

비음 측정기, 전기 구개도 및 음성 분석 컴퓨터 시스템을
이용한 구개열 언어 장애의 특성 연구*

The Speech of Cleft Palate Patients using Nasometer, EPG
and Computer based Speech Analysis System.

신효근 · 김오환** · 김현기***

(Hyo-Geun, Shin · Oh-Whan, Kim · Hyun-Gi, Kim)

ABSTRACT

The aim of this study is to develop an objectively method of speech evaluation for children with cleft palates. To assess velopharyngeal function, Visi-Pitch, Computerized Speech Lab. (CSL), Nasometer and Palatometer were used for this study. Acoustic parameters were measured depending on the diagnostic instruments: Pitch (Hz), sound pressure level (dB), jitter (%) and diadochokinetic rate by Visi-Pitch, VOT and vowels formant (F_1 & F_2) by a Spectrography and the degree of hypernasality by Nasometer. In addition, Palatometer was used to find the lingual-palatal patterns of cleft palate. Ten children with cleft palates and fifty normal children participated in the experiment.

The results are as follows: (1) Higher nasalance of children with cleft palates showed the resonance disorder. (2) The cleft palate showed palatal misarticulation and lateral misarticulation on the palatogram. (3) Children with cleft palates showed the phonatory and respiratory problems. The duration of sustained vowels in children with cleft palates was shorter than in the control groups. The pitch of children with cleft palates was higher than in the control groups. However, intensity, jitter and diadochokinetic rate of children with cleft palates were lower than in the control group. (4) On the Spectrogram, the VOT of children with cleft palates was longer than control group. F_1 & F_2 were lower than in the control group.

* 이 논문은 1997년 학술진흥재단의 공모과제연구비에 의해 연구되었음.

** 전북대학교 치과대학 구강악안면외과

*** 전북대학교 인문대학 불어불문학과

1.0 서 론

구개열 아동들은 대부분 생후 18개월에서 2년 사이에 수술을 받으면 정상 아동들과 비교하여 언어 구사 능력에 큰 차이는 없다. 그러나 일부 구개열 아동 중에는 조기에 적절한 수술을 받았음에도 불구하고 언어 장애가 있어 가정 및 사회 생활 속에서 발생하는 의사소통 장애로 말미암아 언어적, 심리적 고통은 물론 언어 지체 및 지능 발달저하 등을 호소하는 경우도 있다. 따라서 구개열 아동은 조기에 언어 진단 평가를 받아서 이러한 문제들을 해결하도록 노력하는 것이 중요하다. 그러한 까닭은 구개열 아동의 수술 및 언어 치료의 초기에서부터 임상 의들은 언어 치료사들과 밀접한 관계를 유지하면서 환자들을 관리하고 있고 언어 치료사들은 구개열 아동들에 관한 모든 정보를 수집하여 개별 환자들에게 맞는 적절한 치료 방법을 제공하고 있기 때문이다.

비인강 폐쇄부전 환자의 통상적인 검사 내용은 환자의 병력 및 유전 관계와 심리 발달 그리고 언어 지체 정도 및 청력 평가 등이다. 그러나 이러한 검사 항목 중 구개열 환자 언어의 과비음에 관한 평가는 전세계적으로 구개열 환자의 연구개 기능을 평가하기 위해서 가장 많이 사용하고 있는 검사 방법으로 주관적인 방법과 객관적인 방법이 있다. 전자는 전통적인 방법으로 임상 의 및 언어 치료사의 개인적인 경험에 의해서 구개열 환자의 과비음 또는 언어 장애 정도를 4단계에서 5단계로 나누어 청각적으로 평가하는 평가 방법이다. 그러나 주관적인 평가 방법은 개별 언어들의 발음 및 공명의 평가가 어렵고 치료사들마다 평가 방식 및 평가 결과가 다르기 때문에 신뢰도와 타당성의 체계화에 많은 문제점을 나타내고 있다. 후자는 현대적인 방법으로는 임상 실험 장비를 사용하여 구개열 언어를 정량적으로 정밀하게 측정하는 객관적인 방법으로 첨단 기자재의 개발과 더불어 연구 방법도 꾸준히 발전하여 음성 생성 시 음성기관의 생리적 물리적인 특성을 중심으로 환자에게 적절한 치료 방법을 제공하는 방법이다.

현대적인 방법으로 임상에서 구개열 언어의 진단에 가장 많이 사용하는 장비로는 비디오 플로로스코피(videofluoroscopy), 비내시경(nasoendoscopy), 세팔로그램(cephalo-gram) 및 내이소메트리(Nasometry) 또는 비음 측정기(nasometer) 등이 있다. 비디오플로로스코피는 측면 화면에서 해부학적인 관계, 편도 및 경구개 운동의 영향 등을 관찰하고, 전후 화면에서는 인후벽의 근심(近心: mesial) 운동을 평가하며, Towne 위치에서는 팔약근 운동의 평가 및 폐쇄부전을 결정하게 한다. 내이소메트리는 비인강 폐쇄부전을 평가하는데 가장 많이 사용하고 있는 장비로 측인두벽의 근심 운동을 평가하며 구개법인두문(VP port)의 크기 및 형태를 규명한다. 특히 Kay사의 비음 측정기는 비강 및 구강으로 흘러나오는 음향 에너지 전체 양 중 비강으로 흘러나오는 양을 백분율로 하는 비음도(nasalance)로서 과비음 및 저비음을 평가하는 최신 장비로 임상 의는 물론이고 언어 치료사들도 많이 사용하

고 있다. 이 밖에도 연구 목적에 따라서 스펙트로그래피, Visi-Pitch 및 공기역학 측정기, 전기 구개도(EPG) 등을 사용하고 있으며 최근 첨단 장비에 의한 구개열 언어의 연구 결과가 활발히 발표되면서 유럽의 IALP와 미국의 ASHA를 중심으로 비인강 폐쇄부전 환자 언어의 국제적인 표준화를 정립하여 세계 각국의 구개열 언어 평가 방법에 의한 치료방법 및 수술 결과의 비교, 구개열 연구 기관들간의 정보 및 자료 교환 그리고 치아, 안면골격의 성장에 따라 언어의 변화를 측정하여 치료 요법을 공동 개발하기 위한 검사 자료의 컴퓨터 입력을 요구하고 있다.

본 연구의 목적은 첫째, 국내 구개열 환자를 대상으로 구개열 언어의 과학적인 평가를 위해서 최근 국내에 들여온 구개열 언어 진단 및 평가 장비를 이용하여 국내 실정에 맞고 국제적인 표준화에 충실한 자체 평가 문형을 개발하고, 둘째, 구개열 언어의 특성을 객관적으로 규명하여 임상 의들이 구강구조 및 기능을 이해하여 환자들에게 적절한 치료 방법을 제공하도록 하며 셋째, 본 연구 결과는 구개열 언어의 국제간 학술 및 치료 효과에 관한 정보 교환의 자료로 활용하여 mapping 작업에 공동으로 참여 하고자 한다.

2.0. 연구 대상 및 방법

2.1 피 실험인

본 연구에서는 15세 미만의 아동을 피실험인으로 선정하여 조기에 수술을 받은 구개열 아동을 중심으로 구개열 언어 평가 및 진단 장비에 따라 대조군 아동 및 구개열 아동의 참여수를 다르게 실험하였다. 표 1은 피실험인의 수를 나타낸 것이다. 스펙트로그래피 사용시에는 대조군 아동 40명(남아 20명, 여아 20명)과 구개열 아동 6명(남아 3명, 여아 3명)으로 하였고, Visi-Pitch 사용시에는 대조군 아동 50명(남아 24명, 여아 16명)과 구개열 아동 10명(남아 8명, 여아 2명)으로 하였으며, 비음 측정기 사용할 때에는 대조군 10명(남아 5명, 여아 5명)과 구개열 아동 10명(남아 7명, 여아 3명)으로 하였다. 그리고 전기 구개도는 성인 대조군 및 구개열 환자 각각 1명으로 하였다.

표 1. 피실험인

	대조군	구개열
Visi-Pitch	50명(남: 24명, 여: 16명)	10명(남: 8명, 여: 2명)
스펙트로그래프	40명(남: 20명, 여: 20명)	40명(남: 20명, 여: 20명)
비음 측정기	10명(남: 5명, 여: 5명)	10명(남: 5명, 여: 5명)
전기 구개도	남자 성인 1명	남자 성인 1명

2.2 진단 평가 문형

구개열 언어 진단 평가 문형은 표 2와 같다. 임상에서 음성 언어의 진단 평가 문형은 간략하면서도 짧은 시간 내에 가능한 모든 병적인 음성의 원인을 규명하는 것이 음성언어 의학의 목표이다. 또한 음성언어 평가 결과는 국제적으로 통용될 수 있는 표준 문형에 의한 객관적인 데이터이어야만이 국제적인 신뢰도를 높이고 국내외적으로 임상 및 언어 치료사들 간의 정보 교환 및 치료 방법 등의 개발에서 극대의 효과를 얻을 수 있다. 이러한 까닭에 본 연구의 평가 문형은 이미 국제적으로 구개열 언어 연구에 관해서 발표된 저서 및 논문을 참고로 우리말 소리와 공통되는 특성들을 찾아 본 대학 구강악안면외과 교실에서 오랫동안 구개열 환자들에게 적용한 후 국제 기준과 거의 비슷한 결과가 나온 문형을 평가 문형으로 하였다. 각 진단 장비 별 분석 파라미터의 설명은 표 2에 있다.

