

5

성대 진동검사 II (Glottic vibration test II: Glottographic examination)

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실
음성언어의학연구소

최 홍 식

사람의 성대는 일상회화중 1초에 100~300번 진동하며 노래를 부를 때에는 100번 이하 또는 1,000번 이상까지 진동하게 되므로 우리의 육안으로는 그 자세한 진동상태를 관찰할 수가 없다. 따라서 이런 경우의 성대 진동상태를 관찰하려면 특수한 검사기기를 사용해야 한다.

현재 사용되고 있는 이들 검사법으로는 후두스트로보스코피(laryngostroboscopy), 초고속영화촬영법(ultra high speed cinematography), 그로토그라피(glottography) 및 카이모그라피(kymography) 등이 있다.

흔히들 표준영화속도(35밀리 영화는 매초 24 프레임) 이상의 속도로 촬영한 영화를 고속영화(slow motion picture)라고 하고, 1초 동안에 50~100 프레임 이상을 촬영하는 특수카메라를 고속카메라(high speed camera)라고 하는데, 이렇게 고속으로 촬영된 필름을 표준속도로 영사하면 스크린에 비치는 영사체의 움직임이 느린 동작으로 나타나기 때문에 빠른 동작도 세밀하게 나누어 관찰할 수가 있다.

성대의 진동검사에서 사용되는 초고속영화촬영법도 이와같은 고속영화를 보다 빠른 속도로 촬영하는 기법의 하나이며, 이로써 1초에 3,000 프레임 이상의 성대진동상을 촬영할 수 있어서 성대진동 연구 및 교육에 대단히 유용한 것이나, 가격이 비싸고 그 데이터를 분석하는데 시간이 많이 걸리기 때문에 일반 임상검사방법으로는 부적당하다.

그로토그라피(성문파측정법)는 성대진동 자체를 직접 관찰하는 것이 아니고 그 관측결과를 그래프로 나타내는 방법으로서, 이에는 초음파, 광전 및 전기를 이용하는 방법등이 있다. 이 성문파측정법에 대해서는 다시 자세히 설명하고자 한다.

성문파측정법(Glottography)

성대의 진동 현상을 관찰할 수 있는 방법으로 현재까지 사용되어 오던 것으로는 초고속영화촬영(4,000~10,000 frames/s)과 후두스트로보스콥 검사법등이 있다. 초고속영화촬영은 순간 순간 촬영된 사진들을 순서적으로 관찰함으로써 성대 진동 시의 성문

넓이의 변화나 성대의 외측 이동 정도를 알 수 있는 장점이 있으나, 장비가 워낙 고가인데다 공간을 많이 차지하므로 사용에 많은 제한이 있으며, 성대진동을 객관적으로 그래프등으로 나타낼 수 없는 단점이 있다.

후두 스트로보스콥 검사는 비교적 간편하게 사용할 수 있으며, 간접후두경으로 볼 수 있을 뿐만 아니라 내시경을 통하여도 스트로보스콥의 제논램프를 광원으로 사용하면 성대진동을 볼 수 있으므로, 요사이 CCD카메라나 가정용 비디오카메라를 이용한 비디오 스트로보스코피가 매우 널리 이용되고 있다. 그러나, 후두 스트로보스콥의 가격도 매우 비싼 편이어서 웬만한 병원에서는 갖추어 놓기는 쉽지 않으며, 실제의 성대 진동 숫자에 비하여 매우 감소된 숫자의 성대진동을 관찰하는 것이므로, 발생시의 성대운동에 대한 생리학적인 검사법으로는 적절하지 못하다. 또한, 객관적으로 성대운동을 그래프로 나타내지 못하는 단점이 있다.

이러한 단점들을 보완하기 위하여 최근에 몇가지의 성문파측정법(Glottography)이 개발되어 발생에 대한 생리학적 연구에 이용되고 있다. 그중에 대표적인 것이 전기성문파측정법(Electroglottography, E.G.G.), 광(光)성문파측정법(Photoglottography, P.G.G.)과 역여과성문파측정법(Inverse filter glottography)이다.

1. 전기성문파측정법(Electroglottography, E.G.G.)

전기성문파측정법의 원리는 갑상연골 양측 피부에 부착시킨 전극을 통하는 전기의 저항(Impedance)을 그래프로 나타내는 것으로써, 성대가 열려있을 때에는 전기가 통하지 않으므로 전기 저항이 커지고, 성대가 닫히면 전기 저항이 작아지므로 오실로스코프(Oscilloscope) 상에서 파형을 얻게되는 것이다(그림 1).

