

## 전기성문전도(EGG) 시스템의 개발 및 평가

김기련<sup>1,3</sup>, 김광년<sup>1</sup>, 왕수건<sup>2</sup>, 허승덕<sup>1</sup>, 이승훈<sup>1</sup>, 전계록<sup>3</sup>, 최병철<sup>4</sup>, 정동근<sup>1</sup>

<sup>1</sup>동아대학교 의과대학 의공학교실

<sup>2</sup>부산대학교 의과대학 이비인후과학교실, <sup>3</sup>부산대학교 의과대학 의공학교실

<sup>4</sup>춘해대학 의료공학과

(2004년 5월 19일 접수, 2004년 10월 20일 채택)

## Implementation and Evaluation of Electroglottograph System

Gi-Ryon Kim<sup>1,3</sup>, Kwang-Nyeon Kim<sup>1</sup>, Soo-Geun Wang<sup>2</sup>, Seung-Deok Heo<sup>1</sup>, Seung-Hoon Lee<sup>1</sup>  
Gye-Rok Jeon<sup>3</sup>, Byeong-Cheol Choi<sup>4</sup>, Dong-Keun Jung<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Medical Engineering, College of Medicine, Dong-A University

<sup>2</sup>Department of Otolaryngology, College of Medicine, Pusan National University

<sup>3</sup>Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Pusan National University

<sup>4</sup>Department of Medical Engineering, Choonhae College

(Received May 19, 2004. Accepted October 20, 2004)

**요약** : 전기성문전도는 발생시에 성문의 진동이 전기적 임피던스를 이용하여 검출되는 신호이다. 본 연구는 이러한 전기성문전도를 기록하기 위한 장비를 구현하고 음성분석 및 후두질환 진단에 대한 적용성을 평가하고자 하였다. 전기성문전도의 하드웨어는 2 쌍의 링전극, 동조증폭기, 검파기, 저역통과필터, 자동이득조절부 등으로 구성되며, 2.7MHz의 반송파 신호를 이용하고 진폭 변조 방식의 검파를 통해 임피던스 신호를 추출하도록 하였다. 추출된 신호는 PC 사운드 카드의 라인 입력을 통해 샘플링되고 양자화되었다. 검출 신호를 분석하기 위한 파라미터는 폐쇄 시간율(CQ), 개폐 속도율(SQ), 개폐속도지수(SI), 성대진동 주파수(F<sub>0</sub>), 성대진동 주파수변동지수(Jitter), 성대진동 진폭변동지수(Shimmer) 등을 추출하였다. 전기성문전도를 분석한 결과, F<sub>0</sub>가 증가할수록 CQ는 커지고, SQ와 SI는 작아지는 경향을 보였으며, 전기성문전도와 음성 신호의 기본주파수가 일치함을 알 수 있었다. CQ, SQ, SI는 정상인과 후두암 환자를 비교한 결과 유의한 차이를 보였다. 이러한 결과는 성대의 운동을 관찰할 수 있는 휴대용 전기성문전도 계측기의 구현이 가능하게 하였고, 성대 기능 이상 검사가 가능함을 시사하였다.

**Abstract** : Electroglottograph(EGG) is a signal recorded from the vocal cord vibration by measuring electrical impedance across the vocal folds through the neck skin. The purpose of this study was to develop EGG system and to evaluate possibility for the application on speech analysis and laryngeal disease diagnosis. EGG system was composed of two pairs of ring electrodes, tuned amplifier, phase sensitive detector, low pass filter, and auto-gain controller. It was designed to extract electric impedance after detecting by amplitude modulation method with 2.7MHz carrier signal. Extracted signals were transmitted through line-in of PC sound card, sampled and quantized. Closed Quotient(CQ), Speed Quotient(SQ), Speed Index(SI), fundamental frequency of vocal cord vibration(F<sub>0</sub>), pitch variability of vocal fold vibration(Jitter), and peak-to-peak amplitude variability of vocal fold vibration(Shimmer) were analyzed as EGG parameters. Experimental results were as follows : the faster vocal fold vibration, the higher values in CQ parameter and the lower values in SQ and SI parameters. EGG and speech signals had the same fundamental frequency. CQ, SQ, and SI were significantly different between normal subjects and patients with laryngeal cancer. These results suggest that it is possible to implement portable EGG system to monitor the function of vocal cord and to test functional changes of the glottis.

**Key words** : Electroglottograph, Laryngeal disease, Fundamental frequency

## 서 론

전기성문전도(electroglottography; EGG)는 발생시에 성문의 진동을 전기적 임피던스를 이용하여 검출되는 신호이

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임.(02-PJ3-PG6-EV05-0001)

통신저자 : 정동근, 부산시 서구 동대신동 3가 1번지

Tel : 051-240-2868 Fax : 051-253-2891

E-mail : dkjung@daunet.donga.ac.kr

다. EGG의 원리는 갑상연골 외측 경부의 피부에 부착시킨 전극을 통하는 전기의 저항을 이용하여 성문의 운동 양식을 관찰하고 성문의 기능적인 변화를 예측하는 것으로써, 성대가 열려있을 때는 전기가 통하지 않으므로 전기 저항이 커지고, 성대가 닫히면 전기 저항이 작아진다[1]. EGG는 임상뿐만 아니라 후두생리 및 발생, 음성합성 등 음성학적 연구에 많이 활용되고 있다.

