의공학회지 : 제16권, 제1호, 1995
J. of KOSOMBE : Vol. 16, No. 1

연 구 논 문
95-16-1-13

EGG신호의 피치변동해석 및 Hilbert변환에 의한 후두기능의 평가

송 철 규 · 이 명 호

=**Abstract**=

Assessment of Laryngeal Function by Pitch Perturbation Analysis and Hilbert Transform of EGG Signal

Chul Gyu Song, Myoung Ho Lee

In this study, we have evaluated the effect of amplitude and frequency perturbation of EGG signal for single vowels associated with laryngeal pathology. The normal EGG signal was properly characterized by an autoregressive model which has an optimal order of ninth using the parametric method. This can be analyzed by determining the transfer function. Perturbations in the fundamental pitch and in the peak amplitude of EGG signal measured with a four-electrode system using the modulation/demodulation techniques were investigated for the purpose of developing a decision criteria for the laryngeal function analysis. The abnormal EGG signal has nonperiodic and unstable characteristics. It can be discriminated by the calculation of opening and closing time of glottis using the EGG signal. In case of normal and abnormal subjects, m±0.5*sd was discriminating line for frequency perturbation and m±2*sd for normal amplitude perturbations, respectively. Also, The normal and abnormal cases of the subjects can be discriminated effectively using the pattern of attractor derived with Hilbert transform of EGG signal.

Key words : EGG perturbation Hilbert Transform

서 론

이비인후과 분야에서 음성의 발생부인 후두의 질환을 발견 또는 평가하기 위해 음성 스펙트럼 해석법(sound spectrographic analaysis) 과 후두 고속 촬영술(high speed photography) 등과 같은 다양한 연구가 수행되어 왔고, 특히 음성발생에 관한 음원 필터 모델을 이용한 후두 병리(laryngeal pathology)에 관한 연구들도 진행 되고 있다. 최근에 후두의 기능을 평가하기 위해 후두 신호 진폭변동과 주파수변동 분석에 의한 성문의 진동(vibration of the vocal folds)패턴 분석을 이용한 후두 기능 진단 시스템들이 개발되고 있다. 후두(larynx)는 인두(pharynx)와 기관(organ)을 연결하는 인체 부위로서 소리를 내는 작용과 음식물이 호흡기도로 들어가지 않게 막는 판막과 같은 역할의 중요한 기능을 한다. 특히 후두는 이비인후과 영역 중에서 가장 진찰하기가 어려운 부위의 하나인데, 후두암이나 각종 질환의 의심이 있는 환자의 경우 종래의 간접후두경 검사는 관찰이 효과적이기는 하지만 gag reflex가 심한 환자

연세대학교 전기공학과
Dept. of Eectrical Engineering, Yonsei University
통신저자: 이명호, (120-752) 서대문구 신촌동 134, Tel. (02) 361-2770, Fax. (02) 397-4677