성대는 발생 시에 후두내근 중 내전근의 수축으로 내전이 된 후, 성문하호기압(subglot-

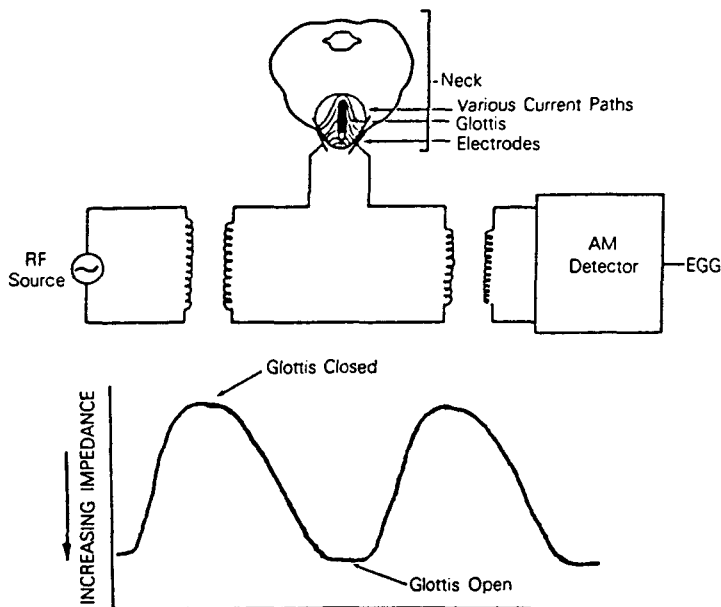


그림 1. 전기성문파측정법의 원리 및 측정된 파형.

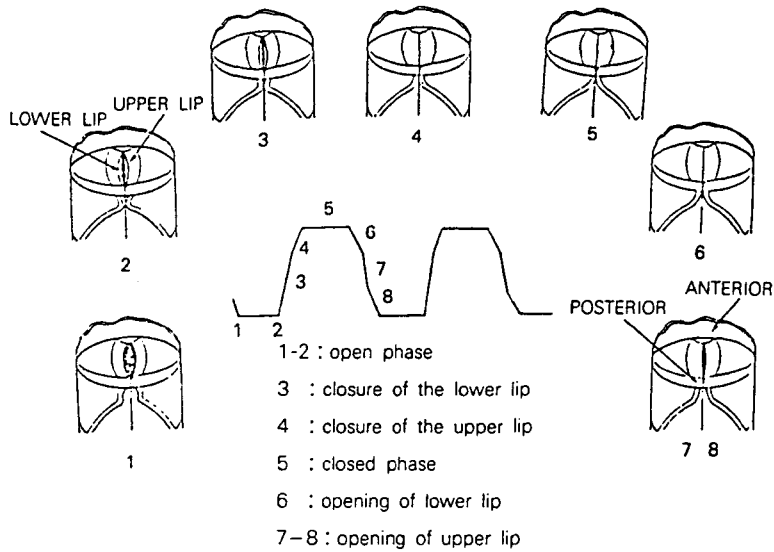


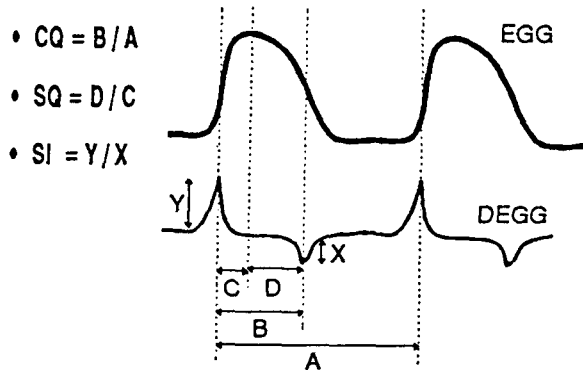
그림 2. 발성 시 성대의 움직임과 전기성문파형을 도식화한 그림.

tic pressure)이 점차 증대되어 성대의 긴장도(tension) 보다 커지게 되면 성대가 열리게 되고, 다시 Bernoulli effect에 의해서 생기는 음압으로 인하여 성대가 다시 닫히게 되어 특징적인 진동파형(Vibratory cycle)이 생기게 된다. 이것이 사람의 목소리를 구성하는 주파수 중 가장 기본이 되는 기본주파수(Fundamental frequency, F_0)이다. 이 때, 성대의 상순(upper lip)과 하순(lower lip) 중 성대 하순이 먼저 닫히고 그후에 상순이 따라서 닫히고, 일정시간 즉, 폐쇄기(closed phase)가 있는 후, 성문하 호기압이 증가됨에 따라 성대 하순이 열리기 시작하고, 이어서 성대 상순이 열리면서 개방기(open phase)로 이행되는 진동파형을 이루게 된다(그림 2).