Choi[2] 등은 다양한 관점에서 후두질환자의 병변에 관한 정보를 수집하기 위해 음성, 호흡기류와 함께 EGG 신

호를 동시에 측정하였으며, EGG와 음성 신호의 관계에서 성문의 닫힘 시간의 지연을 반영하는 CDR(close delay ratio)이 정상인과 후두질환자에서 유의한 차이가 있음을 관찰하였다. 김[3] 등은 EGG 신호를 이용한 음성분석을 수행하여 성문의 다양한 진동신호 패턴의 측정 및 분석을 통해 한국어 음성의 모델과 성문 신호 패턴에 대한 정량적인 해석을 수행하였다. 간혹 EGG 검사의 결과 판독시 성대진동 일주기의 파형에서 성문의 열림과 닫힘의 위치를 혼동하여 정반대의 결과를 도출하기도 한다. 양[4]은 피검자에게 숨을 깊이 들이쉬게 한 뒤, 숨을 갑자기 멈추게 하고, 곧이어 /하/하면서 숨을 내쉬게 하여 파형을 검토하면 성문의 닫힘점과 열림점의 방향을 쉽게 알 수 있다고 하였다. 이러한 EGG 신호는 구현된 시스템에 따라 성문의 열림점과 닫힘점의 위치가 바뀌는 판독 오류를 초래할 수도 있지만 피치 검출에 의한 오차를 줄일 수 있다는 장점 때문에 많은 분야에서 활용되고 있다.

본 연구에서는 이러한 원리를 이용하여 EGG 시스템을 구현하였다. 또한 구현된 EGG 시스템을 이용한 여러 가지 실험을 통해 성대의 기능을 관찰하고, 후두의 병변 및 발성 기능 장애의 진단 가능성을 검토하여 다양한 분야의 적용가능성을 논하고자 하였다.

### 성대의 운동 및 EGG의 측정원리

소리는 호흡할 때 나오는 공기의 흐름을 조절함으로써 생성된다. 대부분의 발성과정에서 폐는 공기의 흐름을 제 공하며, 이 흐름이 성문이라 불리지는 성대 주름 사이를 흐를 때 성대를 진동시켜 공기의 흐름을 조절한다[5].

이러한 성대의 운동기전은 공기역학적 탄성이론으로 설명된다. 호흡 중에는 성대 주름이 크게 벌어져 큰 삼각형을 형성하며 성문을 통하여 공기가 폐로 들어가게 된다. 유성음을 발생할 경우 성대 주름은 근육에 의해 서로 밀착하게 된다. 폐에서 공기가 방출하면 성문하압이 증가하게 되고 밀착된 성대는 서로 떨어지게 된다. 공기의 유출로 인해 성대 주름 사이의 압력이 감소하며, 감소된 압력에 의해 성대주름이 서로 가까워지는데 이러한 현상을 베르누이 효과라고 한다. 성대 주름이 서로 가까워짐으로써 폐에서 나오는 공기의 흐름을 방해하고 공기의 속도를 저하시키며, 결국에는 성문이 접촉하게 된다[6].

그림 1은 성대 주름의 3차원적 진동 모델을 표현한 한 것이다. 성대는 상순과 하순이 각각 독립적으로 운동을 하며, 먼저 하순이 닫히고 이어서 상순이 닫히기 시작하는 폐쇄기(closing phase)를 지나 일정 기간의 폐쇄기(closed phase)가 있는 후 하순부터 열리고 나서 상순이 열리기 시작하는 개대기(opening phase)를 거쳐 개방기(operand phase)로 이행되어 성대의 일주기를 이룬다[7,12].

전기성문전도는 갑상연골 외측 경부의 피부에 부착시킨 전극을 통한 전기적 임피던스를 이용하여 발성시 성문의 개폐를 검출하는 신호이다. 성대의 움직임에 의해 유발되는 두 전극 사이의 전기적 임피던스의 변화를 이용하는 것으로서, 이러한 임피던스의 변화는 두 전극 사이에 흐르는 전류의 진폭 변화로써 검출된다.

그림 2는 성대가 열림과 닫힘에 따라 나타나는 전류의 흐름을 나타낸 것이다. 성대가 열려있을 때는 전류가 지나

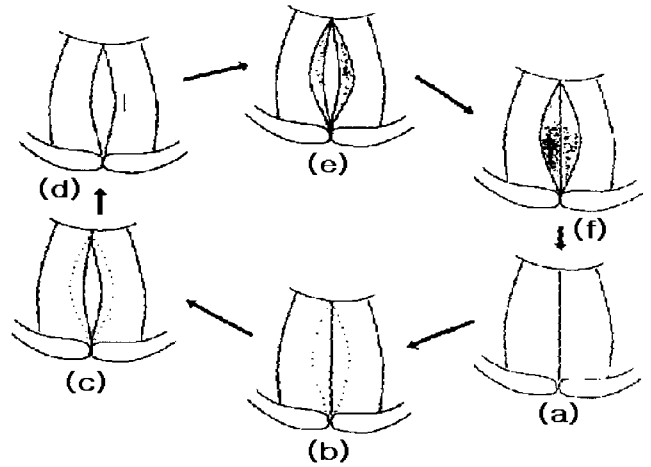


그림 1. 한 진동 주기 동안의 성대 주름의 변화. (a) 폐쇄기, (b)-(c) 개대기, (d) 개방기, (e)-(f) 폐쇄기

Fig. 1. Vocal fold variation of one vibratory cycle. (a) closed phase, (b)-(c) opening phase, (d) open phase, (e)-(f) closing phase.

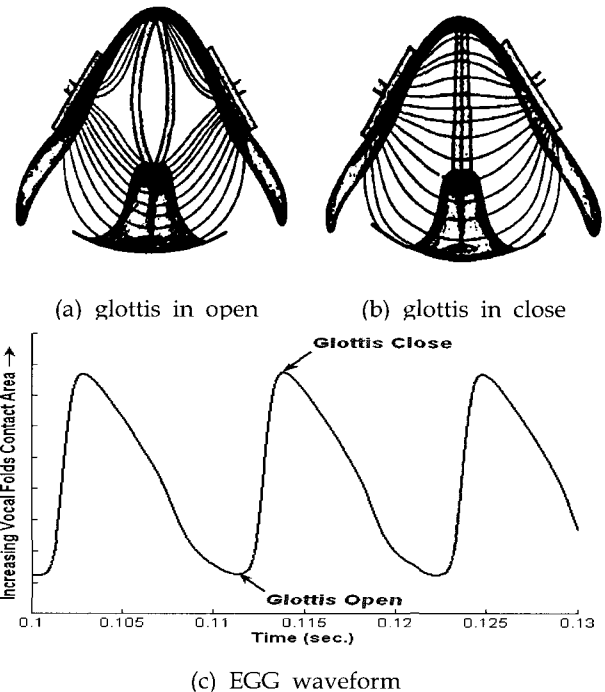


그림 2. 성대의 열림과 닫힘에 따른 전류 흐름의 모식도와 EGG 파형. (a) 성대 열림, (b) 성대 닫힘, (c) 성대의 운동에 의한 1주기의 EGG 파형

Fig. 2. Schematic presentation of passage of electrical current and EGG waveform through the glottis in open and closed position. (a) glottis open, (b) glottis close, (c) EGG waveform.

