대한음성언어의학회지
제17권 제2호 2006

□종 설□

한국어 자음생성의 생리음성학적 특성

전북대학교 의과대학 이비인후과학교실
홍 기 환·양 윤 수

= Abstract =

Physiologic Phonetics for Korean Stop Production

Ki Hwan Hong, MD and Yoon Soo Yang, MD

Department of Otolaryngology-HNS, College of Medicine, Chonbuk National University, Jeonju, Korea

The stop consonants in Korean are classified into three types according to the manner of articulation as unaspirated (UA), slightly aspirated (SA) and heavily aspirated (HA) stops. Both the UA and the HA types are always voiceless in any environment. Generally, the voice onset time (VOT) could be measured spectrographically from release of consonant burst to onset of following vowel. The VOT of the UA type is within 20 msec of the burst, and about 40−50 msec in the SA and 50−70 msec in the HA.

There have been many efforts to clarify properties that differentiate these manner categories. Umeda, et al[1] studied that the fundamental frequency at voice onset after both the UA and HA consonants was higher than that for the SA consonants, and the voice onset times were longest in the HA followed by the SA and UA. Han, et al[2] reported in their speech synthesis and perception studies that the SA and UA stops differed primarily in terms of a gradual versus a relatively rapid intensity build-up of the following vowel after the stop release. Lee, et al[3] measured both the intraoral and subglottal air pressure that the subglottal pressure was higher for the HA stop than for the other two stops. They also compared the dynamic pattern of the subglottal pressure slope for the three categories and found that the HA stop showed the most rapid increase in subglottal pressure in the time period immediately before the stop release. Kagaya[4] reported fiberscopic and acoustic studies of the Korean stops. He mentioned that the UA type may be characterized by a completely adducted state of the vocal folds, stiffened vocal folds and the abrupt decreasing of the stiffness near the voice onset, while the HA type may be characterized by an extensively abducted state of the vocal folds and a heightened subglottal pressure. On the other hand, none of these positive gestures are observed for the SA type. Hong, et al[5] studied electromyographic activity of the thyroarytenoid and posterior cricoarytenoid (PCA) muscles during stop production. He reported a marked and early activation of the PCA muscle associated with a steep reactivation ofthe thyroarytenoid muscle before voice onset in the production of the HA consonants. For the production of the UA consonants, little or no activation of the PCA muscle and earliest and most marked reactivation of the thyroarytenoid muscle were characteristic. For the SA consonants, he reported a more moderate activation of the PCA muscle than for the UA consonant, and the least and the latest reactivation of the thyroarytenoid muscle. Hong, et al[6] studied the observation of the vibratory movements of vocal fold edges in terms of laryngeal gestures according to the different types of stop consonants. The movements of vocal fold edges were evaluated using high speed digital images. EGG signals and acoustic waveforms were also evaluated and related to the vibratory movements of vocal fold edges during stop production.

KEY WORDS : Stop consonant · Physiologic phonetics · Larynx.

서 론

한국어의 대표적인 자음인 파열음은 조음방법에 따라 연음, 기식음 및 경음 등이 분류할 수 있으며 음절의 초성 및 중성일 때에는 모두 무성음으로 나타나지만 음절의 중성인 연음에 한해서는 유성음으로 나타나는 것이 특징이라 하겠다. 이러한 한국어 파열음의 특징은 외국어 자음의 유성음/무성음의 2중 대립체계와는 달리 조음방법에 따라 서로 다른 3개의 무성자음이 대립하고 있는 3중 대립체계를 가진다는 것이라 하겠다. 이러한 특징에 대해 후두가 어떻게 기능하며 어떠한 현상으로 나타나는가를 알기 위한 연구에는

논문접수일 : 2006년 10월 9일
책임저자 : 홍기환, 561-805 전북 전주시 덕진구 금암동 634-18
전북대학교 의과대학 이비인후과학교실
전화 : (063) 250-1990 · 전송 : (063) 250-1986
E-mail : khhong@chonbuk.ac.kr

크게 음향음성학적 및 생리학음성학적 방법으로 구분할 수 있으며 특히 후자의 방법은 이제까지 단지 몇몇 연구자들에 의해 한국어 자음의 특징이 연구되어 앞으로 이에 대한 연구가 절실하다 하겠다.

1974년 Kagaya[4]는 위의 자음들에 대한 내시경적 및 음향학적 연구를 시행하여 다음과 같은 중요한 사실을 발견하였다. 즉 경음은 성대가 완전히 닫혀 있으면서 성문하 공기압이 증가되어 있는 상태에서 경직된 성대가 갑자기 이완되면 성대의 좁은 사이를 통해 공기가 나오면서 경음이 파열되게 되는데 기식음인 경우에는 증가된 성문하 공기압에 의해 성대가 열린 상태에서 공기가 나오면서 파열이 되지만 연음인 경우에는 위의 특이한 현상들이 나타나지 않았다. Hirose와 Ushijima[7]는 처음으로 한국어 자음에 대해 성대 내전근을 이용한 전기근전도 검사를 시행하여 다음과 같은 결과를 보고하였다. 기식음이 파열되기 위해서는 성대내전근의 활동력이 가장 억제되어 있었고 경음에서는 성대 내전근의 활동력이 가장 증가되어 있기 때문에 경음이 파열할 때에는 성대가 닫혀 있으면서 긴장도가 가장 큰 상태를 유지한다고 설명하였으며 연음인 경우에는 성대 내전근의 특이한 억제나 증가는 나타나지 않는다고 설명하였다. Hirose[8] 및 Hong 등[5]은 한국어 파열음에 대해서만 후두근전도 검사를 하여 다음과 같은 3가지 사항을 발표하였다. 첫째 각 파열음에 따라 성대근의 활동력이 다르며 둘째 특히 경음인 경우에는 모음을 위한 성대의 진동이 있기 전에 성대근의 활동이 가장 증가하고 세째 모든 파열음이 음절의 말미일 경우에는 음절 초성인 경음에서와 같은 성대근의 활동을 나타낸다고 보고하였다.

