

## 후두 스트로보스코프 검사의 신호 동기화를 위한 진동 검출기의 유용성

부산대학교 의과대학 이비인후과학교실,<sup>1</sup> 의공학교실,<sup>2</sup> 인문대학 언어정보학과,<sup>3</sup> 창원대학교 공과대학 제어계측학과<sup>4</sup>  
이진춘<sup>1</sup> · 이병주<sup>1</sup> · 왕수진<sup>1</sup> · 노정훈<sup>2</sup> · 권순복<sup>3</sup> · 조철우<sup>4</sup>

= Abstract =

### Usefulness of the Vibration Pick-Up in Detection of Pitch for Synchronization of Laryngeal Stroboscopy

Jin-Choon Lee, MD<sup>1</sup>, Byung-Joo Lee, MD<sup>1</sup>, Soo-Geun Wang, MD<sup>1</sup>,  
Jung-Hoon Roh, PhD<sup>2</sup>, Sun-Bok Kwon, PhD<sup>3</sup> and Cheol-Woo Jo, PhD<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Otolaryngology and <sup>2</sup>Biomedical Engineering College of Medicine and <sup>3</sup>Department of Linguistics,  
College of Humanities, Busan University, Busan ; and <sup>4</sup>Department of Control and Instrumentation Engineering,  
College of Engineering, Changwon National University, Changwon, Korea

**Objective and Background :** Laryngeal stroboscope is an useful equipment in evaluation of vocal cord vibration and in early detection of mucosal lesion including invasive cancer of the vocal cord. Recently Lee et al. (2006) developed portable stroboscope using voice as synchronization signal. It has been frequently impaired ability to synchronize the flashes even in normal female. Authors tried to investigate various methods including vibration pick-up, microphone, laryngeal microphone, and contact microphone for development of simple and accurate method like electroglottograph signal. The purpose of this study was to estimate whether the vibration pick-up is available and is consistent with the signal of EGG.

**Subjects and Methods :** Authors compared the signals between EGG and noncontact method such as voice, contact methods including vibration pick-up, laryngeal microphone, and contact microphone in normal twenty adults (male 10 and female 10). The number of peak in one cycle was compared with the number of the peak in EGG, and the percent of phase difference in the peak was compared with EGG. Also, authors tried to investigate which site of vibration pick-up was most effective for synchronization of stobo flashes. Three site including anterior neck below the cricoid cartilage, thyroid ala, and suprahyoid region were analysed.

**Results :** Among various methods for synchronization of strobo flashes, vibration pick-up was most effective method in peak detection. And anterior neck below cricoid cartilage was the most available site of the vibration pick-up.

**Conclusion :** Authors suggest that vibration pick-up is most available and effective method for synchronization of strobo flashes.

**KEY WORDS :** Stroboscopy · Vibration.

## 서 론

후두 스트로보스코프는 성대의 미세 병변 뿐 아니라 성  
대마비의 조기 예후 평가 등에 유용한 검사 장비이나 현재

논문접수일 : 2007년 4월 13일

심사완료일 : 2007년 5월 30일

책임저자 : 왕수진, 602-739 부산광역시 서구 아미동 1-10

부산대학교 의과대학 이비인후과학교실

전화 : (051) 240-7331 · 전송 : (051) 246-8668

E-mail : wangsg@pusan.ac.kr

보급되어 사용하고 있는 장비는 매우 고가일 뿐 아니라 매  
검사시 전기성문파형검사(electroglottograph, EGG)의 전  
극을 피검자의 목에 고정해야 하는 불편감이 있다. 그러나  
기존의 후두스트로보스코프와 기능에서 차이가 없으면서  
검사가 간편하고, 저가이며, 휴대가 가능한 후두 스트로보  
스코프를 개발할 수 있다면 후두 질환의 검사에 널리 사용  
될 수 있어 성대병변 진단에 도움이 될 수 있다. 이를 위  
해 최근 Lee 등,<sup>1)</sup> Kwon<sup>2)</sup>이 음성신호 동기화 기법을 이  
용한 휴대형 후두 스트로보스코프를 개발하였으나 성대와  
스트로보광과의 완벽한 동기화(synchronization)가 이루어

어지지 못하였다. 후두 스트로보스코프 개발에 있어 제일 큰 어려움은 피검자 성대의 정확한 기본주파수(fundamental frequency), 즉 피치(pitch)의 검출과 한 주기(cycle) 내에서 확실히 차이가 나는 정점(peak)을 구현할 수 있는 방법을 찾는 것이다. 왜냐하면 확실한 정점이 없으면 스트로보광의 동기화된 발광이 불가능해져서 성대의 자연스러운 진동 상태를 관찰할 수 없기 때문이다.