표 2. 평가문형

진단 평가 장비	분석 파라미터	문 형
Visi-Pitch	발성/호흡조절	① /a-/ , /i-/
	jitter	② /i-/
	diadochokinetic rate	③ 2초 동안 /pɔ/ 반복
스펙트로그램	VOT	① /pip/, /pep/, /pup/, /pop/, /pap/
	Formant(F1&F2)	② /i/, /e/, /u/, /o/, /a/
비음 측정기	비음도	① /a-/ , /i-/
전기 구개도	혀-구개 접촉 형태	① /at'a/, /ak'a/, /ats'a/, /as'a/, /ala/

(1) 발성/호흡 조절

최대 발성시간(s): 심호흡하여 단순모음을 최대 발성하는 시간을 초로 측정함.

평균 기저 주파수(Hz): 발성시 초당 성대 진동수의 평균.

평균 음성 강도(dB): 발성시 음성 강도의 평균

음역(Hz): 발성시 최대 기저 주파수와 최저 기저 주파수의 차이

(2) Jitter(%): 진동 싸이클의 변동 시간의 비율

(3) Diadokokinetic rate: 일정 시간 동안 단음절 또는 다음절 형태의 문형을 반복하여 입 또는 혀의 운동을 비율에 의해 조음 운동 신경계의 활동을 측정.

(4) VOT(Voice Onset Time): 폐쇄음의 파열 시간부터 모음 진동이 시작되기 전까지의 폐쇄 구간을 ms로 측정하는 음성 음향학적인 단위.

(5) 포먼트: 구강 구조의 형태에 따라서 음향 음성학적으로 특정 주파수 대에 다양한 특성으로 나타남. 일반적으로 모음의 분석은 F₁과 F₂를 사용함.

(6) 비음도: 발성시 비강 내에 유출된 음성 에너지를 객관적으로 산출하여 비음 정도를 %로 측정.

(7) 구개도: 발음시 혀-구개 접촉 형태

2.3 진단 장비

2.3.1 비음 측정기

구개열 언어에서 발견되는 공명장애는 과비음 또는 저비음으로 칭취된다. 그러나 잘 훈련된 언어 치료사일지라도 과비음 또는 저비음의 청각 판정이나 과비음의 정도를 객관적으로 평가하기는 쉽지 않다. 비음 측정기는 구개열 환자의 과비음 및 저비음을 객관적으로 평가하고 바이오 피드백에 의한 언어 치료를 위해 전 세계적으로 보급되어 사용되고 있는 장비로서 본 연구에서는 비음 측정기(모델 6200-2)를 사용하였다. 비음 측정기에 의해서 측정하는 비음 정도는 그래프 및 수치로 나타나며 과비음 환자를 많이 다루는 전문의들의 청각적인 평가와 비음 정도와 거의 일치하므로써 구강악안면외과의 악교정 수술, 교정 치료 및 언어 치료 등에서 폭넓게 사용하고 있다.

비음 측정기는 피실험인의 구강 및 비강에서 흘러나오는 음성 에너지의 비율을 비강성으로 측정하도록 고안되어 있는 장비이다. 비음 측정기는 입술과 코 사이를 가르는 격벽판 위와 아래에 25 dB로 분리하는 지향성 마이크를 통하여 음성 에너지가 입력된 다음 컴퓨터에 내장된 자체 프로그램에 의해서 구강과 비강에 흘러나가는 음성 에너지 전체 중에서 비강에 흘러 나가는 음성 에너지의 비율을 100분율하여 컴퓨터 모니터 상에서 실제 시간상 비음 정도를 그래픽으로 실현한 다음 좌, 우 커서의 이동으로 비음 정도를 수치로 측정한다.

비음 측정기의 설치는 반향과의 방해를 방지하기 위해서 칼리브레이션 시벽으로부터 약 91 cm를 떨어뜨려 놓아야 하고 본체의 스피커와 헤드셋과의 거리를 약 30 cm로 유지한 다음, 바모드에서 비음도 막대 그래프가 50 %선이 유지될 때까지 본체 안에 내장된 조정 나사를 좌·우로 돌려 고정시켜 놓아야 한다. 또한 음성언어 기록시 코와 입술사이 격벽판을 접촉할 때에 그 각도가 $90^{\circ} \pm 15^{\circ}$ 가 되어야 최상의 효과를 얻을 수 있다. 비음도의 측정 시간은 평균 100초까지 가능하나 일반적으로는 2초 이내의 시간 내에서의 가장 안정한 측정값이 보이며, 통계 처리로는 비음도의 평균값, 편차, 최대 및 최저값 등이다.

2.3.2 전기 구개도(Electropalatography)

발음 형성 과정 중에서 가장 중요한 조음 기관은 혀의 운동으로 구개도(Palatography)는 발음시 혀가 구개에 접촉하는 부위에 따라 조음 장소 및 조음 방법 등을 정확하게 규명할 수 있다. 구개도는 전통적으로 정적인 구개도(static palatogram)를 사용해 왔으나 최근에는 발음 과정을 연속적으로 관찰할 수 있는 동적인 구개도(dynamic palatogram)가 개발되어 임상에 적용되고 있다.

본 연구에서는 Kay사의 Palatometer(모델 6300)를 사용하였다. Palatometer의 작동을 위해서는 피실험인 개개인의 구강 인상을 떠서 석고 모델을 만든 다음 구

강 구조에 적합한 인공 모조 구개판을 아크릴로 제작한 다음 96개의 전극을 구개판에 일정한 간격으로 배열하여 혀가 입천장 접촉 여부에 따라서 각 전극의 반응이 섬세한 전선을 통하여 컴퓨터 회로에 전달하여 모니터 상에서 구개도를 실행한다. 그림 2는 전기 구개도상에 조음 장소를 분류한 것이다. 회색 작은 원은 전극을 나타낸 것이고 혀가 입천장에 접촉하면 접촉 부위에 검정색사각으로 나타난다. 조음 장소의 분류는 Carton에 의한 이의 배열에 따라 1-5까지는 치조를, 5-11까지는 경구개를 그리고 11-12는 연구개로 분류하였다.

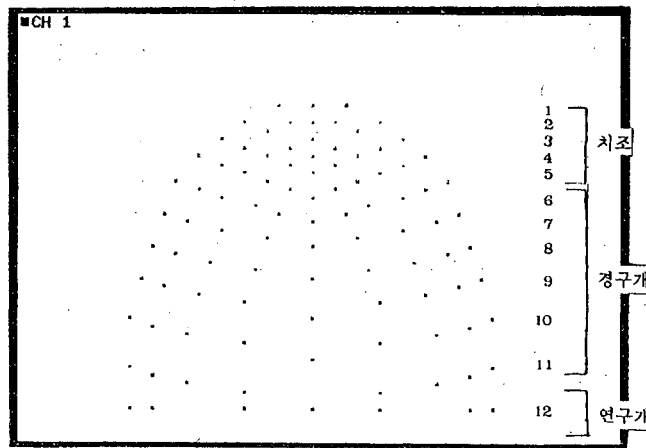


그림 1. 전기 구개도 상에서 조음 장소의 분류

2.3.3 비지 피치(Visi-Pitch)

음질의 객관적인 평가는 미국 Kay사에서 개발하여 시판 중인 비지 피치를 사용하여 음성의 기저 주파수 및 강도를 정밀하게 분석하였다. 본 연구에서는 Visi-Pitch(모델 6087 AT)를 사용하였다. Visi-Pitch는 실제 시간상에서 음성 기저 주파수(Hz) 및 강도(dB)를 추출하여 컴퓨터 화면상에서 실행한 다음 Visi-Pitch에 포함된 자체 통계 프로그램에 의해 음성 신호의 통계적인 분석을 하고, 기저 주파수, 피치 영역, 피치 perturbation, 유성/무성음의 비율 등을 수치로 산출하여 나타낸다.

비지 피치의 구성은 하드웨어에서 성대 진동을 1,600 Hz 이상의 기저 주파수로 처리하며, 컴퓨터에 내장된 보드는 시간 계기가 설치되어 성대 진동을 2바이트 표현(14 bit)으로 초당 100,000 싸이클로 생산하고, 음성 데이터를 고해상도에서 정밀하게 분석 및 저장하여 perturbation과 높은 기저 주파수까지도 측정이 가능하도록 제작되었다.

음성 신호의 처리는 우선 비지 피치판 앞에 설치된 필터 A, B, C, D를 피실험인의 음성 고·저에 따라 선택하고, 마이크와 피실험인 사이의 간격은 약 3~5 cm 정도 유지해야 하며, 이때 주의 사항은 필터의 선택으로 일반적으로 잘 훈련된 음

성학자 및 언어 치료사의 청각적인 판정에 의해 피실험인의 기저 주파수에 따라 필터를 선택하여야 하나 일반적으로는 성인 여성은 C를, 성인 남성은 A를 선택하여 일차적으로 음성을 모니터 상에서 실행한 다음 화면상에서 피치 곡선이 갈라지거나 흩어지는 경우 음의 고저에 따라 필터의 선택을 높이든지 또는 낮추든지 하여 실험을 시작한다.