필요한 장비는 KAY사의 Visi-Pitch 6087DS와 Electroglottograph(Laryngograph), 전극 등이며, oscilloscope만 있으면 자체 제작이 가능하다. 본 연구소에서는 Kay사의 laryngograph를 개조하여, EGG와 PGG를 동시에 측정할 수 있도록 하였으며, 이 analog signal을 A/D board(DT 2821 사용)로 컴퓨터에 입력하여 분석하거나 자료를 저장하고 있다.

두개의 전극을 갑상연골 부위의 피부에 각각 부착시키고, 마이크를 입의 전방 5cm 부위에 대고, 가장 편안한 크기의 목소리로 보통 높이의 “에” 발성을 시킨 상태에서, 마이크를 손잡이를 누르면 전기 Glottograph의 파형이 화면에 나타나게 된다. 이때 파형을 Oscilloscope 화면 자체에서 혹은 사진기로 사진을 찍은 후에, 변수별로 측정하여 사용한다. 컴퓨터를 사용하는 경우에는 EGG의 파형을 미분하여 dEGG 파형으로 변환시켜서 분석할 수 있다. 진동파형을 분석하기 위해서는 여러가지 매개변수를 이용할 수 있으나, 본 교실에서는 성문폐쇄율(closed quotient, CQ)과 성문접촉속도율(Speed quotient of glottal contact, SQ)를 주로 사용하였으며, 성문접촉속도지수(Speed index of glottal contact, SI)와 EGG의 jitter와 shimmer도 참고로 하였다(그림 3).

정상 성인에서의 전기성문파측정법의 파형은 그림 4와 같이 나타났다. 평상 모음 발성 시 여자(그림 4B)에서는 남자(그림 4A) 보다 한 화면에 약 2배 많은 숫자의 파형이



- **CQ (Closed Quotient)**
: $\frac{\text{Duration of Closed Phase}}{\text{Duration of Vibratory Cycle}}$
- **SQ (Speed Quotient of Glottal Contact)**
: $\frac{\text{Duration of Decreasing Glottal Contact Area}}{\text{Duration of Increasing Glottal Contact Area}}$
- **SI (Speed Index of Glottal Contact)**
: $\frac{\text{Peak Velocity of Glottal Closing}}{\text{Peak Velocity of Glottal Opening}}$
- **Jitter (EGG)**
: Cycle-to-Cycle Variation of Frequency
- **Shimmer (EGG)**
: Cycle-to-Cycle Variation of Amplitude

그림 3. 전기성문파형 측정에 사용되는 변수들.

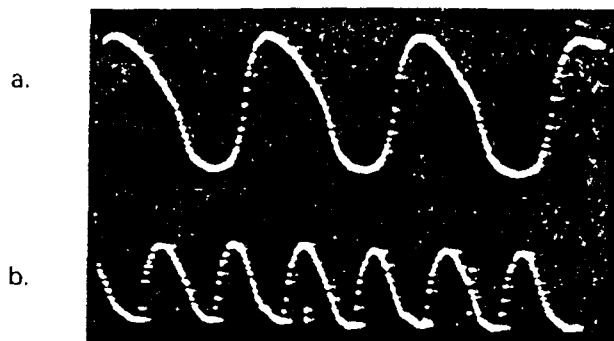


그림 4. 정상 성인의 전기성문파형.
a : 남자, b : 여자

나타나며, 임피던스의 변화도 남자보다 작았다.

정상 성인 남자에서 보통 크기, 보통 높이의 “에” 발성 시의 평균 성문폐쇄율(CQ)은 0.52였으며, 정상 성인 여자에서도 0.52로 거의 같다. 이는 보통 크기, 보통 높이의 평상 모습 “에”를 발음할 때 성대의 진동 파형 중 성문폐쇄 : 성문개방 = 52 : 48 = 1 : 1 임을

보여주는 것이다.