현재까지 개발된 피치 검출법은 EGG, 음성신호 및 음성신호의 역여과(inverse filtering), 청진기에 소형 마이크로폰을 부착한 후두 마이크로폰(laryngeal microphone) 등을 이용한 방법이 있으며 이 중 EGG를 이용한 방법이 가장 널리 이용되고 있다. 하지만, 기존의 방법과는 다르게 성대의 진동과 기도 압력의 변동을 진동측정용 센서를 사용하여 측정하면 다양한 고조파(harmonic)가 혼재한 발생부를 통과한 음성과는 달리 성대 진동에 해당하는 기본 주파수를 보다 직접적으로 추출할 수 있을 것이다.

저자들은 다 채널 분석장치인 PC quirer 516(Scicon R&D, USA), 입력된 신호를 증폭시킬 수 있는 음성혼합기(Soundcraft, Compact 4) 및 음성 분석 소프트웨어인 프라트(Praat, Netherland) 등을 이용하여 상기의 여러 방법을 비교하여 진동 측정용 센서인 진동 검출기(Vibration pick-up, AKG C-411)를 이용한 방법이 EGG를 사용한 방법과 가장 근접하는 피치 검출방법으로서 의미가 있는지 알고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 대 상

전자 후두내시경 검사상 후두에 병변이 관찰되지 않은 정상 성인(20~40세) 남, 녀 각각 10명을 대상으로 시행하였다.

### 2. 방 법

#### 1) 스트로보광 동기화를 위한 신호 추출

후두 스트로보스코프의 피치 정점 검출 신호로 사용 가능한 최적의 신호를 선택하기 위하여 비접촉식과 접촉식 두 가지 방식으로 나누어 검사하였다. 비접촉식에는 음성 마이크로폰을 이용하여 아날로그 음성신호를 추출하였으며, 또한 이 음성신호를 이용하여 Matlab 7.0(Mathworks, Inc.)에서 선형 예측오차(linear prediction error) 신호를 추출하였다. 접촉식 방식으로는 EGG, 진동 검출기(vibration pick-up, AKG C-411), 접촉형 마이크로폰(contact microphone) 및 후두 마이크로폰(laryngeal microphone, KAY-PENTAX, USA)을 이용하여 신호를 추출하였다(Fig. 1).

#### (1) 음 성

음성 신호는 마이크로폰을 통해 PC quirer 516의 오디오 포트 채널을 통해 입력하고 4,000Hz의 저역통과 필터를 통과한 신호를 16비트로 표본화하였다.

#### (2) 선형 예측오차 신호

마이크로폰을 통해 입력한 음성신호를 Matlab 7.0에서 저자가 개발한 선형 예측오차 신호 추출 소프트웨어를 이용하여 추출하였다(Fig. 2).

#### (3) EGG

EGG신호는 성대의 개폐시 생체 임피던스의 변화를 측정

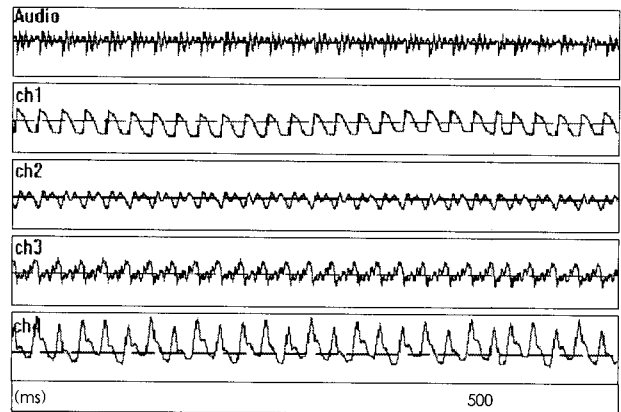


Fig. 1. It demonstrates the collected signals using PC quirer 516. Each channel represents as follows. Audio : voice, ch 1 : EGG, ch 2 : laryngeal microphone, ch 3 : contact microphone, ch 4 : vibration pick-up.

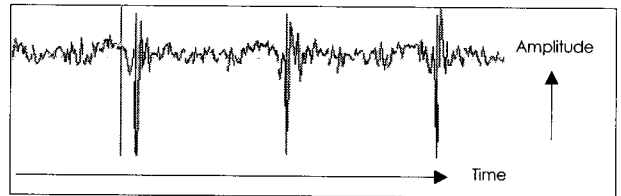


Fig. 2. It shows signal of linear prediction error. Red line indicates glottic closure instant.

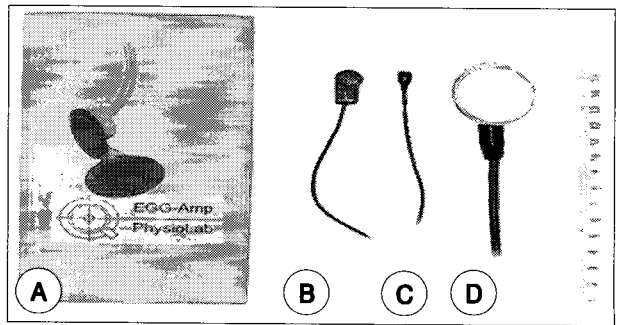


Fig. 3. It shows various synchronizing equipments for collecting signals. A : Electroglottograph (v1.0). B : Vibration pick-up (AKG C411). C : Condenser microphone C417PP. D : Laryngeal microphone (KAY-PENTAX).