비지 피치의 하드웨어 설정이 끝나면 피실험인 및 실험 목적에 따라서 소프트웨어상 여러 조작을 실시하도록 되어 있다. 첫째, 메뉴 상에서 강세 및 억양의 변화는 음성/언어장애 환자의 음성 상태에 따라 기저 주파수를 최대 0~600 Hz로 선택하고 녹음 시간도 단어 수준은 3초로 억양 수준은 6초로 선택한다. 그리고 입력된 음성 신호는 하드웨어 및 디스켓에 저장하여 지속적인 분석이 가능하도록 되어 있다.

2.3.4 스펙트로그래피 (Spectrography).

Sound Sonograph는 대부분 정상인 음성의 음향학적인 특성들을 연구하는데 사용하는 장비이다. 그러나 1980년 이후부터 음성 언어의 객관적인 평가 결과가 요구되면서 음성 언어 장애의 임상적 연구에 많이 사용하고 있다(Baken, 1987; Farmer, 1984; Kent and Read, 1992).

스펙트로그래피는 음성 신호를 복잡한 푸리에 분석으로 실행하여 음성의 특성을 주파수(Hz), 강도(dB) 및 음의 길이(ms) 등으로 분석하고, 필터의 선택에 의해서 확음역대와 협음역대로 나누어 음성공명 및 운율 등을 포먼트와 배음(harmonic)을 중심으로 측정한다. 그러나 종래의 아날로그 방식에 의한 스펙트로그래피는 감광지 상에서 수동으로 장시간 음성 현상을 분석하는 어려움과 경제적인 부담이 커서 일부 연구 기관에서만 제한적으로 사용되고 있었다. 그렇지만 최근 음성 신호 처리 기술 및 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 기술의 발달과 마이크로 컴퓨터의 대중화로 음성 신호를 숫자로 변환하는 자동 디지털 분석이 가능하면서 여러 종류의 컴퓨터를 사용한 음성분석 컴퓨터 시스템이 개발되어 사용되고 있다. 음성 분석용 프로그램의 공통점은 기본적으로 음향 신호를 확음역대 및 협음역대로 실행하고 FFT 스펙트럼 및 LPC 스펙트럼을 분석할 수 있도록 구성되어 있다.

컴퓨터를 이용한 스펙트로그램 분석 시스템으로는 여러 기종이 있으나 최근 미국 Kay사에서 개발하여 상품화한 IBM 기종의 CSL(Computerized Speech Lab.)이 국내외적으로 많이 보급되어 사용되고 있는 추세이다. CSL은 음성 신호를 500 kHz 샘플링과 16비트 해상도로 스펙트럼, 음형대 변화, 피치 추출, 파워 스펙트럼 분석 및 LPC 분석 등을 실행한다. CSL은 하드웨어에서 외장 모듈과 컴퓨터 내장 보드 구성되어 있다. 음성은 마이크를 통해 전기 신호로 바꾸고 증폭기와 Low pass Filter(22.5 kHz 100 dB/oct)를 통해 음성 신호를 필터링한 다음 A/D 변환기(100 kHz 16 bit)를 통해 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한 다음 80 MHz로 작동하는 Digital Filter DSP16A 보드를 사용하여 주파수 영역을 20, 16, 10, 8, 5,

4, 2, 1 kHz로 선택한 다음 개인용 40 MHz로 작동하며 컴퓨터 버스에 연결된 제 2의 DSP보드(TMS320C25)에 의해 음성 신호를 모니터 상에 실행한 다음 분석 및 저장을 한 다음 다시 D/A 전환기(50 KHz 12 bit)로 통해 스피커로 재생된다. CSL의 소프트웨어는 메뉴 선택 식의 “윈도우” 환경에서 실행되며 음파, FFT, LPC, 다양한 음역대에 의한 스펙트럼, 피치 추적 및 포먼트 추적으로 분석한다.

3.0 연구결과

3.1 구개열 환자의 공명 장애

과비음의 객관적인 평가는 비음 측정기를 사용하여 고모음 /a/ 및 저모음 /i/의 비음도를 평가하였다. 부록 1은 정상 아동의 저모음 /a/ 및 고모음 /i/의 비음도를 표 3은 구개열아동의 저모음 /a/ 및 고모음 /i/의 비음도를 측정된 값이다. 저모음 /a/의 경우 대조군 아동 비음도는 15.8 ± 18.4 %였고 구개열 아동은 19.0 ± 8.6 %로 큰 차이는 없었으나 고모음 /i/에서 비음도는 대조군 아동이 16.9 ± 6.7 %로 낮은 반면에 구개열 아동은 56.0 ± 26.5 %로 약 37 % 정도 높게 나타났다. 구개열 아동의 고모음 /i/에서 비음도는 비음 측정기 사용 지침서에서 정한 과비음 평가 기준치인 50 % 보다 높은 수치로 구개열 아동의 과비음 정도는 정상 아동과 비교하여 매우 높은 것으로 평가되었다.

표 3. 구개열 아동의 비음도 측정 값(%)

		비음도 (%)							
대상	나이	성별	/a/	/i/	대상	나이	성별	/a/	/i/
	8	여	25.3	79.4		12	여	38.7	12.7
	8	여	32.2	82.5		12	여	33.6	13.1
	12	여	18.9	74.0		12	여	52.2	24.9
	6	남	19.0	59.2		13	여	5.7	23.6
	7	남	5.5	11.7		13	여	7.4	20.4
구개열	7	남	15.0	48.2	정상아동	12	남	5.6	11.5
	7	남	17.9	40.9		12	남	5.7	27.3
	8	남	5.7	18.1		12	남	2.0	16.0
	8	남	25	87.6		13	남	3.3	8.5
	11	남	25.7	62.2		13	남	3.8	10.6
평균	8		19.0	56.0	평균	12.5		15.8	16.9
편차	1.9		8.6	26.5	편차	0.5		18.4	6.7

3.4 구개열 환자의 발음 이상

구개열 환자의 왜곡된 언어음을 평가하기 위해서 피실험인들이 평가 문형을 10 회씩 발음하여 유형별 조음 장소의 전극 접촉 개수를 비교 분석한 결과는 표 8과 같다.

표 4. 전기 구개도상에 나타난 언어음별 전극 접촉 개수 평균 및 편차와 유의차

	치조음*		연구개음		파찰음**		마찰음		설측음***	
	평균	편차	평균	편차	평균	편차	평균	편차	평균	편차
정상	20.1	3.8	21.4	2.7	76.2	4.8	63.3	4.0	11.1	1.9
구개열	28.9	0.3	23.1	4.2	84.3	1.6	64.2	1.6	14.9	2.4

(n=10, *<0.05, **<0.01, ***<0.001)

그림 2는 대조군 및 구개열 환자의 구개도를 비교한 것이다. 구개도 (A), (B)는 폐쇄 치조음 및 연구개음을 나타낸 것이고 (C)는 파찰음을 (D)는 마찰음을 나타낸 것이다.

폐쇄 치조음의 구개도는 경구개 쪽으로 약간 후방 이동한 구개음화 현상을 보였으며 평균 전극 접촉 개수는 정상은 20.1 ± 3.8 , 구개열은 28.9 ± 0.3 이었으며 유의차는 <0.05 였다. 폐쇄 연구개음의 구개도 패턴은 경구개 쪽으로 약간 전방 이동한 구개음화 현상을 보였으며 평균 전극 접촉 개수는 정상은 21.4 ± 2.7 , 구개열은 23.1 ± 4.2 이었으며 유의차는 없었다. 파찰음의 구개도 패턴은 구개열 환자에서 마찰 부위가 대조군보다 넓게 나타났으며 평균 전극 접촉 개수도 정상인 76.2 ± 4.8 보다 더 많이 접촉한 84.3 ± 1.6 였고 유의차는 <0.01 였다. 구개열 환자의 마찰음 구개도 패턴은 정상인과 큰 차이가 없었으며 유의차도 없었다. 그러나 설측음의 경우에서 마찰음화된 패턴을 보였으며 평균 전극 접촉 개수도 구개열 환자에서 정상인의 11.1 ± 1.9 보다 더 많이 접촉한 14.9 ± 2.4 였다. 설측음의 비교에서 유의차는 <0.001 였다.

3.3 구개열 환자의 음질

구개열 아동의 음성 언어는 정상 아동들과 비교하여 호흡 장애 및 후두 질환과 구강 구조의 변형에 의해서 발생하는 왜곡된 발음 습득 그리고 청력 저하 등으로 언어 지체율이 높고 발달 장애 등도 많다. 이러한 구개열 아동의 음성 언어는 비치피치를 사용하여 발성시 기저 주파수 및 음성 강도를 중심으로 음질의 특성을 평가할 수 있다.