Hong 등[9]은 정상 발화시 성대의 역동적 운동이 EGG상 어떠한 특징으로 나타나는가를 알기위해 공기역학검사를 동시에 시행하여 보고하였다. 비교적 최근에 개발되어 발성의 원리에 대해 많은 연구가 진행되어오고 있는 전기 glottography(EGG)는 값싸고 완전히 비침습적인 음성검사기로서 각종 음성질환에 대해 진단, 치료 및 예후판정 등에 이용되어왔으며 또한 정상발성시의 성대진동 기전에 대해 연구되어왔다. 그러나 판독하는데 있어 실제 많은 논란이 있는데 이러한 논란은 복잡한 성대진동 양상에 의해 생기는 것으로 EGG에 의한 양측 성대사이의 전기 저항도는 실제 성문의 열림의 정도를 의미하는 것이 아니라 성문접촉율을 의미하기 때문이다. Hong 등[9]은 정상발화시 성대의 역동적 운동이 EGG상 어떠한 특징으로 나타나는가를 알기위해 공기역학검사를 동시에 시행하였던바 EGG파형의 open quotient(OQ)는 자음발성시의 성문공기저항도와 밀접한 반비례관계를 보이며 EGG파형의 baseline shift는 기본주파수 및 성문공기저항도와 밀접한 비례관계를 가진다고 보고하여 EGG를 이용하여 향후 성대진동뿐만 아니라 발화시의 후두의 운동변화를 연구하는데 도움이 된다고 보고하였다.

Hong 등[6]의 연구에서는 초고속 디지털 영상을 이용하여 한국어 자음 발화시의 성대 점막의 움직임 등을 보고하였다. 움직이는 물체를 촬영하는 일반 카메라는 표준 영화속도로 촬영하는 것으로 초당 24 프레임을 찍기 때문에 빠른 움직임을 실제 영상으로 관찰하는 것은 불가능하다. 사람의 성대는 초당 100번 이상 진동하므로 이것을 실제 영상으로 관찰하기 위해서는 매우 빠른 속도의 촬영이 필요하다. 최근 디지털 영상의 발달로 기존의 내시경영상으로는 관찰할 수 없었던 성대의 순간적인 움직임 및 성대진동의 실제 영상 촬영이 가능해졌다. 초고속 디지털 영상촬영은 1초에 적게는 2,000회에서 많게는 20,000회까지 영상촬영이 가능하여 연구나 교육에 대단히 유용하나, 아직까지는 가격이 비싸고 분석하는데 시간이 많이 소요되어 일반적인 검사방법으로는 부적합하지만 컴퓨터 공학의 발달로 조만간 실용될 것으로 예상된다.

결론적으로 본 보고에서는 한국어 폐쇄자음을 연구하는데 있어서는 현재까지 개발된 생리음성학적인 방법, 즉 후두내시경연구, 후두근전도연구, 공기역학적연구, 전기 glottography(EGG)연구 및 초고속 디지털 영상촬영 등을 이용하여 한국어 자음이 가지는 특성을 규명하기 위해 음절의 초성 및 중성시의 연음, 기식음 및 경음이 후두에 어떠한 영향을 미치는가를 규명하여 보고하는 바이다.

후두근전도 연구

후두근전도 검사를 위해 사용된 후두근은 후윤상피열근과 성대내전근중에서 성대근을 사용하였다. 전극은 hooked-wire 전극을 사용하였는데 성대근검사를 위해서는 윤상연골을 확인한 후 피부를 통해 전극을 삽입하였으며 후윤상피열근을 위해서는 구강을 통해서 직접 근육내로 삽입하였다. 전극이 각 근육에 제대로 꽂혀 있는 상태에서 위의 문형을 각각 15번 반복하여 평상시의 가장 편안한 상태로 읽게 했는데 읽는 속도와 음량은 항상 일정하게 유지하도록 하였다. 각 근육으로부터 발성과 동시에 발생되는 전기신호는 음성신호와 같이 자동으로 동시에 기록이 되는 multichannel PCM data recorder를 이용하여 기록하였으며 전기신호는 적당한 rectification과 integration과정을 거친 다음 컴퓨터 내로 전기신호가 입력이 되면 일정한 프로그램에 의해 반복되어진 전기신호가 평균되어 하나의 그래프로 나타나게 된다.

Fig. 1은 음절이 초성일 때 세 종류의 치조음에 대한 성

대외전근과 성대근의 전기신호가 평균되어 나타난 곡선이다. 그림 상부에 있는 음성파형들은 각 자음 발생후 이어지는 모음 "에"에 대한 것이며 가로좌표의 0지점은 모음발생 지점이다. 이러한 그림으로부터 알 수 있는 것은 공기흡입을 위한 후윤상피열근의 활동 후 모음이 발생되기 전의 각 치조음이 발생되기 위한 후윤상피열근의 활동도는 기식음에서 가장 많았고 다음 연음이었으며 경음에서는 거의 활동도가 없었으며 다음 바로 이어지는 모음에 대한 후윤상피열근의 활동도는 모두 현저한 감소를 보였다. 또한 모음을 위한 성대진동이 있기 전의 자음 발성을 위한 후윤상피열근의 활동 발현시간을 보면 기식음에서 가장 빨랐고 다음 연음과 경음 순이었다. 반면에 성대 진동이 있기 전의 각 치조음에 대한 성대근의 활동도는 경음과 기식음에서 거의 비슷하게 증가되어 있었으나 연음에서는 별다른 증가는 없었고 또한 성대근의 활동 발현시간은 경음에서 가장 먼저였으나 활동 속도는 기식음에서 가장 급격하였으며 다음으로 경음과 연음순이었다(Fig. 1).