한편, 성문접촉속도율(SQ)은 정상 성인 남자에서 2.65, 정상 성인 여자에서 2.28 이었다. 이는 보통 크기, 보통 높이의 “에” 발성시에 성대 진동의 파형 중, 성대의 접촉이 있는 기간 중에서, 성대 접촉 면적이 커지는 시간에 비해서 성대 접촉 면적이 작아지는 시간이, 남녀 각각 2.65배, 2.28배 길다는 것을 의미하는 것이다.

성대에 폴립이나 결절이 있는 경우에는 성문폐쇄율이 정상에 비하여 증가되며, 성문접촉속도율도 정상에 비하여 증가된다. 성대 폴립이나 결절 환자에서는 성대접촉 면적이 감소되어 성문개방으로 이행되는 시기에 특징적인 편평파(flat segment of wave, 그림 5, 그림 6)가 관찰되는데, 이 편평파로 인해서 성문폐쇄율과 성문접촉속도율이 증가되는 것이다.

성대마비의 경우, 편측 마비전 양측 마비전 간에 마비의 정도가 심하면 파형이 형성되지 않는다(그림 7). 부분마비(incomplete paralysis)인 경우에는 파형을 형성하는데, open phase가 길고 closed phase는 짧아서 성문폐쇄율은 정상에 비하여 감소되어 있으며, 성문접촉속도율도 정상에 비하여 감소된다(그림 8, 그림 9).

2. 광(光)성문파측정법 (Photoglottography, P.G.G.)

아직 임상적 그다지 많이 쓰이지는 않으나, 후두 생리를 연구하기 위하여 광성문파측정법도 많이 쓰이고 있다. 본 교실에서도 광성문파측정법을 자체 개발하여 사용하고 있다.

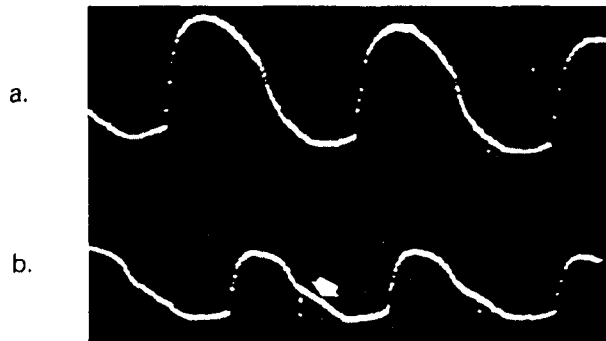


그림 5. 정상인(a)과 성대결절 환자(b)의 전기성문파형. 성대결절 환자에서의 편평파(화살표)가 특징적이다.

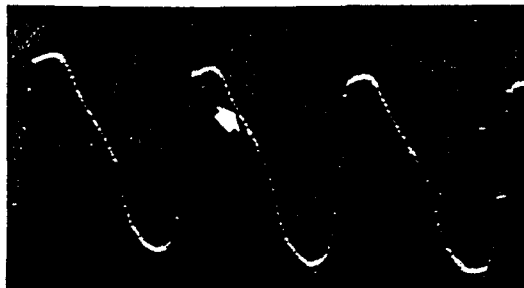


그림 6. 성대폴립 환자의 전기성문파형. 편평파(화살표)가 성대 접촉면적이 줄어드는 시기에 관찰된다.

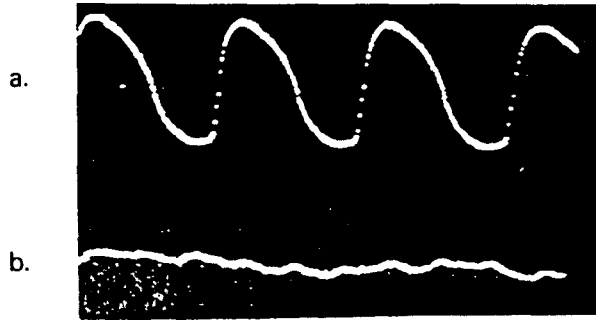


그림 7. 정상인(a)과 성대마비 환자(b)의 전기성문파형.
 완전 성대마비에서는 전기성문파형이 형성되지 않는다.