부록 1-A는 대조군 아동의 지속 모음 /a/ 및 /i/의 호흡 및 발성 조절의 평가이고 부록 1-B는 구개열 아동의 지속 모음 /a/ 및 /i/의 호흡 및 발성 조절의 평가이다. 대조군 아동의 평균 최대 발성 시간은 저모음 /a/에서 11.4 ± 2.5 초, 고모음 /i/는 12.2 ± 2.3 초였고, 구개열 아동은 저모음에서 7.1 ± 2.0 초, 고모음에서 6.5 ± 2.2 초로 고모음에서 대조군 아동이 구개열 아동보다 발성 시간이 약 2배정도 길게 나타났다. 대조군 아동의 기저 주파수(저모음: 247.3 ± 21.2 Hz; 고모음: 258.7 ± 21.2 Hz)는 구개열 아동(저모음: 270.5 ± 35.7 Hz; 고모음: 277.7 ± 34.2 Hz)보다 낮았으나 음성 강도는 대조군 아동(저모음: 57.8 ± 5.3 dB; 고모음: 51.0 ± 4.5 dB)이 구개열 아동(저모음: 54.2 ± 5.2 dB; 저모음: 45.2 ± 3.9 dB)보다 높게 나타났다. 음역은 대조군 아동(저모음: 41.3 ± 33.3 Hz; 고모음: 55.6 ± 44.6 Hz)이 구개열 아동(저모음: 74.9 ± 73.7 Hz; 고모음: 111.0 ± 151.8 Hz)보다 모두 낮게 나타났다.

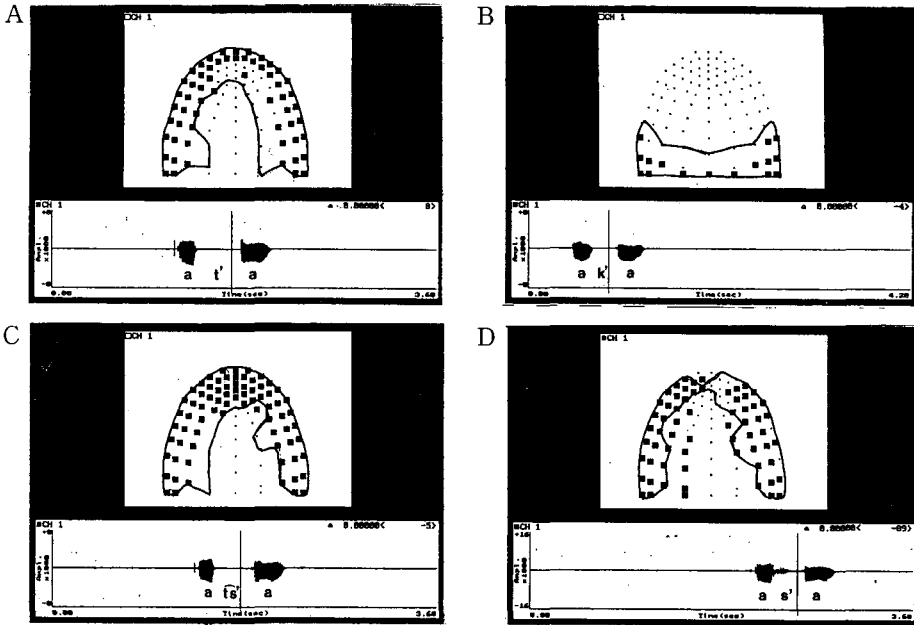


그림 2. 전기 구개도 상에 나타난 구개열 환자의 발음 이상. 사각 네모형은 정상인을 실선은 구개열 환자의 혀-구개 접촉 패턴. (A) 치조음 (B) 연구개음 (C) 파찰음 (D) 마찰음

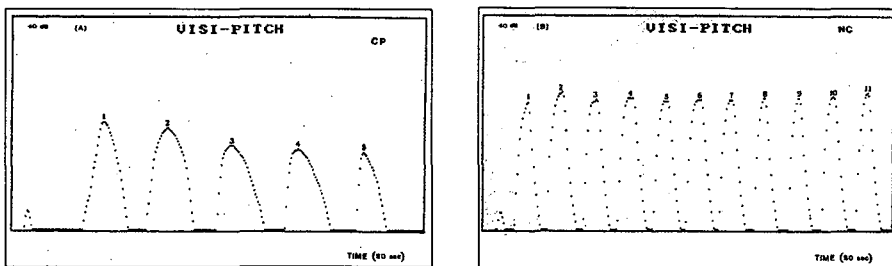


그림 3. 대조군 아동(A) 및 구개열 아동(B)의 Diadochokinetic Rate 비교

구개열 아동의 후두 장애의 평가는 고모음 발생시 Jitter를 사용하여 정상 아동과 비교하였다(부록 2-A, B). 대조군 아동의 Jitter는 $0.6 \pm 0.5\%$ 이었고 구개열 아동의 Jitter는 $1.3 \pm 2.0\%$ 로 Koike 평가 방식에 의해서 후두 질환 평가 1%를 기준으로 할 때 대조군 아동은 후두 상태가 정상으로 평가되었으나 구개열 아동은 후두 질환으로 평가되었으며 대조군 아동과 비교하여 약 2배정도 높은 수치를 보였다. 또한 구개열 아동의 구개 파열에 의한 언어 장애는 운동 신경 장애로 인한 조음 기관의 활동이 저하되는 것으로 보고되고 있는 바 본 연구에서는 Daniel Boon의 평가 방식에 의한 순음 기능의 평가를 Diadochokinetic Rate로 측정한 결과는 부록 2-C, D와 같다. 대조군 아동의 Diadochokinetic Rate는 평균 10.5 ± 1.2 회로 정상으로 평가되었으나 구개열 아동은 5 ± 2.4 회로 대조군 아동보다 2배정도 조음 기

능도 떨어지는 것으로 평가되었다. 그림 3은 정상 아동 및 구개열 아동의 Diadochokinetic rate를 비교한 것이다. 구개열 아동은 정상 아동보다 순음 기능도 떨어지고 음성 강도도 낮게 나타났다.

3.4 구개열 환자의 음색

스펙트로그램은 음성 생성 단계를 음원에서부터 자연계에 전달되어 청취되는 과정을 시각적으로 평가하는데 사용된다. 본 연구에서는 조음 반응 시간 (Articulation Reaction Time)을 측정하는 VOT와 확역대 필터의 선택에 의해서 구강 구조의 형태를 음성 음향학적으로 규명하는 모음 포먼트를 중심으로 분석하였다.

표 5는 구개열 아동의 순음 VOT 값을 나타낸 것이다. 대조군 아동의 평균 순음 VOT 값 37.1 ms(권태호, 1994)와 비교하여 구개열 아동의 평균 순음 VOT는 61.2 ms로 구개열 아동이 대조군 아동과 비교하여 조음 반응 시간이 지연되는 것으로 평가되었다.

구개열 아동 언어의 VOT 구간에서 발견되는 또 하나의 특징은 음의 치환 현상이다. 그림 4는 구개열 언어 폐쇄음에서 발견되는 특징인 연음이 성문 파열음으로 치환된 현상을 나타낸 것이다. 일반적으로 대조군 연음의 VOT는 40 ms 정도로 나타나야하나 구개열 환자가 연음을 발음했음에도 불구하고 VOT가 짧으면서 모음 포먼트 시작 지점에서 강한 파열 강도를 보여주는 경음 현상으로 치환되어 나타났다.

모음 포먼트는 단순 5모음/i, e, u, o, a/를 중심으로 F₁ 값과 F₂ 값을 중심으로 분석하였다. 부록 3은 대조군 아동(A) 및 구개열 아동(B)을 성별로 나누어 모음 포먼트 값을 분석하고 남·여 아동 전체의 모음 포먼트 평균값을 나타낸 것이다. 대조군 아동 전체의 F₁ 값은 /i/-/e/-/a/에서 405.0 Hz~660.2 Hz~987.7 Hz로 점점 상승하다가 /o/-/u/에서 670.7 Hz~487.3 Hz로 하강하였다. F₂는 /i/-/e/-/a/-/o/-/u/로 2,705.8 Hz~2,363.7 Hz~1,267. Hz~1,105.9 Hz~1,758.7 Hz로 하강하였다. 구개열 아동 전체의 모음 포먼트도 대조군 아동과 비슷한 양상으로 F₁는 /i/-/e/-/a/에서 385.9 Hz~545.60 Hz~635 Hz로 점점 상승하다가 /o/-/u/로 522.6 Hz~466.8 Hz로 하강하였다. 또한 F₂는 /i/-/e/-/a/-/o/-/u/에서 2,075.2 Hz~2,029.7 Hz~1,358.9 Hz~1,216 Hz~1,428.3 Hz로 하강하였다.

표 5. 구개열 아동의 순음 VOT(ms).