후두내시경적 연구

후두내시경을 위해서는 Pentax사의 fiberoptic nasopharyngoscope가 사용되었으며 구강 및 비강을 적절히 국소마취한 후 내시경을 비강을 통해 후두개의 후방까지 삽입하여 후두 전체가 잘보이게 한후 고정한 다음 위의 문형을 3번씩 반복하여 읽게 하면서 Video tape recorder에 녹화한 다음 동시에 입력된 음성신호와 녹화된 화면을 재생하면서 음의 파열점 및 성대의 진동시간을 측정하였다. 위의 분석은 동경대학교 음성언어연구실에 설치된 컴퓨터 프로그램을 이용하였으며 성대열림의 측정기준은 video monitor를 통해 보이는 성대에서 피열연골의 성대돌기 끝을 선정하여 양측 거리를 측정하였던바 Fig. 2-4은 연음, 기식음 및 경음 파열시의 음성파형 및 성대의 열림정도를 보여주고 있다. 음절의 초성치조음에 대한 성대의 열림은 자음이 파열하는 지점(파열점)을 기준으로 하여 비교하면 기식음에서는 성대가 가장 많이 열린 상태에서 음이 파열하였으며(Fig. 2) 연음에서도 성대의 열림이 많았으나 기식음에 비교하면 약간 적은 정도였다(Fig. 3). 반면에 경음에서는 성대의 열림이 가장적은 상태에서 음이 파열하는 것을 알수 있었다(Fig. 4). 음절의 중성치조음에 대한 성대의 열림은 연음에 있어서는 유성화 되었기에 성대의 열림을 측정할 수 없었고 기식음에서는 음절의 초성에서와 같이 성대가 많이 열린 상태에서 음이 파열하였으며 경음에서는 성대가 약간만

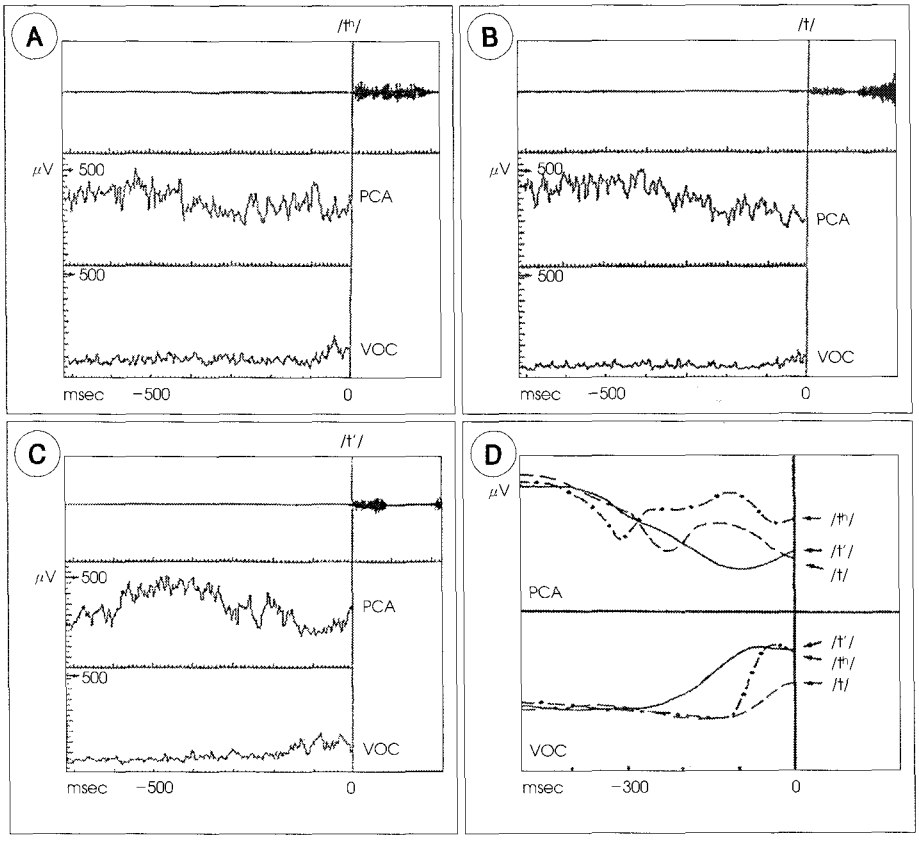

Fig. 1. Averaged EMG signals (A-C) and schematic presentation (D) of the PCA and VOC muscles for the three dental stops in syllable-initial position. The line-up point for the averaging was the onset of vowel after consonants.

열린 상태에서 음이 파열하는 것을 알 수 있었다.

공기역학적 연구

공기역학적 측정방법으로는 Smitheran & Hixon(1981)에 의해 고안된 방법으로 발성시의 공기호기율과 성문하압력을 비침습적이고 정확한 방법으로 측정하였다. 발성시 공기호기율은 각각의 단어에서 폐쇄음에 대해서는 파열시의 최대 공기호기율로 측정하였고 모음에 대해서는 모음의 중간부위에서의 공기호기율을 측정하였다.

Fig. 5에서와 같이 공기압력과 공기호기율로부터 음향분석에서의 음성발현시간을 의미하는 V.O.T에 해당되는 파열음 발화시의 성문이 닫히는 시간(closing phase), 성대진동시간에 해당되는 성문폐쇄시간(occlusion phase) 및 입술이 열리는 시간을 의미하는 release phase를 측정할 수 있으며 Fig. 5에서와 같이 기식음, 연음 및 경음에 대한 특징적인 소견이 잘 나타나 있으며 Table 1은 전체적인 결과로서 각각의 파열음에 대한 평균 성문하압력(EPsub)은