하는 것으로 Physiolab(Busan, Korea)에서 제작한 laryngograph(v1.0) (Fig. 3A)를 사용하였으며, 출력은 PC quier 516를 통해 입력하고(Fig. 1) 성대의 운동을 측정하는 기본적인 신호로 사용하였다. 성대의 개폐작용과 EGG 및 미분된(differentiated) EGG(dEGG) 신호와의 관계는 Fig. 4와 같다.

(4) 진동 검출기

음향을 추출할 때 사용되는 것으로 10~200Hz 구간의 성분을 강조하고, 보다 높은 주파수 성분은 억제하는 특징을 갖고 있는 AGK사의 C411 L 진동센서(Fig. 3B)를 사용하여 신호를 추출하였다(Fig. 1).

(5) 접촉형 마이크로폰

AKG사의 C417PP형 콘덴서형 마이크로폰(Fig. 3C)을 갑상연골판에 부착하여 신호를 추출하였다(Fig. 1).

(6) 후두 마이크로폰

청진기에 연결된 관에 부착된 소형 마이크로폰을 붙인 KAY-PENTAX사의 후두 마이크로폰(Fig. 3D)을 이용하여 PC quier 516에 신호를 입력하였다(Fig. 1).

2) 신호 수집장치

(1) 다채널 음성 분석기

5 채널로 구성되어 동기된 입력이 가능한 Scicon R&D

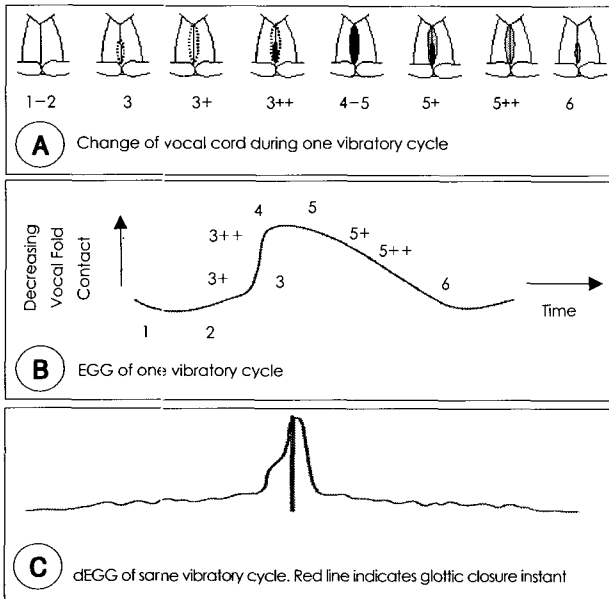


Fig. 4. It shows vocal cord movement<sup>3)</sup> during one vibratory cycle and EGG. A : Change of vocal cord during one vibratory cycle. B : EGG of one vibratory cycle. C : The signal of dEGG 1-2 both closed, 3 upper closed & lower 1/2 open, 3+ upper closed & lower open, 3++ upper 1/2 open & lower open, 4-5 Both open, 5+ upper still open & lower 1/2 closed, 5++ upper open & lower closed, 6 upper 1/2 closed & lower closed. Red line indicates glottic closure instant.

사(USA)의 PC quier 516(Fig. 5A)을 사용하였다. PC quier 516의 사양은 같다. 채널 1은 EGG 신호, 2는 후두 마이크로폰 신호, 3은 접촉형 마이크로폰 신호, 4는 진동 검출기 신호를 입력하였고 “Audio in” 단자에 아날로그 음성을 입력하여 총 5개의 채널을 이용하였다(Fig. 1).

각 채널은 16비트, USB포트를 통하여 접속하였고, 표본 화율(sampling rate)은 8,000Hz를 사용하였다. 저역 통과 필터는 4,000Hz로 지정하였고 소프트웨어는 PC quier 516을 이용하여 신호의 수집과 저장을 하였고 Praat를 이용하여 pitch 분석을 시행하였다.

(2) 음성 혼합기(Soundcraf compact 4 mixer)

여러 음성을 수집하여 혼합 및 증폭할 수 있는 장치로 Soundcraft compact 4 음성 혼합기(Fig. 5B)를 이용하였다.

3) 모음 발생

피검자의 음성과 함께 전경부에 EGG 측정용 전극판을 양측 갑상연골판에 부착하고, 후두 마이크로폰, 접촉형 마이크로폰, 진동 검출기를 윤상연골하 전경부 하방 전경부에 부착시킨 후 4개의 채널을 통해 신호를 수집하였다. 검사자가 피검자의 혀를 앞으로 당겨 낸 후, 모음 /e/와 /i/의 피치 및 발생강도를 약간 높게 발생시켜 파형을 추출하였다.