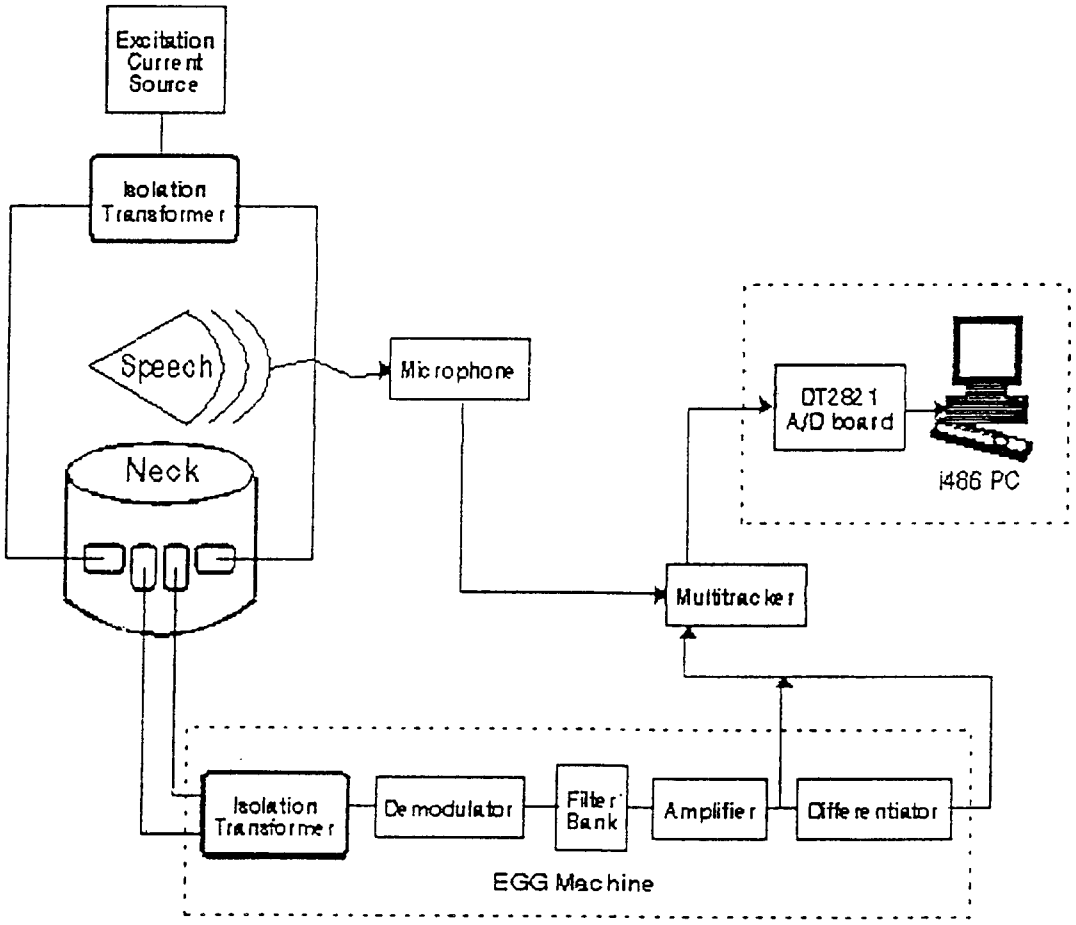

그림 1. 제안된 시스템의 블럭선도
Fig. 1. Block diagram of the proposed system

나 후두경의 모양과 위치로 인해 후두를 관찰하기가 어려운 경우가 매우 많다. 후두질환의 조기발견을 위한 객관적인 변수를 얻기 위해 Krishnamurthy[1] 등은 환자의 음성신호에서 주파수 변동과 진폭변화율 해석을 해 왔으나, 좀 더 정확한 음성분석을 위해서 EGG(electroglottogram) 신호에서 성도(vocal tract)의 음향적인 공진현상에 영향을 받지않는 성문파를 이용하고 있다[1]. 또한 EGG신호에서 성문막(vocal folds) 진동의 불규칙성에 의해 피치의 주파수 및 진폭 변동율은 다양한 형태를 나타내게 된다. 본 연구에서는 이러한 주파수와 진폭 변동율의 임상적인 중요성을 평가하기 위하여 임피던스 방법을 이용한 EGG시스템[2]을 설계[80 kHz, 1 mA의 전류자극이용] 하여 성도의 전달함수인 포만트에 영향을 받지 않도록 하였고, 후두의 기능이 정상인 남녀와 다양한 후두질환을 갖는 환자의 데이타를 비교 및 평가함으로써 정량적인 후두기능의 상태를 분류하기 위한 판별기준을 제시하였고, 또한 새로운 EGG 신호의 평가를 위해 Hilbert 변환을 적용하여 각각의 후두질환에 대한 위상과 진폭의 궤적을 비교함으로써 새로운 후두기능 판별방법을 제시하고자 한다.

EGG 신호의 분석

1. 주파수 및 진폭변동에 의한 해석

EGG 신호의 분석을 위해서 연속으로 발음된 모음과 동기된 EGG 신호 100 주기씩을 피검자당 한 샘플로 하였다. 분석을 위한 각각의 샘플은 데이타 시작점으로 부터 300 ms 점에서 부터 100 주기까지 분석을 하였다. 그림 1은 제안된 EGG 시스템의 블럭선도이다. 그림 1에서 필터뱅크는 800 Hz 저역통과 필터와 60 Hz notch 필터를 의미한다. EGG 신호로부터 후두의 각 질환들을 분류하기 위해서 주