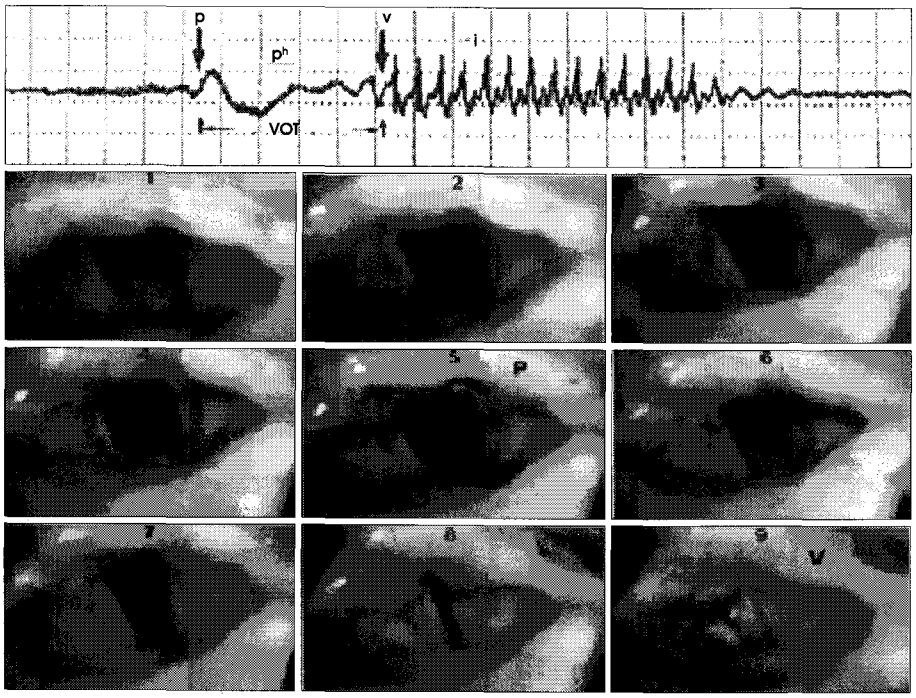

Fig. 2. Acoustic signal and fiberoptic images for the labial stops /p^h/ in syllable-initial position. The point 'p' was the onset of explosion of stop and the point 'v' for the onset of vowel after consonants.

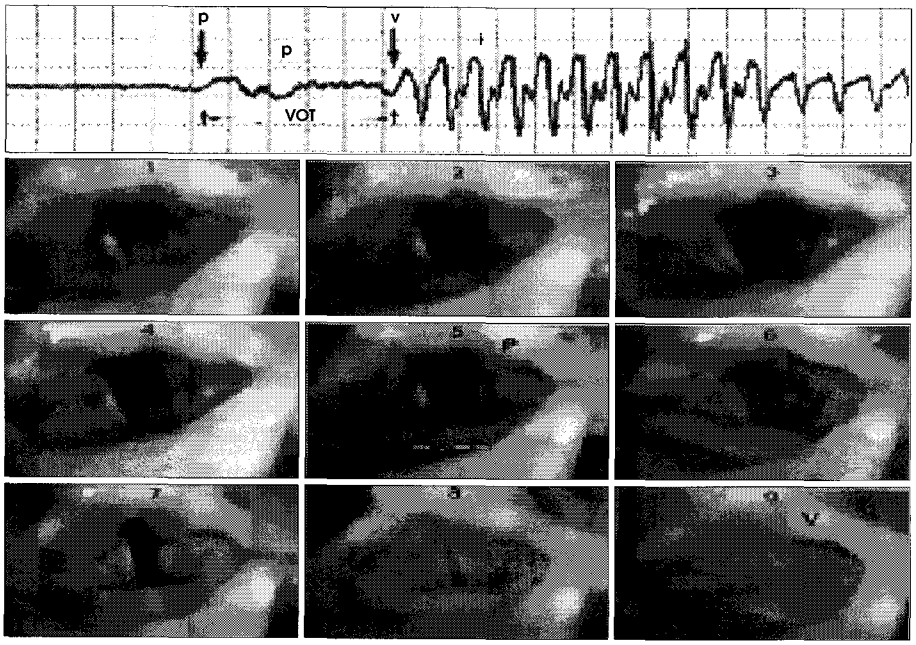

Fig. 3. Acoustic signal and fiberoptic images for the labial stops /p/ in syllable-initial position. The point 'p' was the onset of explosion of stop and the point 'v' for the onset of vowel after consonants.

연음, 기식음 및 경음에서 각각 6.7cmH_2O, 8.6cmH_2O 및 7.5cmH_2O로서 기식음에서 연음 및 경음에 비해 유의하게 높았으며 평균호기율도 연음, 기식음 및 경음에서 각각 0.64 L/s, 1.17L/s 및 0.41L/s로서 기식음에서 가장 많았고 연음, 및 경음 순이었다. 후두저항도(cmH_2O/L/s)는 파열음 발성시는 연음, 기식음 및 경음에 대해 각각 9.75, 6.91 및 17.2로서 경음에서 저항도가 가장 높았고 다음 연음 및 기식음 순으로 자음들 사이에서 서로 유의한 차이가 있었다 (Fig. 6, 7).

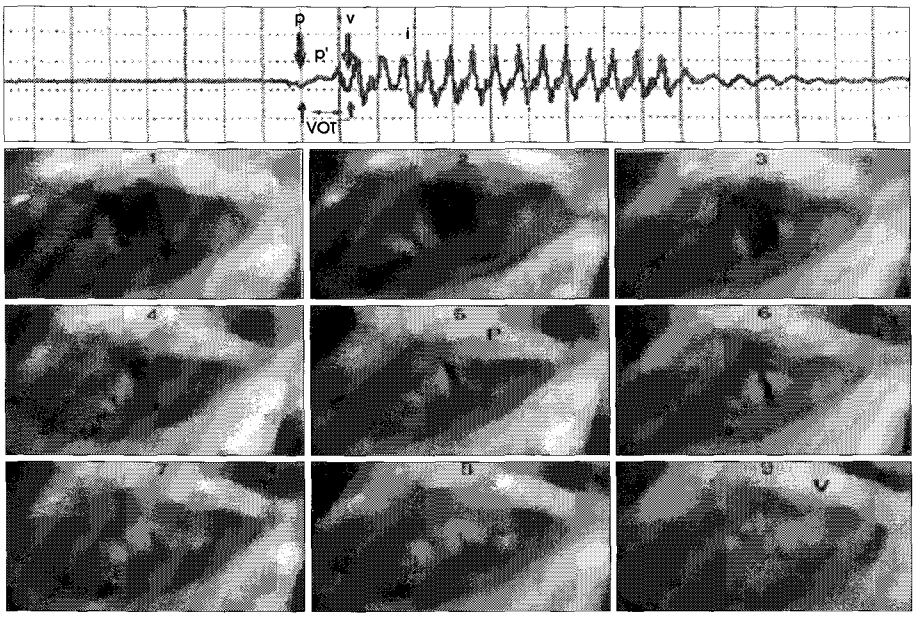

Fig. 4. Acoustic signal and fiberoptic images for the labial stops /p'/ in syllable-initial position. The point 'p' was the onset of explosion of stop and the point 'v' for the onset of vowel after consonants.