성별	나이	/pip/	/pep/	/pup/	/pop/	/pap/	평균
F	6	132.4	134.9	104.9	114.9	154.9	128.4
M	4	124.9	74.9	9.9	14.9	50.9	50.9
M	9	84.9	29.9	94.9	44.9	63.9	63.9
M	11	19.9	19.9	49.9	34.9	30.9	30.9
M	12	24.9	14.9	49.9	34.9	31.9	31.9
평균	8.4	77.4	54.9	61.9	48.9	61.2	61.2
편차	3.4	53.4	50.6	38.5	38.5	46.9	46.9

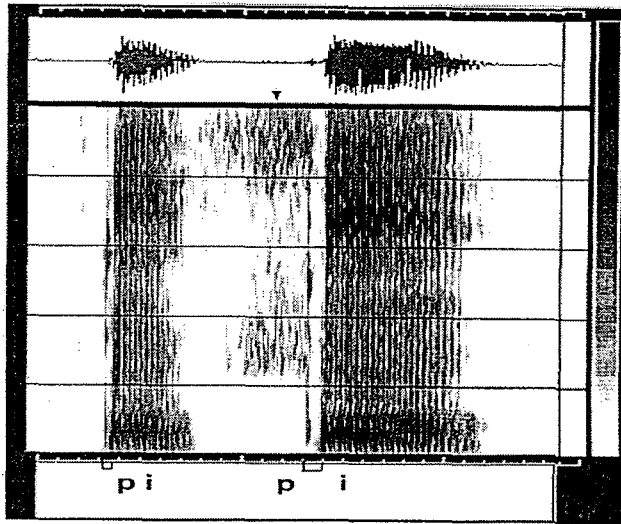


그림 4. 구개열 아동의 성문 파열음 치환 현상의 시각화

4.0 총괄 및 고찰

구개열 및 비인강 폐쇄부전 환자에서 발견되는 특징적인 언어 장애는 과비음이다. 구개열 아동 중에는 조기에 적절한 수술을 받았음에도 불구하고 과비음을 포함한 언어 장애로 사회 생활 속에서 언어적, 심리적 고통을 호소하는 경우가 많고 임상 및 언어 치료를 요구하고 있다(McWilliams et al 1984). 따라서 구개열 아동은 조기에 언어 진단 평가를 실시하여 임상사와 언어 치료사가 협동으로 구개열 환자 언어 장애들을 해결하도록 노력하는 것이 중요하며 구개열 환자의 언어 치료 효과를 공유하기 위한 체계적이고 표준화된 평가 방법의 개발이 시급한 실정에 있다. 이러한 시점에 1989년 헝가리 부다페스트에서 개최된 세계 구개열 심포지엄에서는 구개열 및 비인강폐쇄부전 환자의 언어 평가에 관한 표준화 정립의 시급함을 인식하고 각국은 국제적 기준의 표준화에 의한 평가 방법의 개발을 결의하였다. 이 결

의가 실행되어 국제적인 표준화에 의한 구개열 언어를 평가하면 여러 수술 방법과 치료 방법을 비교할 수 있고, 구개열 연구기관들간에 정보 및 자료 교환이 용이하며, 치아 및 안면골격의 성장에 따라 변화하는 언어 발달 과정을 단계적으로 평가하여 치료 요법을 상호 비교가 가능해질 수 있다. 따라서 구개열 위원회에서는 모든 데이터를 컴퓨터에 입력하여 검색이 가능하도록 할 것과 최소한의 자료를 제출할 것 등을 요구하고 있다.

미국에서도 1991년 ASHA를 중심으로 실험 기자재 및 진단 장비에 의한 언어 치료의 방법 및 효과를 제시할 것을 요구하고 객관적인 평가 방법에 의한 언어 치료 효과 및 증례 보고들을 중심으로 국제적인 Mapping 작성과 치료 방법의 대중화를 주장하였다. 이어서 1994년 NCSV에서는 언어 치료분야에서 최근 신용어들을 정립하고 음성 채록 방법 및 언어 평가 기준을 정하여 권장하고 있다. 이러한 객관적인 언어 평가 방법은 음성기관의 기능을 이해하여 환자들에게 가장 적절한 치료 방법을 제공케 해주므로 90년대 이후 선진국들을 중심으로 언어 치료 연구에 새로운 전기를 마련하였다.

구개열 언어 장애는 과비음뿐만이 아니라 구개음화, 측음화, 인두 마찰음화 및 경음화 등이 보고되어 있다. 그러나 전통적으로 구개열 언어의 치료는 언어 치료사들의 주관적인 평가에 의한 것이 대부분이었고 특히 과비음 정도의 평가는 거의 불가능한 것이어서 국내에서 구개열 아동 언어에서 발견되는 동일한 현상들이 선진 외국에서 연구 발표된 결과와 동일한 결과인지 규명하기가 어려웠다. 그러나 최근 컴퓨터 및 첨단 장비들에 의한 구개열 언어가 연구 소개되고 구개열 언어의 특성들이 과학적으로 분석되면서 국내에서도 이 분야의 새로운 연구가 가능해지고 국제적으로 학문적인 교류가 시작되면서 국내외 학자들이 우리말 구개열 환자 언어에 관심을 갖게 되었다.

국내외적으로 구개열 언어를 진단 평가하는 장비로는 비디오 플로로스코피, 비내시경은 구개법인두문의 크기와 형태 및 연구개 기능을 평가하는데 사용하고 있다. 그러나 이러한 장비들은 외과적인 조작이 필요하여 환자들이 거부 반응을 일으킬 경우가 있고 특히 구개열 아동의 경우에는 거의 사용이 불가능하다. 따라서 비침해적이고 가능한 비인강 폐쇄부전을 정확히 평가할 수 있는 장비로 비음측정기는 비인두기능의 점수화와 관련은 적지만 비음도가 과비음의 청각적인 관정과 거의 일치하고 과비음을 객관적으로 평가할 수 있기 때문에 전 세계적으로 많이 사용되고 있다. 국내에서 비음 측정기를 사용한 구개열 언어의 과비음에 관한 연구는 이미 연구, 보고되어 있다. 그러나 지역적 그리고 연령별 연구가 계속되어야 하며 이러한 관점에서 평가 문형의 표준화가 시급한 상태에 있다. 이 밖에 구개열 언어의 음향적인 특성을 구명하는 장비로 음성 생성 및 구조의 이해를 바탕으로 1980년도 이후부터 음성 언어장애 연구에 많이 사용되고 있는 스펙트로그래피가 있다. 스펙트로그램은 구개열 아동의 구강 및 비강 구조와 관련된 공명장애의 평가는 물

론 구개열 언어의 명료도를 시각적으로 평가하여 언어 병리현상을 정확히 규명할 수 있다. 스펙트로그램에 의한 언어 평가는 VOT(Voice Onset Time), VD(Vowel duration Time) 등 언어음의 지속시간을 평가하여 조음 반응시간을 평가하며, 모음 포먼트 및 비음 포먼트를 사용한 공명 장애 평가는 언어의 명료도를 평가하는 중요한 파라미터로 연구되고 있다. 이 밖에 공기 역학적인 연구 방법에 의한 비강 및 구강의 유출량과 압력은 구개열 언어의 음성 생성을 근원적으로 밝혀주고 있으며 비내시경을 이용한 구개범인두문의 크기와 형태의 영상화와 더불어 연구개 기능을 평가하는 방법 등으로 연구되고 있다. 특히 동적인 전기 구개도는 발음시 발음기관의 활동을 역동적으로 관찰할 수 있어서 구개열 환자 발음 장애의 문제점을 명확히 밝혀낼 수 있다.

본 연구는 국내에 이미 설치된 음성 언어 진단 및 평가 장비들을 중심으로 본 대학 치과대학 언어 치료실에서 구개열 아동 언어의 평가 목적에 따라 평가 문형을 다르게 개발하여 실험한 결과를 중심으로 각 평가 문형들은 가능한 진단 및 평가 장비에 동일하게 사용되어 연구 결과가 과비음의 병리적 원인 규명에 종합적인 해석을 돕는데 사용하도록 구성하였다. 또한 본 연구에서 사용한 평가 문형들은 구개열 언어 평가 작성에 필요한 이론에 충실하면서 국제 표준화에 맞는 음성언어 형태로 작성하여 연구 결과가 국제적인 정보 교환 및 학술 교류에 활용되도록 하였다.

4.1 구개열 언어의 비음도

스펙트로그램 상에서 구개열 환자의 비음화된 모음을 규명하는 것은 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 구개열의 비음화 현상만을 독립적으로 평가하는 비음 측정기를 사용하여 대조군 아동 및 구개열 아동의 비음도를 측정하였다. 그림 5는 대조군 아동 및 구개열 아동의 저모음 및 고모음의 비음도를 비교한 것이다. 대조군 아동 및 구개열 아동의 저모음 비음도는 큰 차이가 없었으나 고모음 비음도는 큰 차이로 나타났다. 이러한 결과는 국제적으로 언어 병리의 생리학적인 특성을 규명하는데 각국에서 일반적으로 사용하는 음성 언어 표본과 일치하는 결과로 본 연구 결과에서도 구개열 아동의 평가에서 고모음의 경우 과비음이 가장 특징적으로 나타났다. 과비음 현상은 생리학적으로 비인강 폐쇄문의 개방에 의한 결과로 비내시경을 사용하여 범인두구개문의 형태를 관찰한 결과 구강 모음 발생시 범인두구개문의 개방이 클수록 비음도도 높게 나타남이 발견되었다.

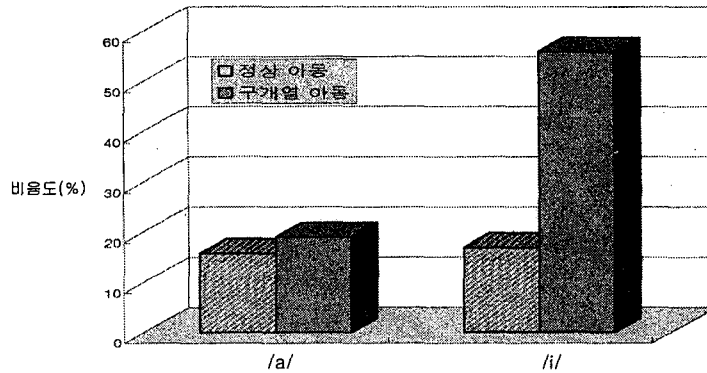


그림 5. 대조군 아동 및 구개열 아동의 저모음 및 고모음의 비율도를 비교

4.2 구개열 언어의 이상 발음

구개열 언어의 일반적인 특징은 비정상적인 설-구개 접촉으로 인해서 조음 장애를 발생시키고 있다고 보고되었다. 또한 대조군과 비교하여 구개 접촉 면적이 넓다는 것도 본 연구 결과와 일치하였다.