갈 통로가 적어지고, 직선거리가 아닌 후두의 전후방 지역을 돌아가기 때문에 두 전극 사이를 흐르는 전류의 경로가

길어지고, 전기가 잘 통하지 않으므로 전기 저항이 커진다. 반대로 성대가 닫히면 많은 전도통로가 생기기 때문에 전기 저항이 작아진다[1].

### 시스템 구성 및 신호처리

#### 1. EGG 시스템 구성

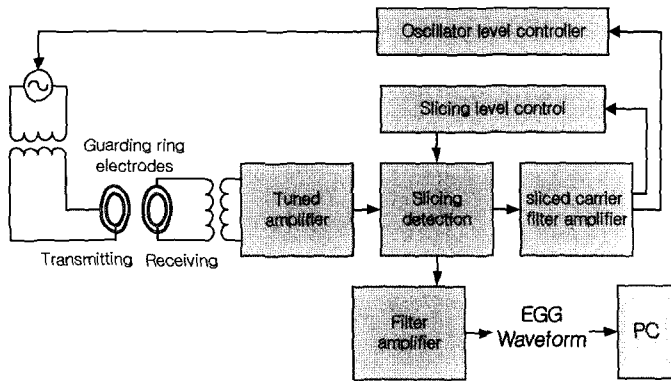


그림 3. 전기성문전도 시스템의 블록 다이어그램  
Fig. 3. Block-diagram of electroglottogram system.

그림 3은 EGG 시스템 회로의 블록도이며, 자세한 설명은 다음과 같다. EGG 시스템은 2.7MHz 발진기, 2쌍의 링전극, 동조증폭기, 검파기, 저역통과필터, 자동이득조절부 등으로 구성되어 있다. 인체에서 EGG 측정은 미약한 전기 신호를 경부에 가하므로 전기적 안정성을 확보하기 위하여 시스템의 전원과 자극 신호를 전기적으로 분리시켜 설계하였다. 따라서 전극은 벨트에 부착된 2개의 링전극으로써 EGG 시스템과 유도성 결합으로 연결되어있으며, 직류적인 접촉을 차단한다. 인체의 피부는 높은 직류 저항을 띠고 있으며 용량성이 존재한다. 따라서 피부의 전기 저항을 극복하면서 성대의 전기 저항을 측정하기 위해 전극을 통해 2.7MHz의 캐리어 신호를 가해 성대의 전기적 임피던스 변화를 추출하였다. 전극의 위치와 개인별 피부의 임피던스 차이를 보상하기 위하여 자동이득조절 회로를 추가하였다. 수신부의 신호가 미약하기 때문에 검출된 캐리어 신호를 동조 증폭기를 통해 증폭하였으며, 검파회로를 통해 임피던스 변화에 따른 캐리어 신호의 진폭변화가 검출되도록 하였다.

검출된 성대 운동의 전기적 신호는 잡음 제거를 위해 저역통과필터를 거쳤으며, 성대의 운동을 나타내는 아날로그 출력은 PC 사운드카드의 line-in 단자를 통해 입력되도록 하였다. 또한 볼륨을 사용하여 적절한 크기의 임피던스 신호를 획득할 수 있도록 하였다.

#### 2. 신호처리 및 EGG 파라미터

PC로 전송된 성대 운동의 아날로그 출력은 Matlab 6.5(Mathworks, Inc.)를 이용하여 작성한 프로그램에 의해 11,025Hz의 sampling rate와 16bit의 양자화율로 PC에 저장

되고, 여러 가지 신호처리 단계를 거쳐 EGG 파라미터로 연산되었다.

그림 4는 PC에 저장된 EGG 데이터 파일을 불러들인 후 EGG 파라미터를 추출하고 결과를 그래프로 나타내기

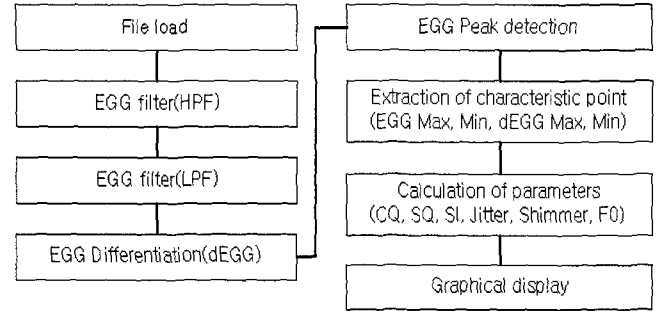


그림 4. 전기성문전도의 신호처리 흐름도  
Fig. 4. Signal processing of electroglottogram.

위한 과정을 나타낸다. 상기의 분석 과정에서 EGG 파형의 기저선 변동을 보상하기 위해 80 Hz 고역통과필터를 사용하였고, 신호 외의 잡음을 제거하기 위하여 612.5Hz 저역통과필터를 사용하였다. EGG 파형을 분석하기 위해 여러 가지 파라미터를 이용할 수 있으나, 본 연구에서는 폐쇄시간율(closed quotient; CQ), 개폐속도율(speed quotient; SQ), 개폐속도지수(speed index; SI), 성대진동 주파수변동지수(jitter), 성대진동 진폭변동지수(Shimmer), 성대의 기본진동수(F0)등을 사용하였다[2]. CQ, SQ, SI 파라미터들은 EGG 신호의 한 주기 내에서 EGG 및 미분 EGG 신호의 최대값 및 최소값을 통해 연산되어진다.