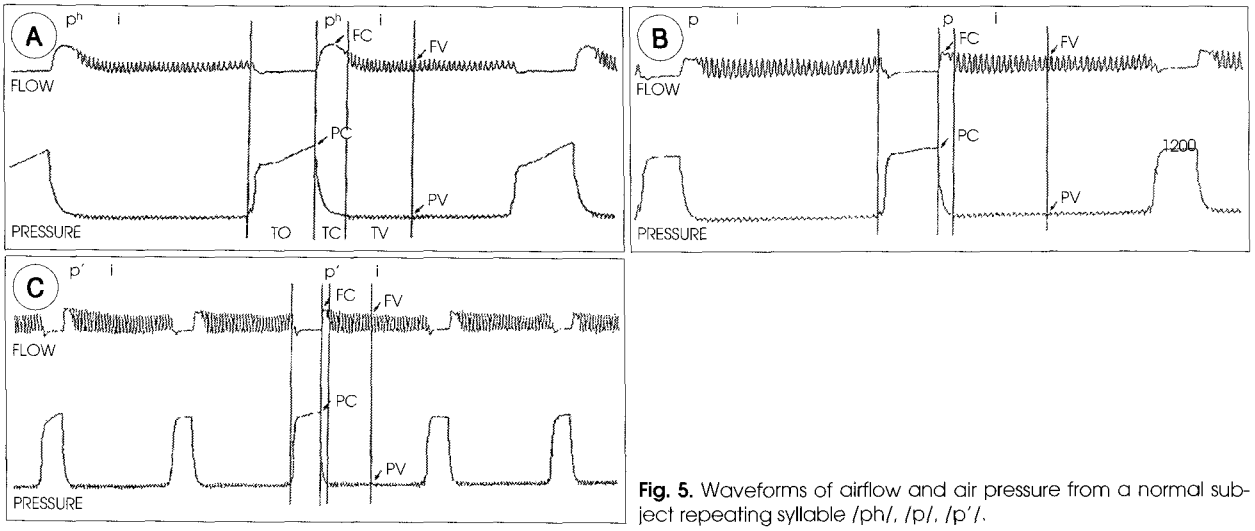

Fig. 5. Waveforms of airflow and air pressure from a normal subject repeating syllable /ph/, /p/, /p'/.

Table 1. Overall and mean Aerodynamic datas

	Time(msec)			Pressure(cmH_2O)		Flow(L/s)		GR	
	Tc	To	Tr	Pc	Pv	Fc	Fv	Vowel	Stop
Lenis	12	95	36	6.7	0.46	0.64	0.16	39.0	9.75
Aspir	13	124	68	8.6	0.52	1.17	0.14	57.7	6.91
Glottalized	11	118	15	7.5	0.48	0.41	0.14	50.1	17.2

Tc : Duration of the closing phase, To : Duration of the occlusion phase, Tr : Duration of the release phase, Pc : Peak pressure at consonant(=EPsub), Pv : pressure at vowel(=EPsp), Fc : Peak flow at consonant, Fv : Flow at vowel(EFv), GRc : Glottal resistance at consonant, GRv : Glottal resistance at vowel

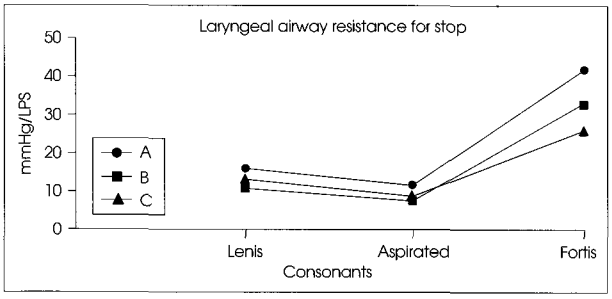

Fig. 6. The laryngeal airway resistance for the three bilabial stops /pʰ/, /p/, /p'/ in the sunjects A, B, C.

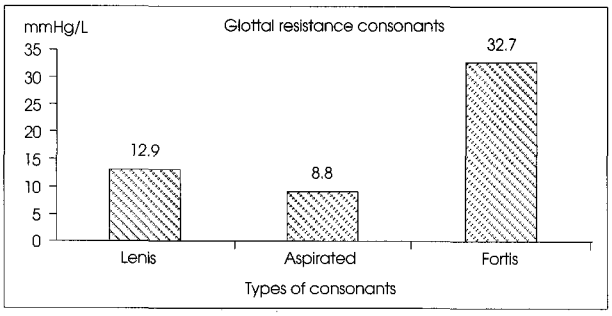

Fig. 7. The glottal resistance for the three bilabial stops /pʰ/, /p/, /p'/.

전기 Glottography(EGG) 연구

EGG 신호를 위한 전극판은 경부중앙에 있는 갑상연골판의 양측에 대고 ground 전극판은 일측 경부에 대는데 양측 전극판사이의 전기저항도는 양측 갑상연골사이의 성대를 흐르는 전기의 저항도를 의미하므로 성대가 접촉해 있으면 전류가 흘러 저항도가 낮고 성대가 열려있으면 전류의 흐름이 차단되어 저항도가 증대되는 원리이다. 그러나 저항도의 정도는 성대의 열림의 정도를 의미하는 것은 아니고 양측성대의 접촉정도를 의미하는 접촉율을 직접 측정할 수 있는 기구이다. 모든 신호는 일단 오실로스코프를 통해 검색한후 제대로 일정하게 측정된 저항도만 컴퓨터에 입력한후 분석하였다. 전기신호는 3000Hz로 low pass filtering 한후 8000Hz로 디지탈화 시켰으며 사용된 프로그램은 VAS program(University of California, Los Angeles)을 이용하였다. EGG signal로부터 측정되는 지표들로는 기저주파수(F0), open quotient(OQ) 및 EGG파형의 baseline 이동율을 측정할 수 있는데 F0와 OQ는 Childers와 Berke 등에 의해 고안된 EGG파형의 유형인 differentiated EGG(dEGG)를 이용하여 성문의 열림점과 닫힘점을 정확히 측정하여 분석하였다. 비록 논란은 있는 상태이지만 dEGG상에서 성문의 열림점은 파형의 positive peak, 닫힘점은 negetive peak로 산정하였다. 이 두지점으로부터