이러한 일반적인 특징 이외에 구개열 환자의 설-구개의 비정상적인 접촉에 의해서 나타나는 조음 장애로는 폐쇄 치조음 및 연구개음과 같이 조음 장소가 경구개 쪽으로 이동하는 구개음화 된 치환음이 보였다. 마찰음 /s/의 경우는 혀의 협착이 이루어지지 못하고 혀가 치경부에 맞닿았으나 접촉 강도는 약해서 혀의 형태는 홈 모양을 이루면서 공기는 혀 옆으로 새어 나가면서 실현되는 마찰 설측음화 된 치환음을 보였다. 파찰음의 경우에는 폐쇄 치조음 부위에서는 큰 차이를 발견할 수 없었으나 마찰음 부위에서는 혀 양쪽이 구개에 접촉하는 부위가 더 넓게 나타나 왜곡된 현상으로 평가되었다.

4.3 구개열 환자의 음성 장애

구개열 아동의 음성 장애는 약 6%(Wilson, 1979)에서 23% 정도로 보고되고 있다. 또한 음성 장애의 평가는 전 세계적으로 언어 치료사들이 구개열 아동의 언어 치료 효과를 정상 아동들의 언어를 목적으로 하기 때문에 본 연구에서 대조군 아동 및 구개열 아동의 음성 장애 평가를 Visi-Pitch를 사용하여 기저 주파수 및 음성 강도와 Jitter 및 Diadochokinetic rate를 중심으로 분석하였다. 그 결과 구개열 아동은 비인강 폐쇄부전으로 인한 저모음 /a/ 및 고모음 /i/ 모두 발성 및 호흡 지속 시간이 대조군 아동보다 짧게 나타난 것이 특징이었다. 구개열 아동의 후두 상태와 비인강 폐쇄부전과의 관계의 규명은 구개열 아동의 후두 병리 연구 결과 약 84%가 후두 질환으로 보고되고 있다. 따라서 후두 활동을 음향학적인 파라미터인 기저주파수(피치) 및 음성 강도로 평가한 결과 구개열 아동은 저모음 및 고모음 모두에서 대조군 아동보다 기저 주파수가 높게 나타났으며 음성 강도는 낮게 나타났다. 이러한 현상은 비인강 폐쇄부전으로 발음시 공기가 비강으로 새어나가기 때문

에 피치를 높여 후두의 긴장을 높이고있기 때문이며, 구개열 아동 언어 음성 강도가 대조군 아동보다 낮은 것은 연구개 지협(velopharyngeal isthmus)을 통과해 흐르는 공기의 손실을 보상하기 위한 방법 또는 적절한 음성 강도의 곤란에서 발생되는 장애로 평가된다. 이러한 현상은 구개열 아동의 후두 질환을 평가하는 Jitter 측정에서도 동일한 결과로 나타났다. 저모음 발생시 구개열 아동은 대조군보다 2배 이상 높게 나타났으며 구개열 아동의 Jitter 값은 Koike의 후두 질환 평가 기준 1%를 넘게 나타났다.

구개열 아동의 조음 활동과 관련한 신경운동기능의 평가는 조음 반복 회수로 평가하는 Diadochokinetic rate 평가를 사용하였다. 구개열 아동의 Diadochokinetic rate는 대조군 아동보다 2배 적게 나타나서 조음 발달도 늦은 것으로 평가되었다.

4.4 구개열 언어의 명료도

구개열 아동의 언어 명료도는 Visi-Pitch를 사용하여 발생시 기저 주파수 최고값과 기저 주파수 최저값의 차이인 음역을 측정하여 비교하였다. 그 결과 구개열 아동은 대조군 아동보다 음역이 저모음에서 약 0.5배 그리고 고모음에서 2배 이상으로 나타나 안정된 모음의 발생시에 음역 진동 폭이 크게 나타나 언어의 명료도가 떨어지는 것으로 평가된다.

구개열 아동의 언어 명료도는 스펙트로그램 분석상에서도 동일한 결과로 나타났다. 그림 5는 대조군 아동 및 구개열 아동의 순음 /p/의 VOT를 나타낸 것이다. 구개열 아동의 VOT는 대조군 아동의 VOT보다 약 2배 가까이 길게 나타났다. 이러한 결과는 구개열 아동이 대조군 아동보다 조음 반응 시간(Articulation Reaction Time)이 늦은 것으로 평가되며, 특히 VOT 구간에서 구개열 언어의 특징으로 나타나는 성문 파열음 현상은 언어음의 치환 현상으로 일본어 등에서도 동일한 결과를 나타낸다고 보고되었다. 그림 4는 스펙트로그램 상에서 성문 파열음을 나타낸 것이다. 연음 /p/의 VOT는 약 30-40 ms 이내로 나타나는 것에 비해 성문 파열음의 경우 VOT는 약 10 ms 이하로 아주 짧게 나타났다.

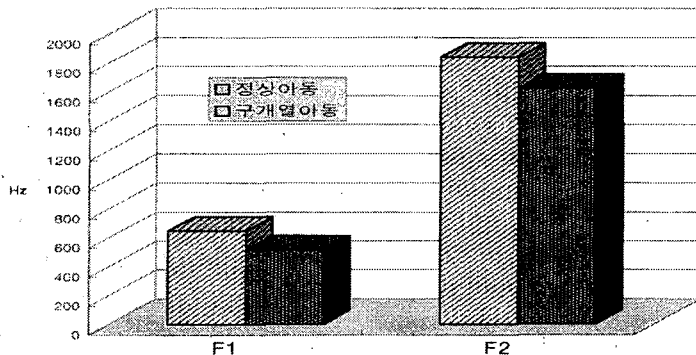


그림 6: 대조군 아동 및 구개열 아동의 F₁ 및 F₂ 전체 평균값의 비교

스펙트로그램 상에서 구개열 아동의 구강 구조 내 조음 활동은 F_1 및 F_2 의 상호 연관된 관계 속에서 나타나는 음색에 의해서 언어의 명료도를 평가하였다. 그림 6은 대조군 아동 및 구개열 아동의 F_1 및 F_2 전체 평균값의 비교한 것이다. 모음 포먼트에 의한 음성 언어의 평가는 F_1 은 개구도와 F_2 는 조음 장소 및 순음화에 관련된 것을 중심으로 분석한 결과 구개열 아동은 대조군 아동보다 F_1 및 F_2 값이 모두 낮게 나타났다. 이러한 결과는 구개열 아동은 대조군 아동보다 모음 발음시 개구도는 작고 조음 장소는 뒤쪽으로 이동되어 언어 명료도가 떨어지는 것으로 평가되었다.

V. 결 론

구개열 아동 언어를 임상 진단 장비를 사용하고 국제 표준화에 맞는 평가 문형으로 대조군 아동과 객관적으로 비교, 분석한 결과 구개열 아동 언어의 평가 결과는 다음과 같다.

- (1) 비음 측정기를 사용하여 비인강폐쇄부전으로 인한 구개열 아동의 공명 장애의 평가는 저모음 /i/에서 특징적으로 비음도 50 % 이상 높은 수치로 나타났으며 이러한 결과는 비내시경을 통해 범인두구개문을 관찰했을 때 범인두구개문의 개방 정도가 큰 것과 일치하고 있었다.
- (2) 구개열 환자의 이상 발음은 전기구개도로 관찰했을 때 폐쇄음에서 구개음화 현상과 마찰음에서 설측음화 현상이 특징적으로 발견되었다.
- (3) 비지 피치를 사용하여 저모음 및 고모음 발생시 구개열 아동은 대조군 아동보다 호흡 및 발성 기능이 떨어지고 후두 기능도 떨어졌으며 신경 운동계의 기능도 약화되었다.
- (2) 스펙트로그램 상에서 구개열 아동은 대조군 아동보다 조음 반응 시간이 지체되었고 F_1 및 F_2 도 대조군 아동과 큰 차이로 나타나 언어의 명료도가 떨어졌다.

참 고 문 헌

- 권태호, 신호근. 1994. "구개열 환자에 있어서 과비음에 관한 음성 언어의학적 연구." *대한 구강악안면외과학지*, 20(3), 319-333.
- Baken, R. J. 1987. *Clinical measurement of speech and voice*. Boston, Little Brown,
- Kent, R. D., Read, C. 1992. *The Acoustic Analysis of Speech*. San Diego, Singular Publishing Group.
- McWilliams, B. J., Morris, H. L., Shelton, R. L. 1984. *Cleft palate speech*. BC Decker Inc, The CV Mosby company, Saint Louis.

Wilson, K. D. *Voice problem in children*. The Williams and Wilkins, Co
Baltimore, 1979.