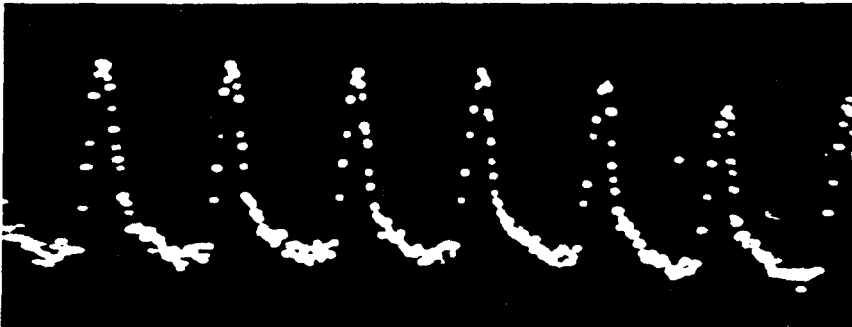


그림 8. 편측 성대의 부분마비 환자의 전기성문파형.



그림 9. 회복 단계의 편측 성대마비 환자의 전기성문파형.

광성문파측정법은 굴곡 내시경을 코를 통하여 후두의 직상부에 위치시키고, 빛을 감지할 수 있는 photosensor를 윤상연골 직하부의 피부에 부착시켜서, 발성시에 성대의 vibratory cycle에 따라 성문이 열리고 닫히게 되는데, 그 때 통과되는 빛의 세기에 따라 파형을 얻게되는 원리를 이용한 것이다.

전기성문파측정법이 성대가 닫혀 있을 때 성대 접측면을 통해 전기가 통하므로 많은 정보를 얻을 수 있는 것과 반대로, 광성문파측정법은 성대가 열려 있어야 빛이 통과할 수 있으므로, 성대가 닫혀 있을 때 보다는 성대가 열려 있을 때 성문의 넓이 변화에 따른 빛의 양의 변화를 알아볼 수 있는 장점이 있다. 다시 말하면, 전기 성문파측정법은 양쪽 성대 접측면의 접측 넓이의 변화를 알 수 있고, 광성문파측정법은 성문 개방 시기에 성문 넓이의 변화를 알 수 있는 상호 보완적인 관계에 있다고 할 수 있다. 따라서, 발성

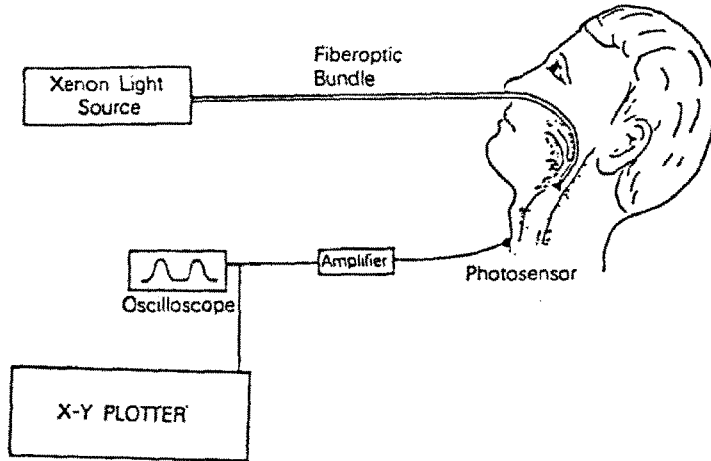


그림 10. 광성문파측정법을 시행하는 모습을 도식화한 그림.

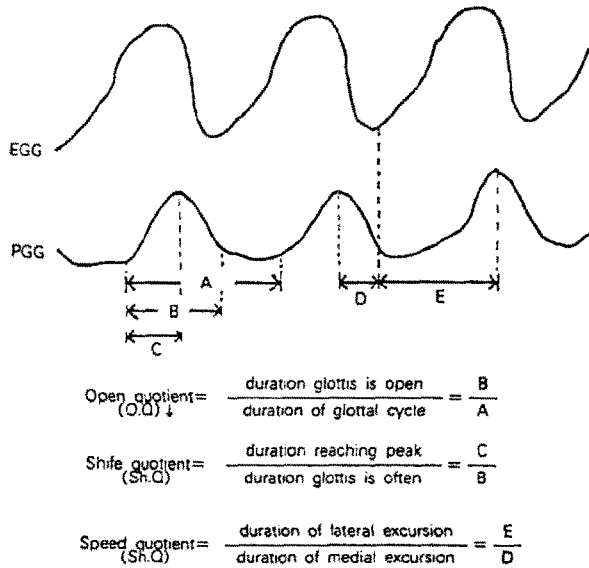


그림 11. 광성문파측정법에서의 측정 변수들.