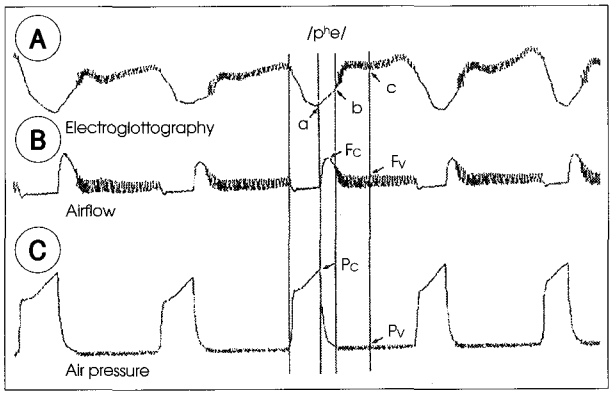

Fig. 8. Waveforms of EGG(A), airflow(B), and air pressure(C) from a normal subjcet repeating the syllable /pʰe/. The letters a and b mark the points of baseline shift for the consonant, b and c the points of baseline shift for the vowel, Fc and Fv indicate the points of airflow for the consonant and the vowel, while Pc and Pv mark the points of pressure for the consonant and the vowel.

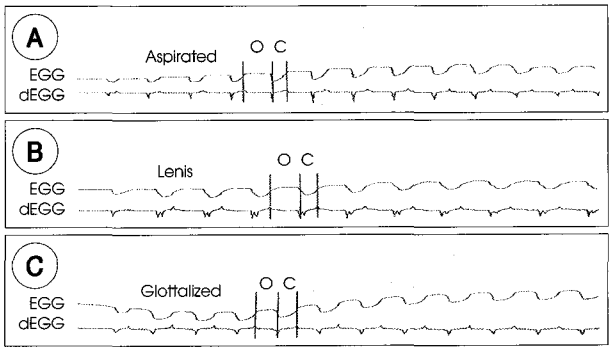

Fig. 9. Waveforms of EGG and dEGG from the initial portion of vowels in /CVCV/ for aspirated(A), lenis(B) and glottalized(C) stops. The letter O and C mark the duration of opening and closing in one vibratory cycle of the vocal folds.

close phase와 open phase의 시간이 측정되어지는데 OQ란 하나의 주기를 open phase로 나눈 값을 의미하는데 본 연구에서는 파열음 파열후 성대가 진동을 시작하는 지점으로부터 약 10개의 진동주기로 부터 OQ를 측정하여 평균한 수치로 하였다. EGG파형의 baseline 이동율은 자음모음을 연속하여 발성케 한후 파열음이 파열하는 지점으로부터 모음의 중간지점까지의 baseline이 상하로 이동하는 정도를 측정하였다.

Fig. 8은 파열음 파열 직후의 각 파열음에 대한 성대진동에 대한 EGG의 저항도를 나타낸 그림으로 자음에 따라 EGG 파형이 달리 나타남을 알 수 있었으며 Fig. 9에서는 이러한 EGG 파형으로부터 deffrentiated EGG를 이용하여 open quotient를 측정하는 그림이다. Table 2에서 먼저 기저주파수의 변화는 기식음과 경음에서 연음에 비해 유의하게 높았으며 대상들과 각 자음들 사이에서도 유의한 상호작용이 있었다. 각 자음 발성 후의 성대진동에 의한 OQ는 기식음에서 가장 많았고 이어서 연음 및 기식음순으로 통계

Table 2. Mean values and statistical datas of variables

Variables	Consonants			ANOVA value		
	Lenis	Aspirated	Fortis	df	F	P
F0(Hz)	127	142	143	2.36	58.9	p<.01
OQ	0.68	0.75	0.55	2.36	545.1	p<.01
BSC(volt)	1.9	4.1	2.6	2.36	148.6	p<.01
BSV(volt)	2.0	3.6	2.2	2.36	133.1	p<.01
GRC(mmHg/L)	12.9	8.8	32.7	2.36	374.1	p<.01
GRV(mmHg/L)	36.7	51.5	41.0	2.36	154.2	p<.01

F0 : fundamental frequency, OQ : open quotient, BSC : baseline shift at consonant, BSV : baseline shift at initial vowel, GRC : glottal resistance at consonant, GRV : glottal resistance at vowel

Table 3. P-value and Pearson's r-values between variables

Variables	F0	OQ	BSC	BSV	GRC	GRV
F0	*	−0.17	0.47	0.40	0.28	0.39
OQ	NS	*	0.37	0.23	−0.79	0.44
BSC	<.05	<.05	*	0.75	−0.33	0.66
BSV	<.05	NS	<.01	*	−0.41	0.56
GRC	NS	<.01	NS	<.05	*	−0.38
GRV	<.05	<.05	<.05	<.01	NS	*

F0 : fundamental frequency, OQ : open quotient, BSC : baseline shift at consonant, BSV : baseline shift at initial vowel, GRC : glottal resistance ar consonant, GRV : glottal resistance at vowel, NS : non-significant

적으로 유의한 차이가 있었으며 대상들과 각자음들 사이에서도 유의한 상호작용이 있었다. 자음발성 동안의 EGG파형의 baseline 이동 정도는 기식음에서 가장 많았고 다음 연음순이었으며 자음발성후 모음발성시의 이동정도는 기식음에서 가장 많았고 이어서 경음 및 연음 순이었다. 자음발성시의 이동정도를 자음에 따라 비교한 결과 유의한 차이가 있었으며 대상들과 각자음들 사이에서도 유의한 상호작용이 있었다. 모음발성시의 이동정도도 자음발성시와 마찬가지로 유의한 차이 및 유의한 상호작용이 있었다.