그림 5는 EGG 와 미분 EGG 신호로부터 CQ, SQ, SI 파라미터를 연산하기 위한 인자를 도식화한 것이다. 이 때 가로축은 시간이며, 세로축은 감소하는 방향의 임피던스 즉, 성대의 접촉단면적을 의미한다. A는 성대 진동의 일 주기를 나타내고, B는 폐쇄기, C는 성대의 닫힘구간이 증가하는 영역이고 D는 성대의 닫힘구간이 감소하는 영역이다. x는 성대 개방시 최대 속도를 y는 성대 폐쇄시 최대 속도를 각각 나타낸다.

식 (1),(2),(3)에 의해 CQ, SQ, SI가 정의되어진다.

$$CQ = B/A \tag{1}$$

$$SQ = D/C \tag{2}$$

$$SI = Y/X \tag{3}$$

Jitter는 EGG 신호의 분석 구간(1 초) 중 기본주파수의 변동비율을 의미하고, Shimmer는 동일한 분석 구간 중 진폭의 변동비율을 의미한다. Jitter와 Shimmer는 다음의 수식에 의해 구해진다.

$$Jitter = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} T_0(i) - T_0(i+1)}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_0(i)} \tag{4}$$

$$\text{Shimmer} = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} A(i) - A(i+1)}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A(i)} \quad (5)$$

여기서, A(i)는 EGG의 peak-to-peak 진폭, T<sub>0</sub>(i)는 성대 진동 주기, N은 분석 구간 내에서 검출된 주기의 개수를 의미한다. EGG에서 Jitter와 Shimmer는 음성신호에서의 Jitter, Shimmer 파라미터와 매우 흡사하며, 일부 연구자들은 이들과 구분하기 위해 EGG에서 Jitter와 Shimmer를 EGG-Jitter와 EGG-Shimmer라고 부르기도 한다.

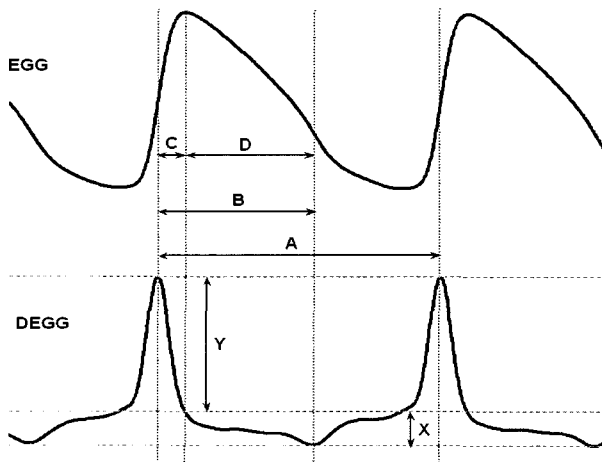


그림 5. 전기성문전도의 파라미터. A : 성대진동의 한 주기, B : 폐쇄기, C : 폐소기, D : 개대기, X : 개대 속도, Y : 폐소 속도

Fig. 5. Electroglottogram parameter. A : one cycle of vocal folds, B : closed phase, C : closing phase, D : opening phase, X : opening velocity, Y : closing velocity.

## 실험 방법 및 결과

### 1. 음의 고저

음의 고저에 따라 나타나는 EGG 파라미터들의 변화를 관찰하기 위해 8명의 정상인에게 일정한 강도로 /도/, /미/, /술/, /도/를 발성하도록 한 후, EGG 신호를 획득하여 CQ, SQ, SI, F<sub>0</sub>, Jitter, Shimmer를 구하고, 성대진동 주파수에 따른 타 파라미터들의 변화를 비교해 보았다.

그림 6은 성대진동 주파수(F<sub>0</sub>)에 따른 타 EGG 파라미터의 변화를 관찰한 결과이다. 모든 피검자가 동일하면서도 일정한 주파수와 강도로 발성할 수 없기 때문에 피검자와는 무관하게 성대진동 주파수와 타 EGG 파라미터의 평균값을 각각 대응시켜서 표현하였다. CQ, SQ, SI, F<sub>0</sub> 등과 같은 파라미터들은 성대 진동주기마다 추출이 가능하지만 분석구간 내에서는 변동이 적다고 판단되어 분석구간 중 평균값을 취하여 도시하였다. 동시에 데이터 분포의 전체적인 경향을 분석하기 위해 1차 선형회귀식을 구하여 도시하

였다.

일정한 강도로 발성할 경우, F<sub>0</sub>가 증가하면 CQ, Jitter, Shimmer는 증가하고 SQ, SI는 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과는 성대의 운동이 빨라질수록 성대의 폐쇄기(closed phase)가 개방기(open phase)에 비해 상대적으로 길어지고, 폐쇄기 중 폐소기의 비율이 높아지며, 폐소 속도에 비해 개대 속도가 증가함을 보여준다. 또한 고음을 발성할 때 진폭과 주파수의 변동이 심해짐을 알 수 있다.