생리에 대한 연구를 한다든지, 후두 병변에 대한 진단 목적으로, 전기성문파측정법과 광성문파측정법을 동시에 시행하는 것이 보다 더 많은 정보를 제공 받을 수 있는 것이다. 본 교실에서도 위와 같은 목적으로, 전기성문파측정법과 광성문파측정법의 합체를 이미 개발하여 사용 중이다(그림 10).

광성문파측정법에서는 그림 11에서와 같이 개방율(open quotient, OQ), 변환율(shift quotient, ShQ) 및 속도율(speed quotient, SQ) 등의 기준 척도를 구하여 이용한다. 아직 임상적으로 진단에 이용하기에는 더 많은 연구가 필요하다.

3. 역여과성문파측정법(Inverse filter glottography)

사람의 음성은 성대에서 성대원음(glottal tone)이 발생되며 성도(vocal tract)에서 공명과

```

Screen Files Edit Analysis Record Play Quit      hi Curs
CH 1  28.800 VOLTS PP                          Length = 125.158 Freq =  8.8 Hz

```

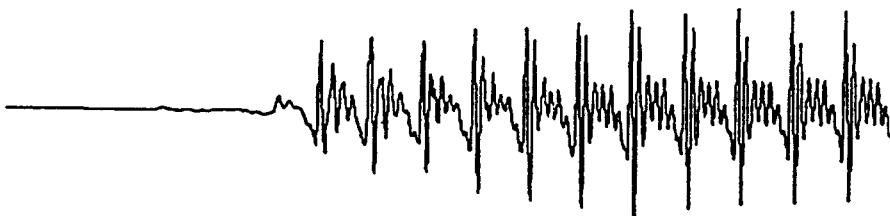


그림 12. Results of zoom into the selected interval.

```

Display: Use <- and -> cursor keys for spectrum readout, press ESC key to exit
CH 2  28.800 VOLTS PP                          Length = 28.158 Freq = 49.6 Hz

```

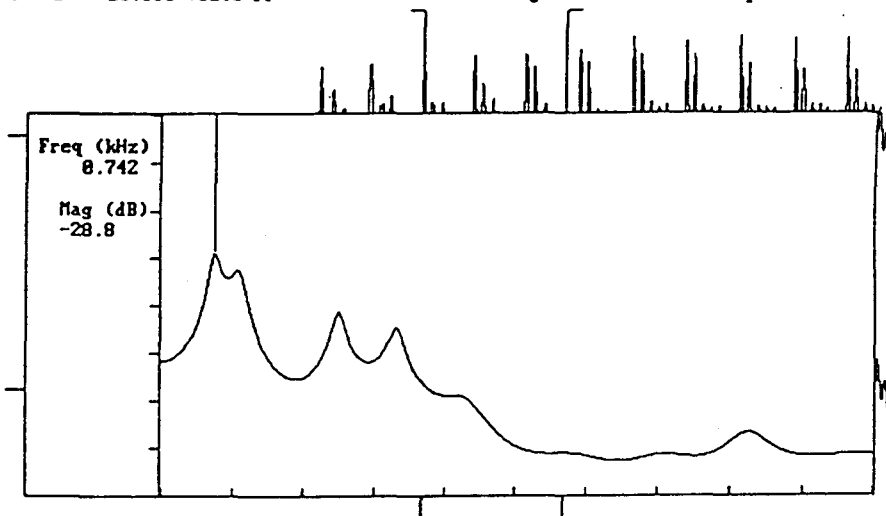


그림 13. Plot of the LPC spectrum of the cursor selected waveform interval.

filtration 과정을 거쳐서 만들어진다. 역여과성문파측정법은 입술 밖으로 발산되는 소리 파형(acoustic waveform)이나 공기흐름파형(airflow waveform)으로 부터 성도에서 변형 되는 일련의 과정, 즉 vocal tract effect를 역여과(inverse filtering)시킴으로써, 성대 레벨에서의 공기의 흐름을 그래프로 나타낼 수 있게 되는데, 이를 역여과성문파측정법이라고 한다.

