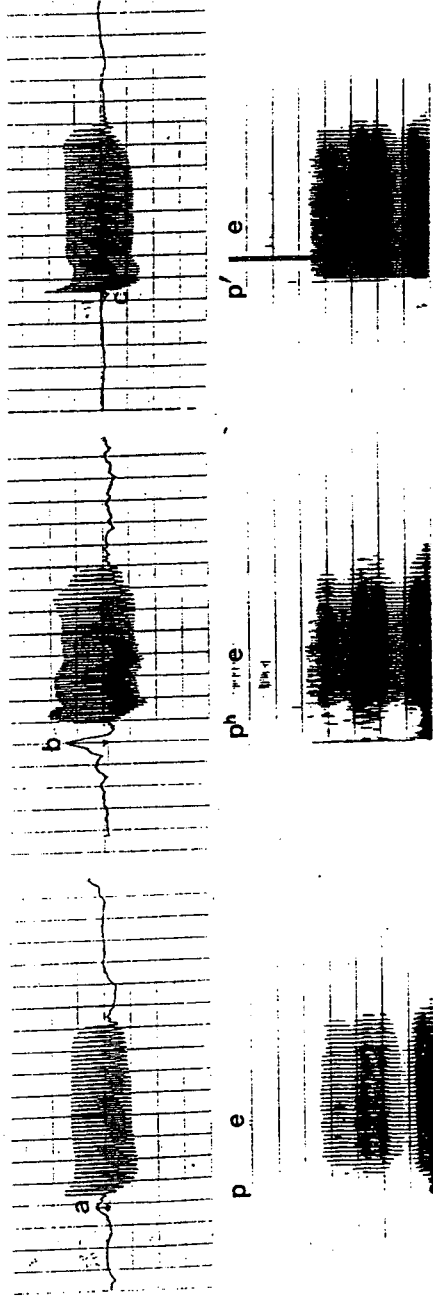
부록 1. 한국어 폐쇄자음의 GOT측정.

각각의 파열(exp.)지점에서 a, b, c까지의 지점측정.

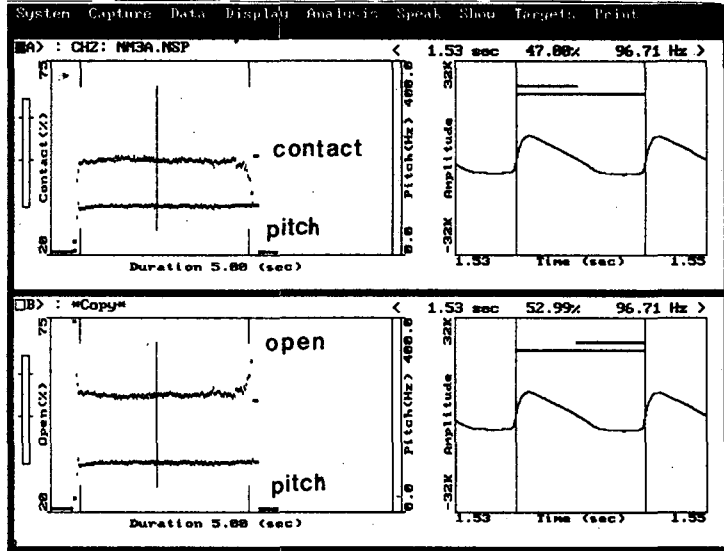


부록 2. 한국어 폐쇄자음이 PCI 측정

각각 자음의 baseline에서 a, b, c지점까지의 높이를 측정.

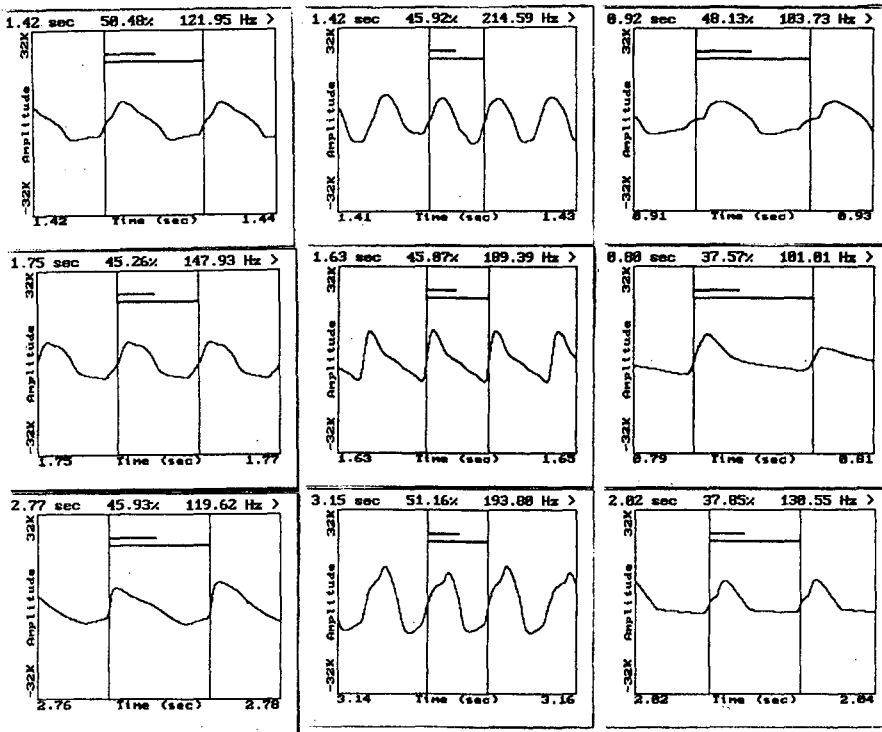


부록 3. 성대폴립 환자 및 정상인의 EGG파형 측정.



	EGG Statistics		
	View A (marked)	View B (marked)	Difference
DURATION	2.47 sec	2.47 sec	0.00 sec
Start time	0.43 sec	0.43 sec	
End time	2.90 sec	2.90 sec	
Silence	0.00 sec	0.00 sec	0.00 sec
Active	2.46 sec	2.46 sec	0.00 sec
PITCH			
Mean	96.30 Hz	96.30 Hz	0.00 Hz
Pitch Range	9.39 Hz	9.39 Hz	0.00 Hz
Minimum	90.41 Hz	90.41 Hz	0.00 Hz
Maximum	99.80 Hz	99.80 Hz	0.00 Hz
Std Deviation	1.46 Hz	1.46 Hz	0.00 Hz
Avg. Jitter	0.77 %	0.77 %	0.00%
CONTACT(1:6)			
Mean	46.52 %	46.52 %	0.00%
Range	6.65 %	6.65 %	0.00%
Minimum	41.31 %	41.31 %	0.00%
Maximum	47.96 %	47.96 %	0.00%
Std Deviation	0.92 %	0.92 %	0.00%
OPEN(4:6)			
Mean	53.46 %	53.46 %	0.00%
Range	6.65 %	6.65 %	0.00%
Minimum	52.02 %	52.02 %	0.00%
Maximum	58.67 %	58.67 %	0.00%
Std Deviation	0.92 %	0.92 %	0.00%

부록 4. 성대폴립 환자에서 나타나는 EGG 파형 형태



정상 피치 발생

고피치 발생

저피치 발생