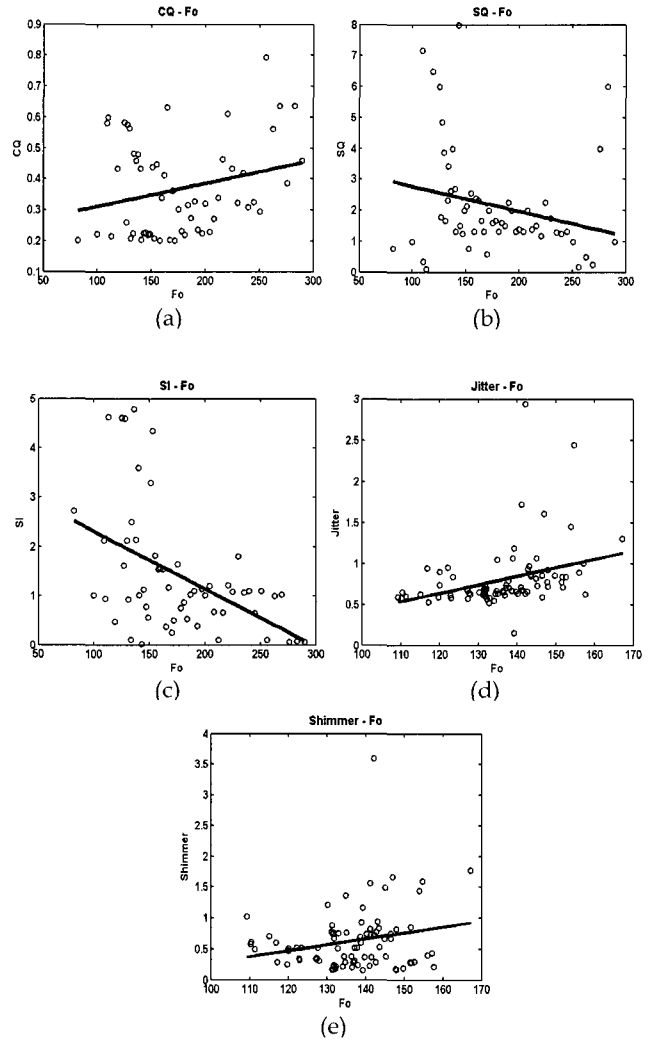


그림 6. 성대 진동주파수에 따른 여러 파라미터들의 변화  
Fig. 6. Changes of each parameter in relation to vocal cord vibration. (a) CQ vs F<sub>0</sub>, (b) SQ vs F<sub>0</sub>, (c) SI vs F<sub>0</sub>, (d) Jitter vs F<sub>0</sub>, (e) Shimmer vs F<sub>0</sub>

그림 7은 /도/, /미/, /술/, /도/ 발성시, 피검자로부터 관찰된 성대 진동주파수와 음계별 표준 주파수를 비교한 것이다. 음계별 표준 주파수는 /도/ 130.8128 Hz, /미/ 164.8138 Hz, /술/ 195.9977 Hz, /도/ 261.6256 Hz를 각각 나타낸다. 피검자 중 표준 주파수에 근접한 성대진동을 하는 피검자도 존재하지만, 대부분의 피검자들의 음계별 성대진동 주파수들이 표준주파수와는 두 음 이상의 많은 차

이를 보였다. 그러나 각 음계를 이어주는 그래프의 기울기가 표준 주파수의 기울기와 유사한 것으로 관찰되며, 피검자들이 바이오피드백을 통한 지속적인 훈련을 수행한다면 표준주파수대로 발생할 수 있는 가능성도 내포하고 있다.

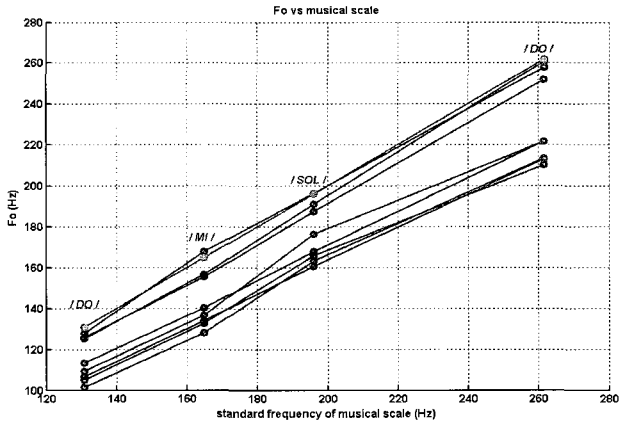


그림 7. 음계에 따른 성대 진동의 기본주파수  
Fig. 7. Vibration frequency of vocal cord in proportion to musical scale.

## 2. EGG 신호와 음성 신호의 기본 주파수

EGG 신호와 음성 신호의 기본 주파수의 일치정도를 관찰하기 위해 피검자에게 약 3초간 모음 /아/를 일정한 강도로 발생하게 한 후, GoldWave 4.23(GoldWave, Inc.) 프로그램을 이용하여 EGG 신호는 PC 사운드카드의 line-in 단자를 통해 입력받고, 음성 신호는 마이크 입력 단자를 통해 입력받았다.

그림 8은 동일 발생기간 동안의 EGG 신호와 음성신호를 나타낸 것으로서, 파형의 모양이 상이하고 음성파형의 시작점의 위치에 따라 지연되는 현상도 보이지만 성대 운동에 의한 기본 주파수는 일치함을 알 수 있었다.

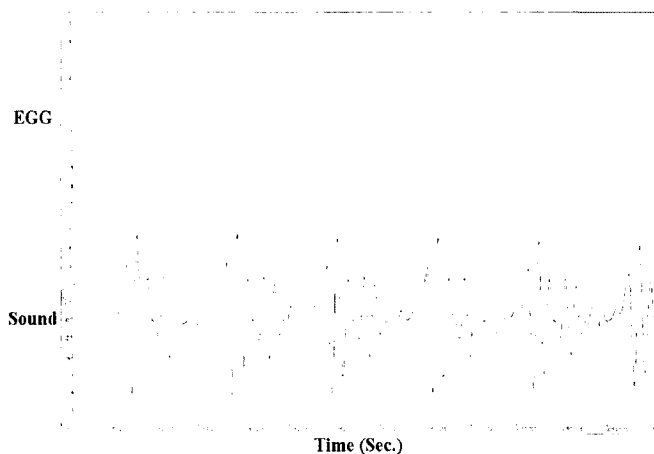


그림 8. 전기성문전도와 음성신호  
Fig. 8. Electroglottogram and speech signal.