공기역학분석에 의한 후두저항도와 EGG에 의한 분석들을 Pearson's correlation에 의한 상관관계를 비교한 결과 (Table 3) 기저주파수는 자음발성시의 baseline 이동 및 모음발성시의 baseline 이동과 유의한 상관관계가 있었으며 OQ는 자음발성시의 후두저항도와 유의한 역상관관계가 있었으며 자음발성시의 baseline이동은 모음발성시의 후두저항도와 유의한 상관관계 및 모음발성시의 baseline이동과 유의한 상관관계가 있었다. 또한 모음발성시의 baseline 이동도 모음발성시의 후두저항도와 유의한 상관관계가 있었다.

초고속 디지털 촬영에 의한 연구

화상녹화를 위한 frame rate는 1초당 4500 frame으로

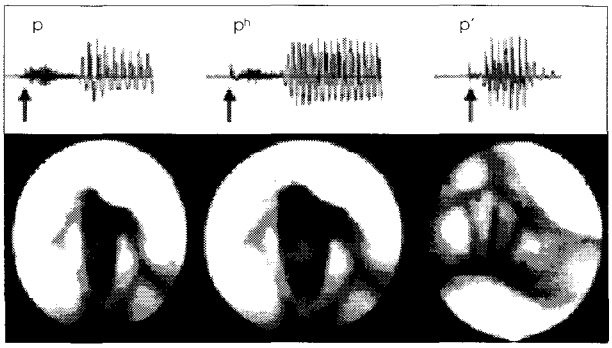

Fig. 10. The glottal widths at stop explosion for three types of stop. The arrows stand for the moments of explosion acoustically. The glottal widths is largest in aspirated stop followed by lenis and glottalized.

서 마이크를 통한 음성과 1/4500sec(0.22msec)의 frame pulse를 동시에 녹화하였고 digital audiotape(DAT)에도 음성신호와 frame pulse를 동시에 입력하였다. 전기 glottography 신호는 음성신호와 동시에 MS-DOS binary file로 format하여 디지털 신호로 변환하여 동시에 format 하였다. 성문개폐곡선은 성문의 진동에 의한 점막파형의 운동에 따른 명암의 변화가 성문개폐곡선으로 나타나는데 명암의 변화는 항상 양측 성대돌기보다 약 5mm 전방에서 cursor를 지정하면 양측 성대의 명암의 정도가 도표로 나타나는데 성문이 열리면 곡선의 공간이 넓어지고 성문이 닫히면 곡선의 공간이 없어진다. 자음의 종류에 따른 분석내용은 다음과 같다.

파열음 발화 순간의 성문의 열림상태는 연음에서 열린상태로 음이 파열하였으며 기식음에서는 연음보다 더 열린 상태로 음이 파열하였다. 그러나 경음에서는 성문이 거의 닫혀 있는 상태로 음이 파열하였다(Fig. 10).

음 파열 후 성대진동 직전까지의 성대점막의 움직임은 연음에서는 성대가 이완된 상태로 양측 성대는 서서히 내전하여 서로 접근하는 양상이었으나 양측 성대돌기가 완전히 접근하기 전 양측 성대점막이 규칙적이면서 대칭적인 완만한 내전 및 외전 운동에 의한 1회의 불완전한 성대점막의 파형이 나타났다. 이 기간 동안에는 음성파형이 나타나지 않았으며 양측 성대돌기의 완전히 접근하기 전 불완전한 성대점막파형이 끝나는 시점에서 양측 성대점막의 일부 접촉으로 전기후두파형이 나타나기 시작하였다. 이러한 1회의 불완전한 성대점막파형 후 모음 발현을 위한 완전한 성대진동이 시작되었다(Fig. 11).

기식음에서는 연음에 비해 양측 성대가 긴장된 상태로 서서히 내전하여 서로 접근하는 양상이었다. 양측 성대돌기가 어느 정도 서로 접근한 후 전 양측 성대점막이 규칙적

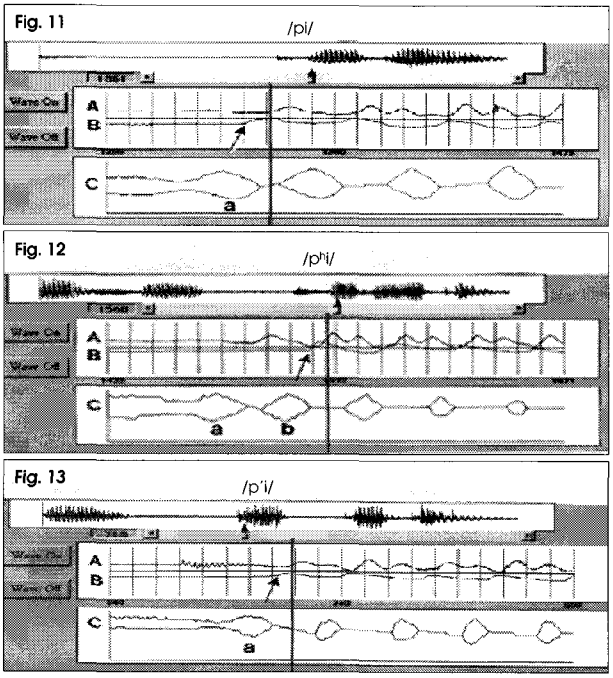

Fig. 11-13. Vibration pattern of vocal fold edges during stop production. Fig. 11 is for the lenis stop, Fig. 12 the aspirated stop and Fig. 13 for the glottalized stop. a stand for acoustic waveform, b for EGG signal, and c for glottal width measure.

이면서 대칭적인 긴장된 내전 및 운동 외전에 의한 1회의 불완전한 성대점막의 파형이 나타났다. 파형의 크기는 연음에 비해 크게 나타났다. 이 기간 동안에는 음성파형이 발현되지 않았으며 전기후두파형도 발현되지 않았다. 이러한 성대점막파형 후 다시 제2의 불완전한 성대점막파형이 나타나기 시작하였는데 Fig. 3에서와 같이 양측 성대돌기의 완전히 접근한 것처럼 보였으나 완전한 접촉은 아니었다. 음성파형은 두 번째 불완전 성대점막파형 동안에는 발현이 되었으나 전기후두파형은 두 번째 파형이 끝나는 시점부터 발현되기 시작하였다. 이러한 불완전한 성대점막파형 후 모음 발현을 위한 완전한 성대진동이 시작되었다(Fig. 12).