이 과정을 순서대로 나타내보면(CSpeech version 3.1을 사용한 예를 보여주고 있음), 마이크를 통해 입력된 음성파형(acoustic waveform)이 그림 12와 같다면, vocal tract effect를 나타내는 LPC(linear predictive coding) spectrum은 그림 13과 같다. 여기서는 formant의 위치와 강도를 알 수 있다. 프로그램 상의 filtering을 이용하여 그림 12의 acoustic waveform에서 그림 13의 LPC spectrum 상의 파형을 filter 하여 내면, 그림 14의 channel 2와

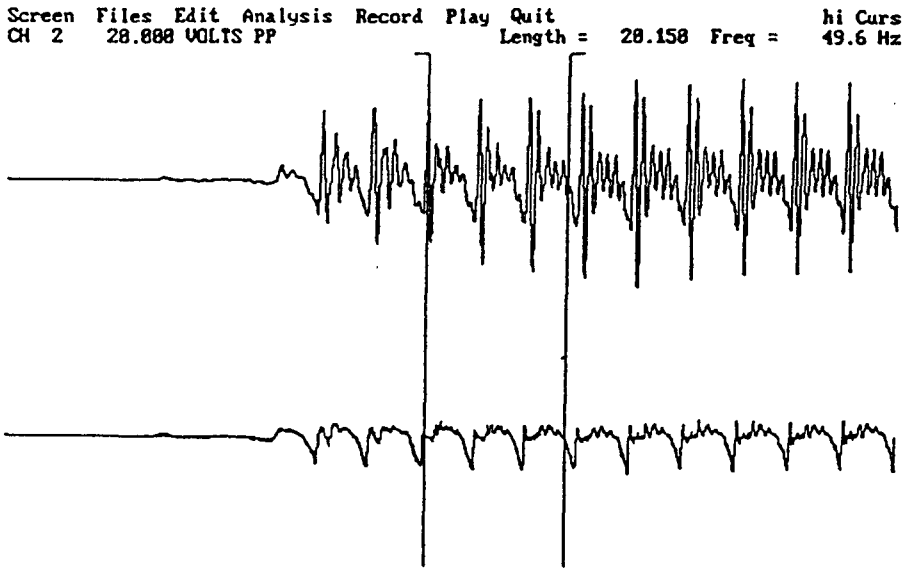


그림 14. Glottal flow derivative waveform in CH 2.

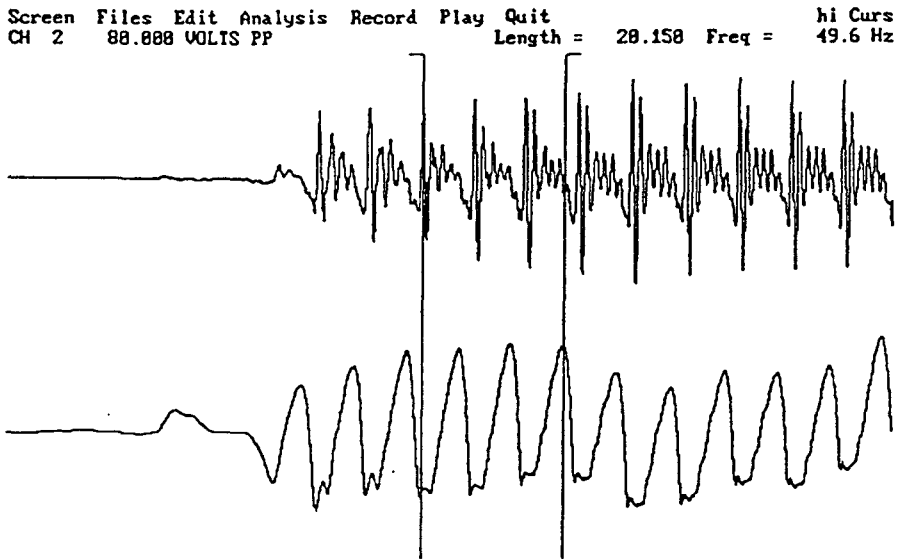


그림 15. Glottal flow waveform in CH 2.

같은 glottal flow derivative waveform을 얻게 된다. 이 파형은 일명 voice source signal 이라고도 불리는데, 이 파형을 적분(integrate)하면 그림 15의 channel 2에서 볼 수 있는 glottal flow waveform을 얻게 되며, 이 파형이 역여과성문파이다.