## 3. 후두질환의 감별진단

그림 9는 폴립(10명), 결절(6명), 부종(5명), 마비(5명), 후두암(10명) 등으로 진단된 후두질환자와 정상대조군(20명)을 대상으로 기본주파수가 /도/에 해당하는 모음 /아/를 10초간 발생하게 한 후, 측정된 EGG 파라미터들 즉, CQ, SQ, SI, F<sub>0</sub>, Jitter, Shimmer의 분포도이다. 그래프는 각 파라미터의 평균과 표준편차를 오차막대로 표현하였으며, 가로축은 실험군을 나타내고, 가로축은 EGG 파라미터 값을 의미한다.

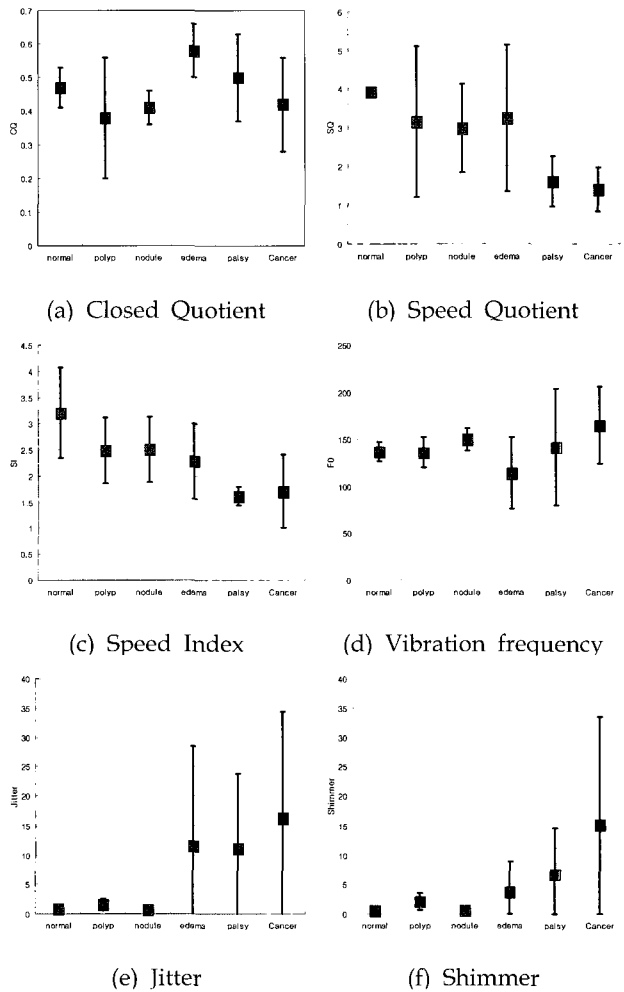


그림 9. 정상인과 후두질환 환자의 전기성문전도 파라미터의 분포도  
Fig. 9. Distribution of EGG parameter measured from control group and patient group with laryngeal disease.(a)CQ, (b)SQ, (c)SI, (d)F<sub>0</sub>, (e)Jitter, (f)Shimmer

그림 9에서도 알 수 있듯이, 모든 파라미터에서 그룹간의 차이가 두드러지게 나타났다. 정상대조군에 비해 후두질환 환자에서 F<sub>0</sub>가 다소 높은 경향이 있지만 CQ, SQ, SI는 낮게 나타났고, Jitter, Shimmer는 현저하게 높은 것으로 관찰되었다. 또한 F<sub>0</sub>, Jitter, Shimmer의 표준편차도 평균치와 더불어 높게 나타났으며, 이는 후두의 병변이 성대

운동에 영향을 미쳐 발성 강도와 주기성이 불안정한 것으로 판단된다.

## 고 찰

성대의 진동은 성대의 크기에 반비례하고 장력에 비례한다. 보다 두껍고 긴 성대는 낮은 주파수를 갖게 되고, 가늘고 긴 성대는 높은 주파수를 갖게 된다. 일반적으로 발성할 경우 성대의 기본주파수 범위가 성인 남성은 70~200Hz, 여성은 140~400Hz, 소아에서는 180~500Hz를 가진다. 성악가의 경우 베이스 가수가 낼 수 있는 가장 낮은 주파수가 약 64 Hz이고 소프라노 가수가 낼 수 있는 가장 높은 주파수가 2048Hz이다. 이렇게 빠른 성대의 진동에 대해 육안으로는 그 자세한 운동 양식을 관찰할 수가 없다.

따라서 이러한 경우에 성대의 진동상태를 관찰하려면 특수한 검사기기를 사용해야 하는데, 현재까지 사용되어 온 성대 진동검사법으로는 후두스트로보스코피, 초고속영화촬영법 [9] 등이 있으나, 이러한 장비들은 성대의 진동 현상을 잘 보여주지만 장비가 고가이고 이동성에 제한이 많으며, 검사가 용이하지 못하다. 이러한 단점을 보완한 성문전도(glottography)가 개발되어 발성에 대한 생리학적 연구에 많이 이용되어 왔다. 이 중 대표적인 것이 전기성문전도(electroglottography, EGG)와 광성문전도(photoglottography, PGG)이다. EGG는 성대가 닫혀 있을 때 성대 접촉면을 통해 흐르는 전기의 양의 변화를 관찰하는 측정법이며, PGG는 성대가 열려 있을 때 성문의 넓이 변화에 따른 빛의 양의 변화를 관찰 할 수 있는 측정법이다. Baer[10] 등은 EGG 검사 시 dEGG와 PGG 검사를 함께 시행하면 초고속후두촬영과 거의 유사한 성대진동의 정보를 얻을 수 있다고 하였다.