반면에 경음에서는 연음 및 기식음에 비해 보다 긴장된 상태로 양측 성대가 내전하여 서로 접근하는 양상이었으나 양측 성대돌기가 완전히 접근하기 전 양측 성대점막이 규칙적이면서 대칭적인 내전 및 외전 운동에 의한 1회의 불완전한 성대점막의 파형이 나타났다. 점막파형의 크기는 연음 및 기식음에 비해 현저히 적었다. 이 기간 동안에는 역시 음성파형이 나타나지 않았으며 양측 성대돌기의 완전히 접근하기 전 불완전한 성대점막파형이 끝나는 시점에서 양측 성대점막의 일부 접촉으로 전기후두파형이 나타나기 시작하였다. 이러한 1회의 불완전한 성대점막파형 후 모음 발현을 위한 완전한 성대진동이 시작되었다(Fig. 13).

결 론

결론적으로 한국어 파열음의 특징인 3중대립체제를 연구하는데는 위와 같은 내시경적 연구, 후두근전도 연구, 전기성문파형 연구 및 초고속 영상 연구 등에 의한 연구가 동시에 시행되어야 그 기전을 제대로 규명할 수 있는바 요약하면 다음과 같다.

1) 후두내시경을 이용한 초성 자음에 따른 성대의 열림은 기식음에서 성대의 열림이 가장 많았으며 연음에서는 기식음 보다는 적었지만 많은 열림이 있었고 경음에서는 성대가 조금 열린 상태에서 음이 파열하였다.

2) 후두근전도 검사에 의한 성대근의 활동도는 기식음에서는 모음을 위한 성대진동이 있기 전 후윤상피열근의 현저하면서 빠른 활동증대와 바로 이어지는 성대근의 현저하면서 재빠른 활동증대로 강한 기식현상이 나타난다. 경음에 대해서는 후윤상피열근의 활동양상은 성대진동이 있기 전 현저한 활동억제가 있었으며 바로 이어지는 성대근의 현저한 활동증대이 나타나게 된다. 연음에서는 후윤상피열근의 활동양상은 위의 경음과 연음에서의 중간형태로서 적절한 활동증대를 보였지만 바로 이어지는 성대근의 활동정도는 가장 적었다.

3) 공기역학검사에 의한 결과는 각각의 파열음에 대한 평균 성문하압력은 기식음에서 연음 및 경음에 비해 유의하게 높았으며 평균호기율도 기식음에서 가장 많았고 연음, 및 경음 순이었다. 후두저항도는 파열음 발성시는 경음에서 저항도가 가장 높았고 다음 연음 및 기식음 순이었다.

4) 전기 glottography에 의한 연구에서는 각 파열음 발성후의 성대진동에 의한 open quotients는 기식음에서 가장 많았고 이어서 연음 및 기식음순이었으며 파열음 발성 동안의 EGG파형의 baseline 이동정도는 기식음에서 가장 많았고 다음 연음 순이었으며 자음발성 후 모음발성시의 이동정도는 기식음에서 가장 많았고 이어서 경음 및 연음 순이었다. 파열음 발성시 전기저항도의 증대는 인두내의 압력증대에 의하며 연음에 대해서는 무성파열음 발성시 인강내의 긴장도의 상승과 약간의 주파수 상승을 위한 후두의 상승으로 전기저항이 증대되며 기식음에 대해서는 인강내의 과다한 긴장도 상승과 주파수 상승으로 인한 성대의 상승으로 전기저항도의 급격한 변화를 초래하며 경음에 대해서도 기식음과 마찬가지로 전기저항도의 급격한 상승을 초래한다.

5) 초고속 디지털 영상분석

자음 파열 후 성대진동 직전까지의 성대점막의 움직임은 연음에서는 성대가 이완된 상태로 양측 성대는 서서히 내

전하여 서로 접근하나 양측 성대돌기가 완전히 접근하기 전 양측 성대점막의 1회의 불완전한 성대점막의 파형이 나타났다. 기식음에서는 연음에 비해 양측 성대가 긴장된 상태로 접근하는 양상이었으며 완전한 성대진동이 있기 전 1회의 불완전한 성대점막의 파형이 나타났다. 음성파형은 두 번째 불완전 성대점막파형 동안에는 발현 후 모음 발현을 위한 완전한 성대진동이 시작되었다. 경음에서는 연음 및 기식음에 비해 보다 긴장된 상태로 양측 성대가 내전하나 양측 성대돌기가 완전히 접근하기 전 1회의 불완전한 성대점막의 파형이 나타났다.

중심 단어 : 파열음 · 생리음성학적 특성 · 후두.

REFERENCES

1) Umeda H, Umeda N. *Acoustical features of Korean "forced" consonants. J Linguistics Soc Japan 1965;48:23-33.*
2) Han MS, Weitzman RS. *Acoustic features of Korean /P,T,K/, /p,t,k/ and /p^h, t^h, k^h/. Phonetica 1970;22:112-8.*
3) Lee CY, Smith TS. *Oral and direct subglottal pressure in Korean stops. J Acoust Soc Am 1972;51:S102.*
4) Kagaya RA *fiberscopic and acoustic study of the Korean stops, affricates and fricates. J Phonetics 1974;2:161-80.*
5) Hong KH, Seiji N, Hajime H. *Laryngeal adjustments for the Korean stops, Affricates and Fricatives (EMG study). Ann Bull RILP 1991; 25:17-31.*
6) Hong KH, Kim HK, Niimi S. *Laryngeal gestures during stop production using high speed digital images. J Voice 2002;16:207-14.*
7) Hirose H, Lee CY, Ushijima T. *Laryngeal control in Korean stop production. J Phonetics 1974;2:145-52.*
8) Hirose H, Park HS, Yoshioka H, Sawashima M, Umeda H. *An electromyographic study of laryngeal adjustmemnt for the Korean stops. Ann Bull RILP 1981;15:31-43.*
9) Hong KH, Kim HK. *Electroglottographic and laryngeal articulation in speech. Folia Phoniatrica et Logophaedica 1997;49:225-33.*