4) 단 모음에 대한 기본주파수

성인 남, 녀 각각 5명이 /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ 를 발성하고 혀를 당긴 상태에서 /e/와 /i/를 발성한 후 얻어진 파형으로 프라트를 이용하여 기본 주파수를 검출하였다.

5) 한 주기내 정점의 측정

4 가지의 센서 신호와 계산된 선형 예측신호를 이용하여 피치 정점의 특성을 비교하였다. 스트로보그래프의 동기화를 위한 피치 신호의 조건으로는 한 주파수내 뚜렷한 정점이 있어야 하고 피치 정점의 위치가 일정하여야 하며 미분된 EGG(dEGG)와 비교하여 위상차가 없어야 한다. dEGG는

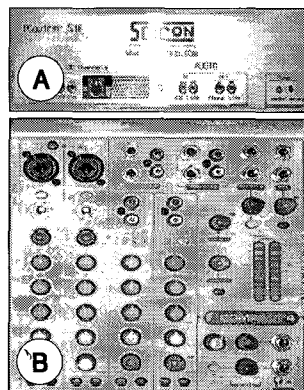


Fig. 5. It demonstrates PC quier 516(A) for collecting signals and Sound-mixer(soundcraft compact 4) (B) for mixing and amplifying the signals.

EGG 신호를 Matlab 7.0에서 저자가 개발한 소프트웨어를 이용하여 구하였다. 피치 정점의 위치에 단일 피치가 검출되는지, 모호하게 검출되는지 프라트를 이용하여 육안적으로 감별하였다. 모든 센서 신호에서 한 주기의 피치내에서 최소값과 최대값의 80% 이상에서 몇 개의 정점이 나오는지를 확인하여 개수를 비교하였다.

**6) 위상차(Phase difference)의 정도**

4 가지 센서에서 피치의 정점과 dEGG의 정점과 위상차가 어느 정도 인지를 한 주기에서의 %로 표시하였다.

**7) 진동 검출기 부착 위치에 따른 동기화의 변화**

진동 검출기의 위치를 운상연골하 전경부, 갑상연골판 부위, 설골상부로 나누어 혀를 당긴 상태에서 /e/와 /i/를 발성하게 하여 어느 부위에 부착하였을 때, dEGG와 정점의 위치가 일치하는지, 위상차가 어느 정도 인지를 확인하였다.

**8) 휴대형 후두 스트로보스코프를 이용한 스트로보광과의 동기화 확인**

비접촉형 마이크로폰 및 접촉형 소형 마이크로폰, EGG, 진동 검출기, 후두 마이크로폰 등 5가지 센서 신호 중 EGG에 가장 유사한 센서를 선택하여 Lee 등,<sup>1)</sup> Kwon<sup>2)</sup>이 개발한 휴대형 후두 스트로보스코프를 이용하여 실제 동기화가 잘 되는지를 검정하였다. 휴대형 스트로보스코프는 5W LED를 이용한 휴대형 광원으로 구성되어 있으며 이외 7mm 강직형 후두경, CCD 카메라 시스템, 모니터 등의 장비로 구성하였다.

**9) 통계 처리**

t-검정 후 Bonferroni 수정을 이용하여 통계 처리하였고  $p < 0.05$ 를 유의한 것으로 판정하였다.

**결 과**

**1. 기본 주파수 측정**

남, 녀 성인 각각 10명의 /a/, /e/, /i/, /o/, /u/의 기본 주파수를 측정하였다. 남자 성인의 기본 주파수는 평균 119.2Hz에서 179.9Hz로 측정되었고(Table 1) 여자 성인의 기본 주파수는 평균 229.5Hz에서 314.4Hz로 측정되었다. 남,녀

모두에서 혀를 당긴 상태에서 /e/와 /i/를 발성하였을 때 평상시 /e/, /i/와 비교하여 기본주파수가 높았으나 통계학적인 의미는 없었다.

**2. 채널별 수집된 신호**

각 채널별로 수집한 신호, 즉 dEGG 신호와 다른 신호를 한눈에 비교할 수 있게 배열하였다(Fig. 6). 진동 검출기는 dEGG와 정점의 개수도 일치하였고 위상차도 거의 나타나지 않아 동기화에 적합한 소견을 보였다. 하지만 마이크로폰과 접촉형 마이크로폰의 정점 위치는 dEGG 신호와 약간의 차이를 보이면서 한 주기에서 정점이 여러개 나타났으며, 후두 마이크로폰은 위상차도 많이 나타났으며, 다수의 정점이 있었다.