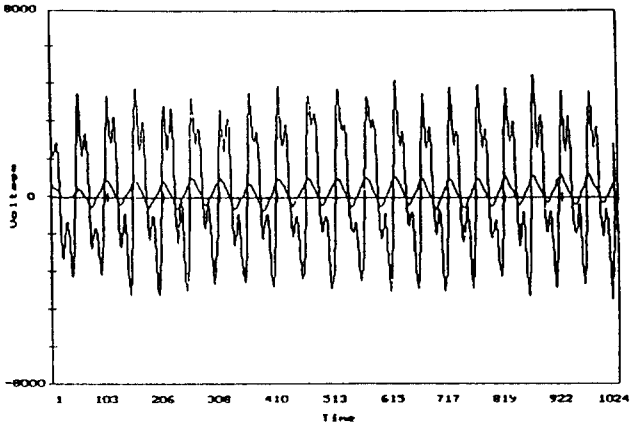

그림 2. 음성신호와 동기된 EGG신호
Fig. 2. Speech signal and synchronized EGG signal

파수 변동(frquency perturbation)과 진폭변동(amplitude perturbation)의 해석에 적용한 수식은 두 변수의 비례적인 비교를 위해 보상값(C_0)을 고려하였다. 주파수 변동은 식(2.1)에 의해 계산되며, 이 값은 연속된 각 사이클 주파수의 평균차이를 나타낸다. 각 주기의 결정은 기저선에 대한 영점교차율(zero crossing rate) 횟수를 찾아 결정할 수 있다.

$$\triangle F=(\sum_{i=1}^{N-1}|F_i-F_{i+1}|)/(N-1) \quad (2.1)$$

여기서, $F_i=\log(f_i/C_0)$이고 $f_i=1/P_i$이 되며,
P_i = i번째 파형의 주기(sec),
f_i = i번째 파형의 주파수(Hz),
N은 전체 파형의 갯수, C_0는 보정값.

진폭변동은 식(2.2)와 같이 표현되고, log표현은 선형대수적인 표현을 위한 것이고 연속된 주기간의 dB값을 갖는 진폭의 평균차이 이다. 진폭의 크기는 각 주기당 최대값 피크에 최소값 피크를 뺀 값이다.

$$\triangle A(dB)=[\sum_{i=1}^{N-1}|20\log(A_i+1/A_i)|]/(N-1) \quad (2.2)$$

Ai = i번째 파형의 진폭
N = 전체 파형의 갯수

그림 2는 단모음 'ㅏ'를 발음했을 때의 음성신호와 이에 동기된 EGG 신호이다. 가로 축은 시간의 경과에 따른 샘플의 수이고, 세로 축은 신호의 크기이다. 그림2는 정상인의 경우로서 정현파형과 같은 음성신호가 발음된 단모음 'ㅏ'에 대한 동기된 EGG신호(진폭이 작은신호)이다 그림에서 볼 수 있듯이 음성신호에 EGG신호가 정확하게 동기가 됨을 볼 수 있다.

또한 무성음, 묵음일 경우에는 EGG의 진폭은 거의 0에 가깝게 되므로 음성 분석시에 음성만으로 하는 것 보다 EGG 신호를 기준으로 하면 좀 더 정확한 분석을 할 수가 있다[3]. 본 연구에서 EGG신호를 분석하기 위해 주파수 변동과 진폭 변동의 변수를 설정하였는데, Pi는 주파수 변동을 계산하기 위해 기준이 되는 현재 주기에 대한 피치의 시간간격이고, Ai는 진폭변동을 계산하기 위해 기준이 되는 현재 주기의 진폭 크기이다. Pi는 해당 주기에서의 최대피크에서 다음 주기의 최대 피크까지의 거리를 나타낸다.

2. Hilbert 변환에 의한 패턴분석

음성신호에서 피치의 준주기적인 성분과 잡음성분을 검출하기 위하여 Lovanov[4] 등은 음성신호에 대해 위상평면 방법을 적용하여 유성음, 비음, 그리고 마찰음에 대한 비교를 한 바 있다. 본 연구에서는 성문(vocal folds)의 열림과 닫힘으로 발생되는 유성음원의 피치가 환자의 서로 다른 후두의 상태에 따라 시간에 따른 위상이 달라진다는 것을 근거로 Hilbert 변환에 의한 패턴해석을 적용하였다. Hilbert 변환을 연산함으로써 해석될 신호의 가로축은 위상평면(phase plane)이라 불리는 신호의 위상값이 되고, 세로축은 해석될 신호의 각 위상에서의 순간진폭(instantaeous amplitude)이 된다.