접수일자 : '98. 9. 14.

게재결정 : '98. 11. 12.

▲ 신효근

전북 전주시 덕진구 금암동 634-18

전북대학교 치과대학 구강악안면외과(우 : 560-180)

Tel: (0652) 250-2014 (O), 252-6446 (H)

Fax: (0652) 250-2089, H/P: 011-652-2014

e-mail: omfshan@chollian.net

▲ 김오환

전북 전주시 덕진구 금암동 634-18

전북대학교 치과대학 치의학과(우 : 560-180)

Tel: (0652) 250-2011 (O), 243-5055 (H)

▲ 김현기

전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

전북대학교 불어불문학과 (우 : 560-190)

Tel : (0652) 270-3196 (O), 270-3671 (Phonetics Lab.)

(0652) 77-5457 (H)

Fax : (0652) 270-3296, H/P : 011-241-5457

부록 1. 대조군 및 구개열 아동의 저모음 /a/ 및 고모음 /i/의 호흡/발성 조절 측정값

(A)

Phonatory/Respiratory control										
대상	나이	성별	Sustained /a/			sustained /i/				
			Duration	Avg Fo	Avg dB	Fo range	Duration	Avg FO	Avg dB	Fo range
NC1	11	F	13.70	258.80	57.40	17.90	14.40	261.90	51.10	22.90
NC2	11	F	9.50	258.70	51.00	37.10	9.55	283.80	46.80	23.40
NC3	11	F	6.15	230.80	61.20	25.70	5.70	229.20	53.50	68.90
NC4	12	F	12.35	238.70	58.80	33.40	10.45	237.40	45.30	135.60
NC5	12	F	8.50	261.00	58.70	41.50	14.40	261.80	49.10	45.70
NC6	12	F	8.75	244.10	50.80	27.50	12.35	245.50	46.90	197.20
NC7	12	F	14.35	235.80	48.60	27.70	14.50	242.80	45.60	73.90
NC8	12	F	7.50	262.60	50.50	30.10	11.80	290.80	55.80	164.10
NC9	12	F	12.20	255.20	50.50	26.80	13.50	260.80	49.90	25.00
NC10	12	F	12.35	253.20	58.80	33.40	13.45	260.10	50.00	36.30
NC11	13	F	13.90	278.50	58.70	78.00	14.45	281.10	50.50	32.70
NC12	13	F	10.35	243.80	54.60	45.70	11.40	251.80	49.70	161.70
NC13	13	F	13.95	255.10	62.00	26.70	12.25	267.10	53.30	32.40
NC14	13	F	13.00	234.80	42.80	18.00	14.25	219.80	41.60	17.40
NC15	13	F	6.80	261.00	53.60	27.70	8.60	274.40	47.70	34.30
NC16	13	F	9.45	258.70	55.80	22.20	8.30	255.90	47.80	23.30
NC17	9	M	10.75	233.50	61.80	38.30	6.85	263.10	53.80	47.30
NC18	10	M	7.75	247.60	59.60	42.20	10.65	265.80	54.60	70.90
NC19	10	M	14.85	250.40	64.50	36.90	14.80	276.00	54.30	37.60
NC20	11	M	9.55	260.90	67.90	35.00	9.05	274.40	55.70	32.70
NC21	11	M	9.95	242.50	66.50	32.50	12.00	249.60	58.00	48.50
NC22	11	M	14.85	265.10	52.10	228.20	14.85	272.30	47.40	32.80
NC23	11	M	14.50	229.90	53.60	68.70	14.00	243.00	44.70	33.30
NC24	11	M	9.50	275.30	59.60	43.40	13.25	310.10	53.50	71.90
NC25	11	M	10.85	252.10	58.50	36.90	14.25	258.20	52.70	28.70
NC26	11	M	6.50	243.00	63.70	55.20	8.30	259.50	53.00	82.10
NC27	11	M	14.15	270.00	61.60	26.30	14.45	274.30	51.90	15.90
NC28	11	M	9.40	247.20	64.10	44.10	14.30	272.40	59.30	26.10
NC29	11	M	8.95	268.60	57.20	77.40	10.30	273.70	52.40	46.90
NC30	11	M	8.20	249.30	63.00	40.40	9.45	264.00	55.70	144.10
NC31	11	M	11.45	288.50	63.00	64.30	10.60	280.50	54.00	42.50
NC32	11	M	13.95	233.40	55.20	23.80	14.35	240.50	45.00	28.30
NC33	11	M	13.90	237.40	54.40	28.30	14.05	246.80	45.50	23.30
NC34	11	M	13.70	270.50	60.40	26.30	12.80	278.40	52.90	30.50
NC35	12	M	10.15	234.90	58.50	28.90	14.85	256.30	44.40	29.30
NC36	12	M	11.75	260.00	56.50	32.10	11.30	270.70	53.20	22.10
NC37	12	M	14.00	143.60	58.00	22.10	10.90	173.80	52.20	101.90
NC38	12	M	14.15	246.80	47.50	15.90	14.30	249.30	43.30	134.50
NC39	12	M	14.30	243.70	51.40	37.50	14.35	243.70	43.60	37.50
NC40	12	M	14.00	224.10	62.30	32.40	13.30	242.50	62.10	36.00
NC41	12	M	12.00	241.10	55.20	14.70	14.30	247.10	50.50	33.50
NC42	12	M	9.90	222.50	61.20	139.40	13.80	242.40	52.50	54.30
NC43	12	M	11.05	226.10	65.20	58.20	11.85	257.30	54.40	46.60
NC44	12	M	8.25	250.90	62.10	17.10	8.80	251.70	55.70	24.40
NC45	12	M	13.95	278.90	65.60	52.80	14.15	289.80	59.00	24.30
NC46	12	M	12.65	242.00	59.30	33.20	13.30	281.00	52.70	27.30
NC47	13	M	10.35	221.70	56.00	32.40	11.40	247.30	50.80	42.80
NC48	13	M	7.85	239.30	56.80	30.80	6.55	245.50	47.40	50.60
NC49	13	M	14.20	239.40	51.00	19.70	14.30	243.00	47.00	17.10
NC50	13	M	11.70	240.90	61.50	41.50	12.80	240.50	50.00	55.40
평균	11.7		11.40	247.30	57.80	41.30	12.20	258.70	51.00	55.60
편차	0.9		2.50	21.20	5.30	33.30	2.40	21.20	4.50	44.60

(B)

Phonatory/Respiratory control										
대상	나이	성별	sustained /a/			sustained /i/				
			Duration	Avg FO	Avg dB	FO range	Duration	Avg FO	Avg dB	FO range
CP1	7	F	7.56	331.60	52.30	59.10	6.00	279.00	45.50	192.00
CP2	8	F	7.86	315.60	57.70	32.30	6.18	291.90	42.80	57.80
CP3	4	M	5.40	293.00	58.30	68.30	5.46	306.20	48.50	48.10
CP4	4	M	4.10	266.70	51.00	219.80	1.86	295.90	43.10	46.70
CP5	5	M	7.50	241.30	43.60	201.50	8.00	248.30	39.40	97.20
CP6	6	M	7.40	239.10	58.90	30.80	5.90	246.10	47.70	26.10
CP7	6	M	5.04	292.10	50.20	63.50	5.61	348.40	51.30	62.00
CP8	7	M	8.22	236.00	61.50	16.10	7.29	258.70	47.50	519.50
CP9	7	M	6.80	258.00	53.30	28.60	7.60	267.20	39.50	37.50
CP10	12	M	11.20	231.10	57.40	28.20	10.60	235.00	46.40	24.20
평균	6.6		7.11	270.45	54.22	74.92	6.45	277.67	45.17	111.01
편차			1.98	35.73	5.19	73.7	2.24	34.16	3.91	151.26

부록 2. 대조군 및 구개열 아동의 Jitter(%) 및 Diadochokinetic rate 측정값(A)(C)
대조군 아동 (B)(D) 구개열 아동

(A)			
Jitter			
대상	나이	성별	/I/
NC1	11	F	0.3
NC2	11	F	0.3
NC3	11	F	0.3
NC4	12	F	1.5
NC5	12	F	0.6
NC6	12	F	2.8
NC7	12	F	1.9
NC8	12	F	0.6
NC9	12	F	0.4
NC10	12	F	0.3
NC11	13	F	0.8
NC12	13	F	1.0
NC13	13	F	0.4
NC14	13	F	0.5
NC15	13	F	0.3
NC16	13	F	0.6
NC17	9	M	0.4
NC18	10	M	0.4
NC19	10	M	0.3
NC20	11	M	0.3
NC21	11	M	0.2
NC22	11	M	0.3
NC23	11	M	0.6
NC24	11	M	0.5
NC25	11	M	0.6
NC26	11	M	0.8
NC27	11	M	0.4
NC28	11	M	0.4
NC29	11	M	0.8
NC30	11	M	0.9
NC31	11	M	0.2
NC32	11	M	0.4
NC33	11	M	0.4
NC34	11	M	0.4
NC35	12	M	0.8
NC36	12	M	0.4
NC37	12	M	0.7
NC38	12	M	1.3
NC39	12	M	0.9
NC40	12	M	0.2
평균	11.5		0.6
편차	0.9		0.5