**3. 피치 정점의 측정**

4 가지의 신호에서 한 주기 내 정점의 최소값과 최대값의 80% 이상에서 몇 개의 정점이 나오는지 비교하였다.

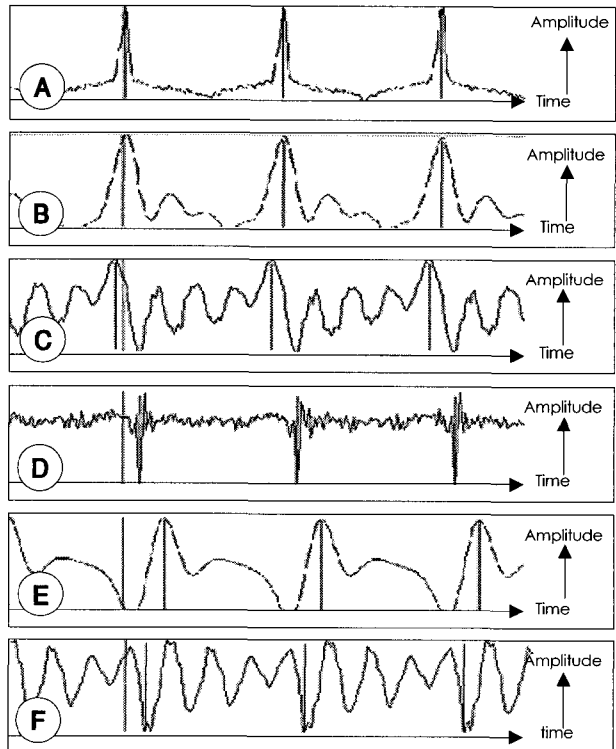


Fig. 6. It demonstrates collected signals using Praat. Red line indicates glottic closure instant. A : dEGG. B : Vibration pick-up C : Microphone. D : Linear prediction error. E : Laryngeal microphone. F : Contact microphone.

Table 1. The fundamental frequency of normal male and female subjects

Sex	Vowel					Tongue protrusion /e/	Tongue protrusion /i/
	/a/	/e/	/i/	/o/	/u/		
Male	119.2	129.8	135.5	131.3	139.0	148.0	179.9
Female	229.5	236.6	233.4	231.1	231.2	254.9	314.4

Tongue protrusion /e/ : /e/phonation with tongue protrusion, Tongue protrusion /i/ : /i/phonation with tongue protrusion

dEGG와 가장 유사한 정점의 개수를 보인 신호는 진동 검출기에서 수집한 신호로 /e/ 발성시 평균 1개이었고 선형 예측오차(2.1개), 후두 마이크로폰(3.2개), 마이크로폰(4.5개), 접촉형 마이크로폰(5.1개) 순이었고 /i/ 발성시도 동일한 순으로 유의한 차이( $p < 0.05$ )를 나타내었다(Table 2).

#### 4. 위상차의 정도

dEGG에서 나타나는 피치의 정점을 기준으로 하여 4가지 센서의 정점을 비교하여 위상차가 어느 정도 인지를 %로 표시하였다(Table 3). /e/ 발성시 진동 검출기에서 dEGG의 정점에 대한 위상차가 평균 2.4%로 가장 적었고 선형 예측오차(23.8%), 후두 마이크로폰(29.9%), 접촉형 마이크로폰은 평균(30.2%), 마이크로폰(31.2%)의 순이었고 /i/ 발성시도 동일한 순으로 유의한 차이( $p < 0.05$ )를 나타내었다.

#### 5. 진동 검출기 부착 위치에 따른 동기화의 변화

진동 검출기의 위치를 윤상연골하 전경부, 갑상연골판 부위, 설골상부로 나누어 혀를 당긴 상태에서 /e/와 /i/를 발성하게 하여 어느 부위에 부착하였을 때 dEGG와 정점의 위치가 일치하는지, 위상차가 어느 정도 인지 확인하였다. 윤상연골하 전경부에 부착한 경우 dEGG와 정점의 개수(1개)와 위상차(1.4%)가 가장 적었고 갑상연골판 부위에 부착한 경우 정점(2.8) 및 위상차(10.7%)가 가장 심하였다( $p < 0.05$ ) (Table 4).