임상데이타 수집

임상실험과 데이타 수집은 연세대학교 이비인후과에서 laryngitis, vocal polyps, husky voice, laryngeal cancer 환자 각각 20명을 대상으로 하였으며, 각 질환에 따른 평가를 위해 어음재료로서 단모음 'ㅏ', 'ㅔ', 'ㅗ', 'ㅐ', 'ㅜ', 'ㅓ', 'ㅡ', 'ㅣ'를 일정한 톤(tone)으로 3초 이상 지속적으로 발음하도록 하였다. 환자그룹과의 비교를 위한 control 그룹은 후두질환의 경력이 없는 23~33세 남녀 20명을 대상으로 하였다.

측정한 임상 데이타들은 FOSTEX사의 4채널 미디용 레코더인 멀티트랙커(X-28H)를 이용하여 저장하였고, DT2821 A/D변환기를 이용하여 10kHz로 샘플링하였으며, 전극은 spot electrode를 이용하였다.

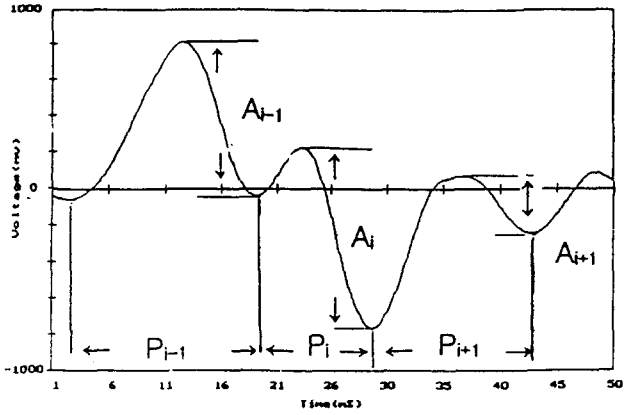

그림 3. 성대 폴립(vocal polyps)의 EGG 신호
Fig. 3. EGG signal of vocal polyps

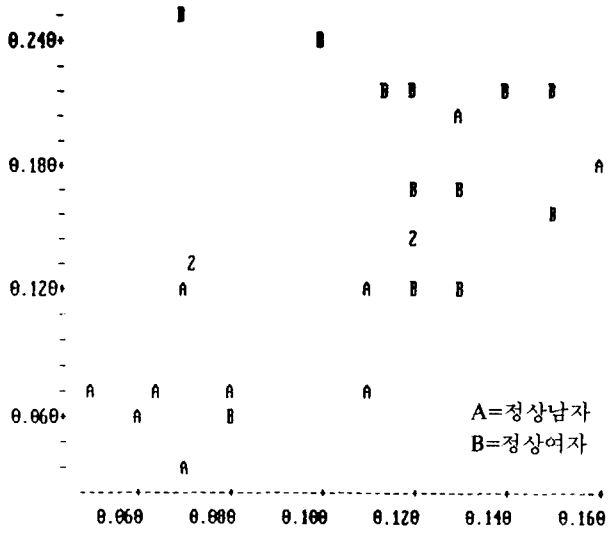

그림 4. 정상 남자와 여자에 대한 주파수 변동과 진폭의 변동
Fig. 4. Frequency and amplitude perturbations of the normal male and female subjects

결과 및 고찰

1. 주파수변동과 진폭변동

그림 3은 성대폴립(vocal polyp) 환자의 'ㅐ' 발음시 EGG 호에서, 각 사이클의 주기 Pi 와 진폭 Ai를 표시하였다. 여기서 주기 Pi는 첫번째 영점교차 후의 부의 피크값에서 두번째 영점교차 후의 부의 피크값 까지의 거리를 계산한 값이고 Ai는 그때의 최대 피크값에 최소 피크치를 뺀 값으로 계산된다. 성대 폴립환자의 경우 정상인과는 다르게 주기와 진폭의 변동이 크게 변화되고 있음을 알 수가 있다. 이때 각 사이클 당 피치 주기는 각각 15ms, 10ms, 그리고 14 ms로 큰 차이가 있고, 진폭인 A_{i-1}은 A_{i+1}보다 2배 이상 큼을 알 수 있었다.