1957년 Fabre[11]에 의해 최초로 소개된 EGG 측정법은 성대가 위치한 후두좌우에 2쌍의 링 전극을 배치하여 일정한 크기의 전류와 주파수를 갖는 고주파 전류를 인가하면 성대의 진동, 성문의 열림과 닫힘에 따라 양 전극 사이의 임피던스가 변화하고, 이러한 전기적 임피던스 변화를 진폭변조하여 전기적 신호로 검출하는 비침습적인 측정법으로써, 성대를 직접 관찰하는 방법에 비해 간단하면서도 비교적 경제적인 검사법이다. EGG 시스템은 회로 구성이 간단하고 휴대하기가 용이한 장점을 지니는 반면, 측정시 미약하지만 전기신호를 인체의 경부에 가하므로 전기적 안전을 고려하여 설계되어야 한다. 본 연구에서의 EGG 시스템은 이러한 의도에 부합되게 설계되었다.

EGG 검사에 영향을 주는 요소에는 기본주파수 즉 음조, 발성강도, 신체 부하 등이 있다. 즉, 목소리를 높이면 성대진동이 빠르게 일어나서 빠르게 닫혔다 열리는데 닫힘이 보다 더 지속되므로 고성으로 갈수록 CQ가 증가하게 된다. 목소리를 크게 하든가 몸에 힘을 가하면 성문하압이 높아져 성대 주름이 더 멀리 열렸다가 더 깊게 닫히므로 성대진동주기 중에서 닫힘구간이 증가하여 CQ가 증가하게 된다. 그러므로 EGG 검사시에는 낮고 편안한 발성을 하여야 정확한 검사가 가능하다. 그러나 경부피하조직이 두꺼운 사람, 성대가 상대적으로 작은 어린이와 여성, 성대에 점액이 묻어 있는 경우, 가성대 발성 등에서는 EGG 측정이 어렵다고 보고되고 있다.

EGG 시스템은 음성 신호처리와는 달리 간단한 회로의 구성으로 실시간적인 피치의 검출이 가능하다. EGG 신호는 발성시에 성대의 여기신호와 성도의 포먼트 사이의 상호작용에 영향을 받지 않으면서 다양한 주변잡음에도 성대의 떨림에 관한 정확한 정보를 검출할 수 있으므로, EGG 신호가 피치를 검출하는데 안정적이고, 효과적인 방법임을 알 수 있다. 따라서 음성 신호를 이용하여 피치를 검출할 때의 문제점을 보완할 수 있으며, 음성 분석시 피치검출을 위한 기준 신호로 적합하다고 볼 수 있다.

EGG 검사는 후두생리, 발성 및 음성 합성에 대한 연구 이외에 음성치료와 후두질환의 진단에도 유용하게 활용된다. 서동일[12] 등은 요들송을 부르는 동안, 성대의 접촉양상을 객관적으로 검사하기 위해 EGG를 측정하였으며, 이 형태의 발성방법이 성대 결절 등 과기능성 발성장애를 초래한 환자들의 발성치료에 사용하거나, 예방할 수 있는 방법으로서의 가치를 가지는 발성 훈련방법으로 제시하였다. 만약 발성시에 EGG 파형과 음조를 즉시 보여주는 방법으로 성대의 접촉 상태, 음성정확도에 대한 정보를 시각적, 청각적으로 피드백 할 수 있는 EGG를 발성훈련에 활용할 수 있다면 음악적, 음성언어적 치료 도구로서 큰 효과가 있으리라 생각한다.

임상적으로는 EGG 파라미터를 이용하여 성대결절, 성대마비의 진단에 활용한 보고가 있으며, EGG의 파형을 이용한 성대결절 혹은 폴립, 성대마비, 연하장애에 대한 연구가 많이 발표되고 있다[13-14]. 후두암은 조기에 발견하면 90% 이상의 높은 치유율과 발성기능의 보존도 가능하지만, 정립된 선별검사가 없는 실정이다. 그러나 후두암의 가장 흔한 증상이 음성의 변화이기 때문에 음성을 분석하면 악성 여부의 감별이 가능하며 이에 대한 연구는 상당히 진행되어 있다. 그러나 실제 음성 장애가 심해질수록 음성장애를 치료하는 전문의는 더 쉽게 질환 감별이 가능한 반면, 음성분석기기는 오히려 분석오류가 발생하여 감별률이 현저히 저하되기도 한다. EGG 시스템은 성대진동에 대한 분석이기 때문에 기존의 음성분석에 비해 분석오류가 적고, 성대의 병변을 보다 더 정확하게 진단할 수 있다고 판단한다. 특히 퍼지, 신경망 등 다양한 분류기법을 추가 적용한다면 후두의 병변 및 발성 기능의 장애를 자동 진단할 수 있는 진단 시스템을 구현하는데 일익을 담당하리라 사료된다.

개발된 EGG 시스템을 이용하여 정상대조군과 후두질환 환자를 대상으로 관찰된 EGG 파라미터의 통계적 특성을 분석한 결과, CQ, SQ, SI, F0, Jitter, Shimmer 등 모든 파라미터에서 그룹간의 차이가 두드러지게 나타났다. CQ의 경우에는 정상대조군에 비해 부종 환자를 제외한 후두질환 환자에서 낮게 나타났다. 정상인에서 관찰할 수 있는 것과는 달리 F0가 높음에도 불구하고 CQ가 낮은 것은 후두에 병변이 있는 경우 정상인에 비해 개방기의 비율이 상대적으로 높아져서 성대운동이 원활하지 못함을 의미한다. SQ와 SI의 경우는 정상대조군에 비해 모든 후두질환자에서 낮게 나타났으며, 특히 마비와 후두암 환자에서 현저한 차이를 보인다. 하지만 이러한 경향은 폐소기에 비해 개대기가 상대적으로 길어지고, 개대 속도가 폐소 속도보다 상대적으로 빨라짐을 의미하는 것으로 성대진동수가 증가할수록 정상인에서 관찰되는 현상과 유사하다. Jitter와 Shimmer는 정상대조군에 비해 후두질환자에서 월등히 높고 표준편차도

크다. 이 또한 후두의 병변에 의해 발성에 지장을 초래하여 발성 강도 및 주기성이 불안정해졌음을 의미한다.