## 고 찰

후두 스트로보스코프 검사는 성대의 생리 연구,<sup>3)</sup> 후두 질환의 진단 즉 후두 악성종양의 조기발견 뿐 아니라 각화성 병변의 감별,<sup>4)</sup> 성대 미세 수술 전후의 비교,<sup>5)</sup> 성대 병변의 정확한 수술 범위의 결정, 후두 손상의 정도와 예후의 예측, 기능적 음성장애(functional dysphonia)의 진단에 사용되는 유용한 검사기기이다. 성대마비 환자에서 후두

스트로보스코프 검사를 시행하였을 경우 성대 근육의 위축으로 인해 점막 파동이 사라지며, 폐쇄가 불완전하고,<sup>6)</sup> 기능성 발성장애(functional dysphonia) 중 과기능장애(hyperfunction) 시에는 작은 진폭과 폐쇄기의 연장을 볼 수 있으며 저기능장애(hypofunction) 시에는 큰 진폭과 폐쇄기의 단축을 볼 수 있다.<sup>7)</sup> 하지만 후두 스트로보스코프 검사 시 얻어진 영상은 실제 한 주기의 이미지를 보여 주는 것이 아니라, 후두의 연속적인 여러 주기의 이미지를 합성한 화면이다.<sup>8)</sup> 그러므로 기본주파수에 일치할 수 있도록 스트로보스코프 신호의 동기화를 구현하는 것이 이 검사 기기의 기본이라고 할 수 있다. 그러나 동기화의 구현은 스트로보광의 동기화 신호 추출방법 및 스트로보스코프 광의 지속 시간, 발성강도 및 피치, 성대의 기질적 변화 등 여러 인자에 의해 영향을 받는다.

후두 스트로보스코프의 동기화 신호 추출 방법은 EGG를 주로 이용하고 있으며, 부수적으로 후두 마이크로폰을 사용하고 있고 최근에는 마이크로폰을 통해 비접촉 방법으로 음성을 이용하는 기기<sup>1)2)</sup>도 소개되고 있다.

EGG는 미분된 EGG 즉 dEGG를 통해 성문폐쇄 시점(glottic closure instant, GCI)을 정확하게 파악하여 한 주기 내에 한 개의 정점을 갖는 파형을 나타내므로 선호되고 있으나 EGG 단독만으로는 임상에서 별 도움을 얻지 못한다.<sup>9)</sup> 하지만 EGG와 후두 스트로보스코프를 동시에 이용하면 EGG 파형을 이해하는데 도움이 되며 발성하는 동안 어떤 방식으로 성문이 열리고 닫히는지의 관찰이 용이하고, 성문이 열리고 닫히는 실제 시간을 측정하는데 효과적이며,

**Table 4.** Comparison among the application sites of vibration pick-up

Site	Peak(No.)	Phase difference (%)
Trachea just below cricoid	1.0±0.0	1.4±0.9
Thyroid ala	2.8±0.5	10.7±1.3
Suprahyoid	2.8±0.5	4.1±1.1

**Table 2.** The number of pitch peaks in each signals

Signal Vowel	No. of peak				
	Linear prediction error	Microphone	Laryngeal microphone	Contact microphone	Vibration pick-up
/e/	2.1±0.9	4.5±0.8	3.2±1.5	5.1±1.1	1.0±0.0
/i/	2.4±0.7	4.4±0.8	3.3±1.4	4.8±0.9	1.0±0.0

$p < 0.05$

**Table 3.** Phase differences among the pitch peaks in each signals

Signal Vowel	Phase difference (%)				
	Linear prediction error	Microphone	Laryngeal microphone	Contact microphone	Vibration pick-up
/e/	23.8±6.5	31.2±8.4	29.9±9.5	30.2±7.5	2.4±2.7
/i/	25.9±8.6	32.0±8.7	28.0±9.9	32.0±7.3	1.8±0.9

$p < 0.05$

스트로보스코프의 작동이 의심스러운 경우 성대의 접촉 여부를 확인하는 데 유용하다.<sup>10)</sup>

현재까지 EGG를 대체하는 방법으로 많이 사용되는 방법은 후두 마이크로폰으로 상용화된 후두 스트로보스코프에 부착되어 있으나, 청진기의 구조적 특성상 긴 도관을 통과하는 동안 고주파 성분이 필터링되지만 본 연구에서와 같이 기본 주파수 외 다양한 고주파 성분을 포함하고 있어 정상 여성 뿐 아니라 정상 남성에서도 발생주기내 단일 정점 검출율이 현저히 떨어져서 동기신호로서의 유용성에 문제가 있다.

음성을 이용한 피치 검출방법은 비접촉 방법으로 아날로그 음성신호 자체를 이용하는 방법<sup>11)2)</sup>과 DSP(digital signal processing)를 이용하여 음성신호를 역여과(inverse filtering)하여 피치를 구하는 방법<sup>11)12)</sup>이 있다. 만약 이 방법들이 피치 검출을 정확하게만 할 수 있다면 후두 스트로보스코프 검사시 피검자의 목에 어떠한 장치를 부착하지 않고 검사할 수 있기 때문에 가장 이상적이다. 그러나 강제형 후두내시경을 이용한 후두 스트로보스코프 검사시에는 검사자가 피검자의 혀를 잡아당겨서 후두내시경을 입안으로 삽입하여 성대를 관찰하게 되므로 피검자는 /a/, /o/, /u/ 발성을 할 수 없는 상황이 되고, 이 경우 피검자가 발성할 수 있는 모음은 /e/ 및 /i/로 제한된다. Kwon<sup>2)</sup>은 두 모음으로 정점 검출을 시도하였을 경우 음성 신호 파형 검출이 어려웠으며 이를 위해 보다 정확한 정점 검출 기술이 필요하다고 하였다. 음성에 의한 동기화 방법은 본 연구에서 파악된 바와 같이 검출된 정점 위치가 발성의 상황에 따라서 dEGG에서의 동기 위치와 달라지는 문제가 있었다. 본 연구에서는 이러한 위상차를 극복하기 위하여 경부에서 직접 음성을 측정하는 접촉형 마이크로폰으로 정점 검출을 시도하였으나, 비접촉 마이크로폰으로 측정된 음성을 이용한 결과와 유사하여 후두 스트로보스코프와 동기화된 신호 파형 검출이 어려웠다.