그림 4는 통계 패키지인 MINITAB을 이용하여 후두의 질환이 없는 정상 남자와 여자에 대한 주파수 변동과 진폭의 변동을 나타낸 것으로 가로축이 주파수 변동이고 세로축이 진폭변동이다. 그림 4에서 알 수 있듯이 여성의 경우가 주파수 변동 및 진폭의 변동의 크기가 남자보다 뚜렷하게 크다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 정상인 경우, 남자보다 여자의 경우가 피치의 범위가 더 넓다는 것을 알 수 있다. 그림 5는 정상 남녀 그룹을 'A', 후두기능에 이상이 있는 남녀 환자 그룹을 'B'라고 했을 때 8가지 단모음의 평균적인 주파수 변동과 진폭변동에 따른 분포도이다. 정상과 비정상 그룹을 구별할 수 있는 경계값을 정상인에 있어서의 주파수 변동과 진폭변동 각각의 평균과 표준편차로 나타낼 수 있었다. 즉 주파수 변동의 m±0.5sd가 0.193이고(m은 평균, sd는 표준편차), 진폭변동의 m±2sd가 0.285

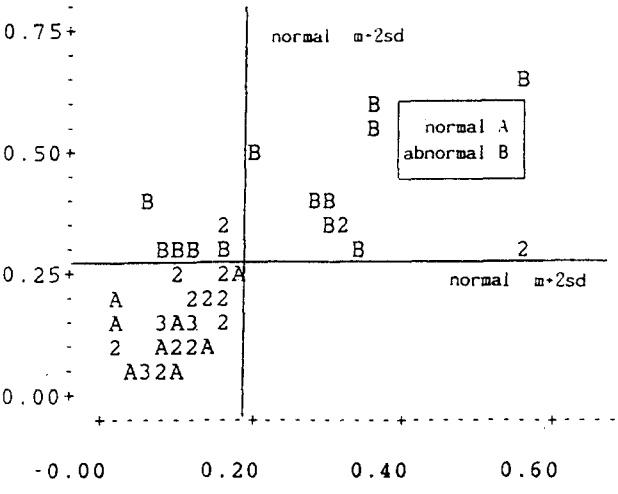

그림 5. 정상과 비정상 그룹의 주파수와 진폭변동
Fig. 5. Frequency and amplitude perturbations of the normal and abnormal group

로서 그림 5에서와 같이 정상그룹과 비정상 그룹을 분류할 수 있었다(x축은 Hz, y축은 진폭 volt). 그림에서 2와 3의 수는 값이 중복되는 것을 의미한다.

2. 후두신호의 시간적 특성

외국의 연구 경향에서와 같이 본 연구에서도 유성여기

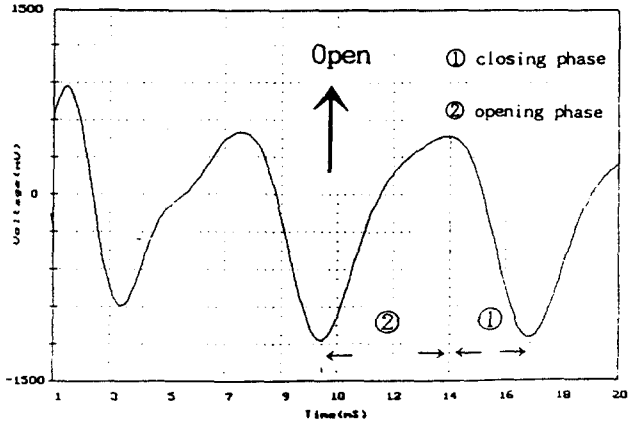

그림 6. 성대 폴립(vocal polyps)의 열림과 닫힘구간
Fig. 6. Opening and closing phase of vocal polyps

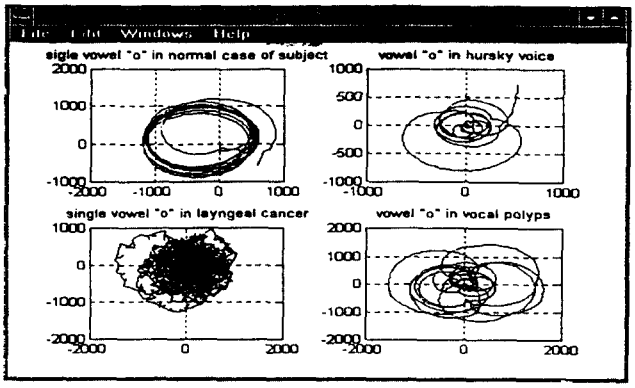

그림 8. 각 질환에의 Hibert 변환에 의한 EGG 패턴
Fig. 8. EGG patterns by Hilbert transform in abnormal subjects