(B)			
Jitter(%)			
대상	나이	성별	/I/
CP1	7	F	1.25
CP2	8	F	0.36
CP3	4	M	0.27
CP4	4	M	0.80
CP5	5	M	0.98
CP6	6	M	0.31
CP7	6	M	0.61
CP8	7	M	6.82
CP9	7	M	0.62
CP10	12	M	0.54
평균	6.6		1.26
편차	1.6		1.99

(C)			
Diadochokinetic rate			
대상	나이	성별	/퍼/
NC1	11	F	11
NC2	11	F	12
NC3	11	F	10
NC4	12	F	11
NC5	12	F	10
NC6	12	F	9
NC7	12	F	8
NC8	12	F	10
NC9	12	F	11
NC10	12	F	9
NC11	13	F	10
NC12	13	F	13
NC13	13	F	10
NC14	13	F	12
NC15	13	F	10
NC16	13	F	10
NC17	9	M	8
NC18	10	M	10
NC19	10	M	10
NC20	11	M	10
NC21	11	M	12
NC22	11	M	9
NC23	11	M	11
NC24	11	M	11
NC25	11	M	11
NC26	11	M	11
NC27	11	M	10
NC28	11	M	10
NC29	11	M	11
NC30	11	M	10
NC31	11	M	9
NC32	11	M	11
NC33	11	M	12
NC34	11	M	10
NC35	12	M	13
NC36	12	M	13
NC37	12	M	11
NC38	12	M	10
NC39	12	M	11
NC40	12	M	11
평균	11.5		10.5
편차	0.9		1.2

(D)			
Diadochokinetic rate			
대상	나이	성별	/퍼/
CP1	7	F	8
CP2	8	F	9
CP3	4	M	4
CP4	4	M	11
CP5	5	M	8
CP6	6	M	9
CP7	6	M	10
CP8	7	M	*
CP9	7	M	5
CP10	12	M	*
평균	6.6		5
편차	1.6		2.4

부록 3. 대조군 아동 (A) 및 구개열 아동 (B)의 F₁ 및 F₂ 측정값

			Formant											
대상	나이	성별	/i/		/e/		/u/		/o/		/ə/			
			F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2		
FC1	11	F	390.6	2988.0	644.5	2578.0	605.4	1347.0	585.9	1171.0	917.9	1972.0		
FC2	11	F	507.8	3066.0	781.2	2753.0	546.8	1250.0	605.4	937.5	1113.0	2089.0		
FC3	11	F	312.5	2851.0	488.2	2656.0	527.3	1367.0	527.3	1074.0	957.0	1875.0		
FC4	12	F	371.0	2695.0	781.2	2539.0	371.0	896.4	527.3	859.3	839.8	1933.0		
FC5	12	F	312.5	2871.0	585.9	2402.0	410.1	1191.0	546.8	1093.0	1035.0	1192.0		
FC6	12	F	332.0	2910.0	605.4	2460.0	351.5	1230.0	429.6	976.5	1074.0	1894.0		
FC7	12	F	503.0	1783.0	790.0	1436.0	801.0	1318.0	803.0	1446.0	1100.0	1897.0		
FC8	12	F	370.0	1208.0	641.0	2548.0	409.0	1096.0	417.0	1079.0	987.0	1357.0		
FC9	12	F	443.0	2800.0	514.0	2280.0	444.0	1200.0	4446.0	1048.0	986.0	1685.0		
FC10	13	F	365.0	2985.0	644.5	2851.0	390.6	1186.0	585.9	976.5	816.0	1126.0		
FC11	13	F	346.0	3256.0	561.0	2554.0	390.6	1152.0	585.9	1299.0	1094.0	1943.0		
FC12	13	F	310.0	3294.0	488.2	2773.0	490.0	1326.0	488.2	1125.0	1015.0	1816.0		
FC13	13	F	390.6	3222.0	781.2	2480.0	605.4	1250.0	644.5	1035.0	1113.0	1972.0		
FC14	13	F	541.0	2941.0	683.5	1329.0	582.0	1523.0	587.0	1292.0	1074.0	1953.0		
FC15	13	F	529.0	3040.0	723.0	2507.0	521.0	1464.0	526.0	1065.0	957.0	1933.0		
FC16	13	F	387.0	2697.0	639.8	2263.0	351.5	1328.0	542.0	1406.0	1048.0	1872.0		
FC17	13	F	555.0	2611.0	732.0	2353.0	566.4	1425.0	566.4	1132.0	1049.0	1884.0		
FC18	13	F	375.0	2763.0	748.0	3359.0	416.0	1306.0	548.0	1263.0	976.0	1738.0		
FC19	13	F	408.0	2913.0	850.0	2225.0	512.0	1183.0	611.0	1119.0	1001.0	1769.0		
FC20	13	F	318.0	2795.0	512.0	2239.0	341.0	1328.0	525.0	1116.0	1010.0	1893.0		
평균	12.4		403.4	2784.6	659.7	2429.3	481.6	1268.4	754.9	1125.6	1008.1	1789.7		
편차	0.8		81.5	488.9	111.5	442.6	116.4	138.6	872.6	151.2	83.1	261.9		
MC1	10	M	371.0	2651.0	625.0	2519.0	527.3	1425.0	566.4	1132.0	878.9	1738.0		
MC2	10	M	399.0	2787.0	625.0	2207.0	566.4	1269.0	566.4	1113.0	781.2	1601.0		
MC3	11	M	332.0	2539.0	546.8	2128.0	449.2	1035.0	488.2	917.9	859.3	1425.0		
MC4	11	M	332.0	285.1	605.4	2402.0	576.0	1474.0	566.4	1093.0	996.0	1621.0		
MC5	11	M	390.6	2773.0	746.0	2409.0	761.7	1503.0	605.4	1152.0	1171.0	1953.0		
MC6	11	M	332.0	1191.0	585.0	2164.0	351.5	1230.0	653.0	1035.0	963.0	1831.0		
MC7	11	M	547.0	2705.0	768.0	2234.0	558.0	1119.0	585.0	991.0	909.0	1593.0		
MC8	11	M	366.0	2957.0	628.0	2470.0	380.0	909.0	486.0	878.0	1031.0	1827.0		
MC9	11	M	371.0	2753.0	649.0	2400.0	351.5	1015.0	594.0	992.0	1135.0	1818.0		
MC10	11	M	337.0	2933.0	605.4	2519.0	507.8	1289.0	605.4	937.5	1027.0	1882.0		
MC11	11	M	432.0	2958.0	859.3	2519.0	507.8	1328.0	507.8	1152.0	1083.0	1720.0		
MC12	11	M	338.0	2853.0	546.8	2343.0	527.0	1630.0	588.0	996.0	843.0	1476.0		
MC13	11	M	530.0	2663.0	761.0	2408.0	579.0	1400.0	722.6	1113.0	981.0	1691.0		
MC14	11	M	511.0	2883.0	773.0	2408.0	595.0	1284.0	669.0	1225.0	1023.0	1729.0		
MC15	11	M	450.0	3105.0	646.0	2657.0	449.2	1464.0	602.0	1323.0	917.9	1875.0		
MC16	11	M	393.0	2812.0	606.0	1036.0	466.0	1289.0	585.9	1230.0	924.0	1796.0		
MC17	11	M	377.0	2792.0	683.0	2139.0	367.0	966.0	605.4	1074.0	1081.0	1840.0		
MC18	12	M	358.0	2903.0	625.0	2128.0	402.0	1347.0	602.0	1065.0	905.0	1466.0		
MC19	12	M	390.6	2968.0	664.0	2382.0	429.6	917.9	604.0	1229.0	878.9	1916.0		
MC20	12	M	577.0	2828.0	664.0	2490.0	507.8	1406.0	527.3	1074.0	917.9	1855.0		
평균	11.1		406.7	2627.0	660.6	2298.1	493.0	1266.0	586.5	1086.1	966.3	1727.7		
편차	0.5		76.7	673.8	81.9	333.6	101.3	206.7	57.9	115.1	102.4	151.6		
총평균	11.7		405.0	2705.8	660.2	2363.7	487.3	1267.2	670.7	1105.9	987.7	1758.7		
편차	0.9		78.1	585.7	96.6	392.6	107.9	173.7	616.2	134.1	94.5	213.5		

			formant									
대상	나이	성별	/i/		/e/		/u/		/o/		/ə/	
			F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
CP1	4	F	324.0	1762.0	488.2	2675.0	625.0	1699.0	605.4	2558.0	519.0	1210.0
CP2	6	F	325.0	2674.0	407.0	1155.0	371.0	859.3	292.9	585.9	345.0	1217.0
CP3	8	F	429.6	1738.0	607.0	2511.0	468.7	2675.0	664.0	917.9	826.0	1861.0
CP4	5	M	407.0	2546.0	742.1	2675.0	527.3	1054.0	449.2	996.0	371.0	1543.0
CP5	9	M	371.0	1425.0	524.0	1234.0	360.0	884.0	703.1	1289.0	1015.0	1660.0
CP6	12	M	459.0	2306.0	605.0	1928.0	449.0	982.0	421.0	949.0	734.0	1279.0
평균	7		385.9	2075.2	545.6	2029.7	466.8	1358.9	522.6	1218.0	635.0	1428.3
편차	3		55.6	503.6	115.8	703.3	99.6	715.3	159.9	694.6	287.7	217.1