현재, EG90(Tiger DRS, Inc., USA), Synchrovoice(Harrison, USA), Electroglottograph (Kay Elemetrics Corp., USA) 등 EGG 모니터링 시스템이 이미 상용화되어 있다. 제조회사에 따라 캐리어 주파수는 455 kHz 또는 2.4 MHz 등을 사용하고 있다. 이들 시스템들은 기기를 이용해 EGG를 측정된 후 FM 레코더나 DAT 레코더 같은 저장 매체에 저장한 후, 필요에 따라서 피치 분석, 파형 분석 등 특화된 PC 소프트웨어에서 EGG 데이터를 로딩하여 분석을 하도록 되어 있다. 또한 실시간으로 EGG 파형을 모니터링할 수 있는 PC 기반 시스템도 있으며, 디지털 비디오 스트로보스코피(stroboscopy)의 촬영을 위해 동기화시키는 수단으로도 사용되고 있다. 본 연구에서 개발된 EGG 시스템은 PC 기반으로 운용되는 휴대용 시스템으로서 EGG 시스템에서 측정된 신호가 PC 사운드를 통해 데이터 수집 및 샘플링과 양자화가 이루어지며, PC 소프트웨어를 통해 후처리 과정이 수행된다. PC 기반으로 운용하는 시스템의 개발로 의료기관 및 재택용 성대 기능 이상 검사가 가능할 뿐만 아니라 원격진단에도 활용될 수 있으리라 사료된다. 또한 타 시스템에 비해 별도의 저장매체를 사용하지 않아 간편하고 부피가 작고 경량이기 때문에 휴대가 용이하며, 성대의 피치 정보를 실시간으로 분석하여 그 정보를 화면에 보여줌으로써 언어치료, 성악 분야에서 바이오피드백을 통한 발성 교정 도구로써도 많이 활용될 수 있으리라 본다.

## 결론

본 연구에서는 발성시에 성대의 운동 양식과 기능적인 변화를 판단할 수 있도록 하는 PC 기반의 휴대용 EGG 시스템의 구현이 가능하였다. 실험 결과에 의하면 성대 접촉과 분리의 구간별 분석을 나타내는 CQ, SQ, SI와  $F_0$ , Jitter, Shimmer가 음의 고/저 뿐만 아니라 후두 병변의 진단에도 유용한 결과를 가져왔다. 또한 음성공학, 음악치료, 음성언어치료 측면에서도 다양하게 활용할 수 있음을 보였다.

이러한 EGG 시스템을 보다 개선하고 실용화하기 위해서는 성대의 운동 및 병태 생리를 대변할 수 있는 파라미터의 개발이 더욱 필요하리라 본다.

## 참고 문헌

1. Frans L. Lecluse, Ram. M. Tiwari, Gordon B. Snow, "Electroglottographic Studies of Staffieri Neoglottis", The Laryngoscope 91, pp 971-975, June, 1981
2. J.M. Choi, S.H. Choi, M.W. Sung, K.S. Park, "Inter-Channel Parameters for the Diagnosis of the Laryngeal Functions", Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference, Istanbul, Turkey, pp. 3349-3351, October, 2001
3. J.C Kim, J.C. Lee, D.W. Kim, M.H. Oh, D.H. Youn, I.W. Cha, "A New EGG System Design and Speech Analysis for Quantitative Analysis of Human Glottal Vibration Patterns", J. Biomed. Eng. Res., Vol.20, No.4, pp.427-433, 1999
4. B.G. Yang, "An analysis of Korea glottal waves by the laryngograph and a perceptual study of synthesized vowels", Language, Vol.21, No.4, pp.223-238, 1996
5. D.K. Jung, D.J. Seo, Korean translation of Physics of the body, Second Edition, Hanseung, pp.239-256, 2000
6. K.H. Kim, B.G. Yang, D.H. Gho, H.S. Goo, Korean translation of Speech Science Primer, Hankook-Moon-Wha-Sa Publishing Company, pp.83-100, 2000
7. Childers DG, Krishnamurthy AK, "A critical review of electroglottography", Crit Rev Biomed Eng., Vol. 10, pp. 201-205, 1995
8. David G. Hanson, Jack Jiang, Maj Mark D'agostino, Garrett Herzon, "Clinical measurement on mucosal wave velocity using simultaneous photoglottography and laryngostroboscopy", Ann Otol Rhinol Laryngol, Vol.104, pp.340-349, 1995
9. Imagawa H, Kiritani S, Hirose H, "High speed digital image recording system for observing vocal fold vibration using an image sensor", Journal of Medical Electronics and Biological Engineering, Vol.25, pp.284-290, 1987
10. Thomas Baer, Anders Löfqvist, Nancy S. McGarr, "Laryngeal vibrations: A comparison between high-speed filming and glottographic techniques", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol.73, No.4, pp. 1304-1308, 1983
11. Fabre MP, "Un procede électrique percutance d'inscription de l'accollement glottique au cours de la phonation : Glottographie de haute fréquence, Premier resultats", Bull Acad Nat Med, Vol. 141, pp.66-69, 1957
12. D.I. Suh, H.S. Choi, "A Phonetic Analysis of Yodel Singing by the Electroglottographic(EEG) Measurement", Korean Journal of speech sciences, Vol.7, No.2, pp.113-124, 2000
13. Fourcin A, Abberton E, Miller D, Howells D, "Laryngography : speech pattern element tools for therapy, training and assessment", European J Disord Com., Vol.30, pp.101-115, 1995
14. I.M. Song, S.G. Wang, E.K. Goh, et al, "The effectiveness of Electroglottographic Parameters in Differential Diagnosis of Laryngeal Cancer", J. Korean Soc. Logo. Phon, Vol. 14, No. 1, pp.16-25, 2003