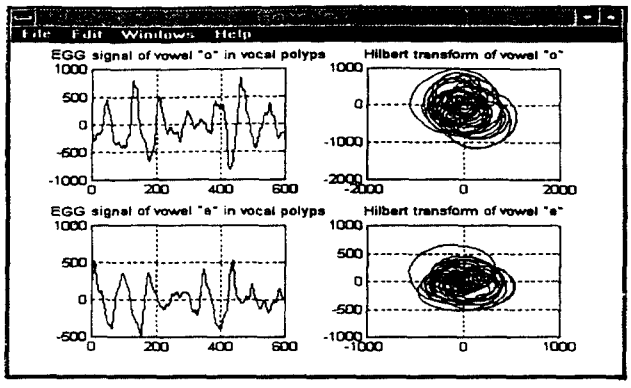

그림 7. 성대폴립 EGG의 Hilbert 변환
Fig. 7. Hilbert transform of EGG in case of vocal polyps

음의 유무와 특성을 나타내는 피치의 시간간격을 고찰할 수 있고 또한 다양한 후두질환의 통계적 특징을 산출하기 위하여 후두 호의 시간적 특징을 분석하였다[4~8]. Flanagen[5] 등은 연속적 스트로보 스코프 촬영법(stroboscopy)에 의해 성도의 면적을 산출하여 후두의 열림과 닫힘시간에 대한 해석을 연구한 바 있다. 그림 6은 vocal polyps환자의 경우 모음 "가"를 발성할 때 얻어진 EGG 호로부터 성대의 열리는 구간(공기에 의한 임피던스의 증가)과 닫히는 구간(임피던스 감소)을 표시하였다. 그림에서 열림과 닫힘구간은 각각 4.3 msec와 2.8 msec로 계산되었다.

3. Hilbert 변환에 의한 패턴분석

EGG 호의 각 질환별 패턴분석을 위해 본 연구에서는 Lobanov가 유성음의 패턴검출을 위해서 적용한 바 있는 Hilbert 변환을 EGG 호에 적용을 하였다[5]. 이때 EGG 호의 각 프레임의 길이는 60 ms로 하였다. 그림 7에서 윗 1부분은 vocal polyp 환자에 대해 단모음 'ㅗ' 를 발성할 때 EGG신호와 이 신호의 Hilbert변환이고, 아래 부분은 'ㅔ'를 발성할 때의 EGG신호와 그때의 Hilbert 변환이다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 동일 피검자가 모음 'ㅗ'와 'ㅔ'발성시, 그 모음에 대한 Hilbert변환의 위상 평면에 대한 순간진폭의 궤적은 비슷한 형태를 보여 주었다. 또한 주파수 변동과 진폭변동의 크기가 여성의 경우 남성보다 뚜렷하게 컸고, 부드러운 소리 보다는 큰 소리일 때 EGG의 closing 구간이 짧고 급격하였다.

그림 8에서는 단모음 'ㅗ'를 서로 다른 피검자가 발성 하였을 때의 Hilbert 변환에 의한 궤적이다. 그림 8에 표시된 바와 같이 정상인의 발음(좌상단)인 경우에는 위상평면에 대한 순간 진폭의 궤적이 일정한 반면, hursky voice(우상단), laryngeal cancer(좌하단) 및 성대 polyps(우하단)의 경우에는 서로 다른 궤적의 형태를 보였다. 따라서 본 연구에서는 좀 더 많은 임상실험 데이타를 바탕으로 후두 기능 평가를 위해 후두신호의 진폭과 주파수 변동에 대해 Hilbert 변환에 의한 궤적의 패턴을 비교하여 후두 질환을 분석해야 할 필요성을 확인 하였다.

결 론

지속적인 모음의 발성시 EGG의 신호의 피치변동 해석 및 패턴분류를 고찰함으로써 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. EGG 시스템을 설계하여 성도의 전달함수에 영향을 받

지않는 후두에서의 성문막 에 의한 기본주파수(fundamental frequency)를 검출할 수가 있었다.