References

- 1) 김기령 · 김광문 · 최홍식 : 후두. 서울, 중앙문화사, pp51-72, 1991

- 2) 최홍식 · 김기령 · 김광문 등 : 전기 *glottography*의 임상적 이용. *한이인지* 33(3) : 537-547, 1990
- 3) Baer T, Lofqvist A, McGarr NS : *Laryngeal vibrations : A comparison between high-speed filming and glottographic techniques. J Acoust Soc Am* 73 : 1304-1380, 1983
- 4) Childers DG, Moore GP, Naik JM, et al : *Assessment of laryngeal function by simultaneous, synchronized measurement of speech, electroglottography, and ultra-high speed film, Eleventh symposium : Care of the professional voice, the Julliard School, 1982*
- 5) Childers DG, Smith AM, Moore GP : *Relationships between electroglottograph, speech and vocal cord contact. Folia Phoniatr* 36 : 105-118, 1984
- 6) Dejonckere PH, Lebacqz J : *Electroglottography and vocal nodule - an attempt to quantify the shape of the signal. Folia Phoniatr(Basel)* 37 : 195-200, 1985
- 7) Fabre P : *Un procede electrique percutane d inscription del, accolement glottique au cours de la phonation. Bill Acad Nall Med(Paris)* 141 : 66-99, 1957
- 8) Fant F, Ondrackiva J : *Electrical glottography. STL/QPSL* 4 : 13-25, 1966
- 9) Fourcin AJ : *Laryngograph examination of the vocal fold vibration, ventilatory and phonatory control systems. 315-333, London, Oxford University Press, 1974*
- 10) Gilbert HR, Potter CR, Hoodin R : *Laryngograph as a measure of vocal fold contact area. J Speech Hear Res* 27 : 173-178, 1984
- 11) Hanson DG, Gerratt BR, Watd PH : *Glottographic measurement of vocal dysfunction. A preliminary report. Ann Otolrhinolaryngol* 92 : 413-420, 1983
- 12) Hanson DG, Gerratt BR, Karin RR, Berke GS : *Glottographic measures of vocal fold vibration : An examination of laryngeal paralysis. Laryngoscope* 98 : 541-549, 1988
- 13) Harden RJ : *Comarision of glottal area changes as measured from ultra-high speed photographs and photoelectric glottographs. J Speech Hear Res* 18 : 728-738, 1975
- 14) Heiberger VL, Horii V : *Jitter and Shimmer in sustained phonation. In Speech and language(ed Lass NJ) : Advance in bsic research and practice. San Diego, College Hill Press, 1982*
- 15) Hirano : *Clinical examination of Voice, Springer, Vienna New York, pp56-64, 1981*
- 16) Holmes J : *An investigation of the volume velocity waveform at the larynx during speech by means of an inverse filter. In : Proceedings of the speech communications seminar. Stockholm : Royal Institute of technology, 1962*
- 17) Kitzing P, Bjorn Carlborg, Anders Lofqvist : *Aerodynamic and glottographic studies of the Laryngeal Vibratory Cycle. Folia Phoniatr* 34 : 216-224, 1982
- 18) Kitzing P : *Clinical application of electrglottography. J Voice* 4(3) : 238-249, 1990
- 19) Krisnamurthy AK, Childers DG : *Two-channel speech analysis. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing* 34 : 730-743, 1986
- 20) Lecluse FLE, Brocaar MP, Verschuure J : *The electroglottograph and its relation to glottal activity. Folia Phoniatr* 27 : 215-224, 1975
- 21) Moore GP : *High speed photography in laryngeal research. Can J Otolaryngol* 4 : 793-799, 1975
- 22) Moore DM, Berke GS : *The effect of laryngeal nerve stimulation on phonation : A glottographic study using an in vivo canine model. J Acous Soc Am* 83(2) : 705-715, 1988
- 23) Painter C : *Electroglottogram waveform types. Arch Otorhinolaryngol* 245 : 116-21, 1988
- 24) Painter C : *Electroglottogram : Waveform types of untrained speakers. Eur Arch Otorhinolaryngol* 247 : 168-173, 1990
- 25) Pederson MF : *Electroglottography compared with synchronized stroboscopy in normal persons. Folia Phoniatr* 29 : 191-219, 1977
- 26) Rothenberg M : *A new technique for deriving the glottal airflow waveform during vocing. J Acoust Soc Am* 53 : 1632-1645, 1973

- 27) Scherer RC, Druker DG, Titze IR : *Electroglottography and direct measurement of vocal fold contact area. Vocal Fold Physiology (Vol 2), 279-291, New York, Raven Press, 1988*
- 28) Smith S : *Research on the principle of electroglottography. Folia Phoniatr (Basel) 33 : 105-14, 1981*
- 29) Trapp TK, Berche GS : *Photoelectric measurement of laryngeal paralyses correlated with videostroboscopy. Laryngoscope 98 : 486-492, 1988*
- 30) Van den Berg : *Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. J Speech Hear Res 1 : 227-244, 1958*