그 외 음성신호를 이용한 정확한 정점 검출을 위해 선형 예측오차 신호를 이용한 성문폐쇄 시점을 구하는 노력이 시도되었다.<sup>13)</sup> 역여과법의 일종인 선형예측오차 신호는 음성신호로부터 신호의 예측치를 표시한 값으로 성문폐쇄시점(glottic closure instant, GCI)에서 예측오차가 커지는 성질을 이용하여 GCI시점을 검출할 수 있다. 성문폐쇄시점이란 성대의 여·단힘 점을 의미하는 말로 유성음에만 존재하는데 흔히 피치와 동일한 의미로 혼용하여 사용된다. 그러나, 엄밀한 의미에서는 차이가 있다. 피치는 성문의 운동 속도에 대한 정보만 있으나 GCI는 성문이 여·단히는 순간에 대한 정보까지 필요로 한다. 이러한 성문폐쇄시점은 음성을 선형적으로 근사화해 줄 수 있는 구간을 제시하는

외에, 감정 정보와 밀접한 관계를 가지는 음원 정보를 추출하는데 필수적인 요소가 된다. 성문폐쇄시점 검출을 위한 연구가 활발히 진행되고 있는데 반해, 성문폐쇄시점을 검출할 수 있는 완벽한 알고리즘이 없는 관계로 정확도에 대한 검증은 dEGG 신호를 기준으로 하고 있다.<sup>13)</sup>

본 연구에 사용된 선형예측 오차를 구하는 공식<sup>14)</sup>은 다음과 같다.

$$e[n] = \chi[n] - \sum_{i=1}^N a_i \chi[n-i]$$

여기서  $a_i$ 는  $i$ 번째 신호로부터 현재의 입력신호를 예측하는 계수이며, 음성신호의 모델링에서는 선형예측오차가 최소가 되도록 하여 계수  $a_i$ 를 계산하여 음성의 특성을 분석한다. 그러나 GCI 시점을 기준으로 성대의 여단음에 따른 불연속성이 발생하므로 이를 이용하여 한 주기내에서 선형예측오차의 크기가 가장 커지는 시점을 검출하면 GCI 시점을 구할 수 있고<sup>15)16)</sup> 이러한 선형예측오차 신호의 원리를 이용하여 GCI 시점을 검출하면 스트로보광과의 동기화를 정확히 구현할 수 있다. 그러나 이러한 방법은 여러 주기의 음성신호가 필요하여 발성과 동시에 동일 주기내 정점 검출이 어렵고, 발달된 신호처리 기술을 사용하여도 발성의 기본 주파수가 높은 여성의 경우 정확한 동기 신호 추출이 힘들었다. 일반적으로 정상 남성의 경우 GCI가 비교적 잘 검출이 되나 정상 여성 뿐 아니라 성대의 기질적 병변이 있는 경우 EGG에 비해 정확한 동기 신호 추출이 어렵다.

본 연구에서와 같이 전경부의 진동을 진동 검출기로 측정하는 방법은 별다른 침습제를 사용하지 않고, 한개의 센서를 전경부에 접촉시켜 동기 신호를 검출할 수 있었다. EGG의 경우 검사시 경부 감상연골부 양측에 전극을 정확하게 고정해야 하는 불편함이 있으며 필요에 따라 피부에 전극의 양호한 전기적 접촉을 위하여 Ag/AgCl 등의 젤과 같은 부가적인 재료를 사용하여야 하므로 오늘날과 같이 비침습적 진료가 우선시 되는 시대에서는 환자의 불편을 야기할 수 있다. 실제로 진동 검출기를 이용하여 경부의 위치에 따른 진동 상태를 측정된 결과 윤상연골하 전경부의 진동이 가장 민감하고 양질의 진동상태를 나타냄을 확인할 수 있었으며, 이는 향후 후두 스트로보스코프의 발광신호의 동기화에 dEGG와 거의 동일하면서도 위상차가 거의 없는 간단한 방법임을 알 수 있었다.