2. 주파수 변동과 진폭변동의 크기가 여성의 경우 남성보다 뚜렷하게 컸고, 부드러운 소리 보다는 큰 소리일 때 EGG의 closing 구간이 짧고 급격하였다.
3. 정상음의 경우 기본주파수의 변화간격은 여자가 남자보다 간격이 컸고, EGG 신호는 남자의 경우보다 대칭적이었다(각 주기파형의 형태).
4. 주파수 변동과 진폭변동을 이용하여 정상인 그룹과 비정상인 그룹의 구분을 할 수 있는데 그 판별선은 정상인의 주파수 변동이 $m\pm0.5*sd$, 진폭 변동이 $m\pm2^{*}sd$가 되었다.
5. Hilbert변환에 의한 EGG 신호궤적의 패턴을 비교 분석함으로서 후두기능 판별을 위한 새로운 분류기법이 됨을 제시하였고 추후 많은 임상데이타의 분석이 수행 될 것이다.

향후의 연구는 EGG 신호로부터 성문막의 opening 구간과 closing 구간, 그리고 closed 구간(EGG 신호에서 임피던스가 0)의 비교와 아울러 Hilbert 변환에 의한 EGG신호 분포영역의 contour를 평가함으로써 각 질환에 따른 판별기준을 마련하는 것이다. 또한 한국어에 대한 유성음원의 추정과 분석, 그리고 음원의 정확한 추정을 통해 합성음의 음질향상을 목적으로 하는 EGG 기반의 음성합성 시스템에 관한 연구도 병행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. A. K. Krishnamurthy and D. G. Childers, "*Two-Channel Speech Analysis,*" IEEE Trans., Vol. ASSP-34, No. 4, Aug. 1986
2. 김덕원, 송철규, 김원기, 이명호, "임피던스 혈량측정기의 개발 및 손가락혈류량의 측정," 의공학회지, 제12권 제1호, pp. 23-28, 1991
3. R. B. Monsen and A. M. Engerbretson, "*Study of variation in the male and female glottal wave,*" J. Acoust, Soc, Amer., Vol. 62, pp. 228-232, 1977
4. Sadaoki Furui and M. M. Sondhi, *Advances in speech signal processing,* Marcel Dekker, Inc., 1992
5. B. M. Lobanov, "*Automatic dicrimination of noisy and quasi periodic speech sounds by the phase plane method,*" Sov. Phys. Acoust. 16:353-356, pp. 425-428, 1970
6. J. L. Flanagen, K. Ishizaka, and K. L. Shipley, "*Synthesis of speech from a dynamic model of the vocal cord and vocal tract,*" B. S. T. J., vol. 54, No. 3, pp. 420-506, 1975
7. 송철규, 김종명, 이명호, "후두기능 및 음성정보검출을 위한 3-채널 EGG 시스템의 설계," pp. 365-366, 1993년도 대한전자공학회 하계학술대회 논문집, 1993
8. M. Hiroshi and Thomas Baer, "*A pitch synchronous analysis of hoarseness in running speech,*" J. Acoust. Soc. Am. Vol. 84, No. 4, pp. 1292-1301, 1988
9. M. Hiroshi, "*Adaptive estimation of time-varying model order in the ARMA speech snalysis,*" IEEE Trans. ASSP Vol. 38, No. 7. July, 1990

=국문초록=

본 논문에서는 발성기관인 후두(glottis)의 기능을 평가하기 위하여 후두신호의 주파수 변동과 진폭변동의 영향을 분석하였다. 정상인의 EGG(electroglottograph)신호는 매개변수 방법을 이용하여 최적의 차수가 9차인 자귀회귀형 모델로 설명할 수 있으며, 이것은 전달함수를 결정함으로써 해석이 가능하다. EGG신호의 진폭과 주파수의 변동은 변복조방식의 4전극 EGG 시스템으로 얻어지며, 후두기능 상태식별을 목적으로 개발하였다. EGG를 이용하여 후두의 닫힘구간과 열림구간을 계산함으로써 비정상 EGG신호는 비주기적이며 불안정한 상태라는 것을 구별할 수 있었다.

정상과 비정상의 피검자들을 구분할 수 있는 파라미터인 주파수 변동은 정상인의 $m\pm0.5*sd$이고, 진폭변동은 $m\pm2*sd$가 각각 되었다. 또한 EGG신호를 Hilbert 변환함으로써 얻어진 궤적의 패턴을 이용하여 정상과 비정상의 후두기능상태를 효과적으로 분류할 수 있었다.