스트로보스코프 광의 지속시간에 대하여 Kwon<sup>2)</sup>은 지속시간을 늘려도 흐려보이는 현상은 관찰되지 않았고 오히려 음성신호에 동기화가 되지 않을 경우 흐려지는 현상을

관찰할 수 있었다고 하였다.

또한 후두 스트로보스코프는 움직이는 물체에 단속적인 광원을 이용함으로써 광원이 카메라의 샘플링 속도와 동기화 되지 않을 경우 영상이 어두워져서 대상물을 선명하게 관찰할 수 없게 된다. 이 경우 progressive scan이 가능한 비디오카메라 시스템을 사용하면 해결될 수 있다.

발성강도 및 피치에 대하여 피검자의 목소리가 너무 작아서 증폭기의 출력신호가 약할 경우, 정점 검출 회로를 정상적으로 동작시키지 못해 정점 검출을 놓치는 부분이 생기게 되고, 반대로 피검자의 목소리가 너무 커서 증폭기의 출력 신호가 포화될 경우 한 주기 내에 여러 번의 정점이 검출될 수 있으며 동일 피검자에서 피치를 높이면 한 번 이상의 정점이 검출되는 것을 본 연구에서 확인할 수 있었다. Kwon<sup>2)</sup>은 이에 대해 증폭기의 이득을 자동으로 조절하여야 정점 검출이 안정적으로 이루어질 수 있다고 하였다.

결론적으로 후두 스트로보스코프의 동기화를 위해서는 정확한 피치 검출과 한 주기 내에서 단 하나의 정점을 검출해 내어야 한다. 본 연구에서 진동 검출기의 경우 피치 검출 뿐 아니라 정점의 양상이 dEGG와 매우 유사하였으며, 실제 Lee 등,<sup>1)</sup> Kwon<sup>2)</sup>이 개발한 휴대형 스트로보스코프를 이용하여 진동 검출기의 유용성을 검증한 결과 EGG를 이용한 경우와 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

**중심 단어 :** 후두스트로보스코프 · 진동검출기.

## REFERENCES

1) Lee JW, Kwon SB, Lee BJ, Lee JC, Goh EK, Chon KM et al. Development of portable laryngeal stroboscope. *The Journal of the Korean Society of Logopedics and Phoniatrics* 2006; 17:28-37.

2) Kwon KS. Development of portable laryngeal stroboscope using acoustic wave synchronization method (The master dissertation of biomedical engineering). Busan, Pusan National University;2006.

3) Childers DG, Hicks DM, Moore GP, Alsaka YA. A model for vocal fold vibratory motion, contact area, and the electroglottogram. *J Acoust Soc Am* 1986;80:1309-20.

4) Colden D, Zeitels SM, Hillman RE, Jarobe J, Bunting G, Spanou K. Stroboscopic assessment of vocal fold keratosis and glottic cancer. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2001;110:293-8.

5) Noordzij JP, Woo P. Glottal area waveform analysis of benign vocal fold lesions before and after surgery. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2000; 109:441-6.

6) Sercarz GS, Berke GS, Ming Y, Gerratt BR, Natividad M. Videostroboscopy of human vocal fold paralysis. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1992;101:567-77.

7) Beck J, Schoenhaerl E. The significance of stroboscopy for the diagnosis of functional voice disorders. *Arch Ohren Nasen Kehlkopfheilkd* 1959;175:449-52.

8) Hirano M. Phonosurgery: Basic and clinical investigation. *Otologia Fukuoka* 1975;21:239-440.

9) Dejonckere PH, Lebacqz J. Electroglottography and vocal nodules. *Folia Phoniatr* 1985;37:195-200.

10) Roch JB, Comte F, Dubreuil C. Synchronization of Glottography and Laryngeal Stroboscopy. *Folia Phoniatr* 1990;42:289-95.

11) Gath I, Yair E. Comparative evaluation of several pitch process models in the detection of vocal tremor. *IEEE Trans Biomed Eng* 1987 Jul; 34 (7):532-8.

12) Aoyagi M, Fuse T, Suzuki T, Kim Y, Koike Y. An application of phase spectral analysis to amplitude-modulation following response. *Acta Otolaryngol Suppl.* 1993;504:82-8.

13) Bang HG. A study on the improved SGCID for glottal closure instance detection (The master dissertation of engineering). Changwon, Changwon National University;1995.

14) Mahhoul J, Gray AH. Linear Prediction: A Tutorial Review, *Proceedings of IEEE* 1975;63:561-80.

15) Bang HG, Cho CW. A study on the detection of glottal closure instant using sequential linear prediction. *Proceedings of KSPC* 1994;7:762-5.

16) Anathapadmanabha TV, Yegnanarayana B. Epoch Extraction from Linear Prediction Residual for Identification of Closed Glottis Interval. *IEEE Trans. on Acoustic, Speech, Signal Processing* 1979;27:309-19.