

경부형 전기인공후두 Blueton의 개발과 음향학적 성능 분석

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실, 음성언어의학연구소,¹ 영동세브란스병원 의공학과학교실,²
전기인공후두 제작사 링커스(주),³ 이화여자대학교 의과대학 이비인후과학교실⁴

최성희¹ · 박용재² · 박영관³ · 김태정³ · 남도현¹ · 임성은¹
이성은¹ · 김한수⁴ · 최홍식¹ · 김광문¹

= Abstract =

Development of Neck-Type Electrolarynx Blueton and Acoustic Characteristic Analysis

Seonghee Choi, MD¹, Young-Jae Park, MD², Young-Kwan Park, MD³,
Tae-Jung Kim, MD³, Do-Hyun Nam, MD¹, Sung-Eun Lim, MD¹, Sung-Eun Lee, MD¹,
Han Soo Kim, MD⁴, Hong-Shik Choi, MD¹ and Kwang-Moon Kim, MD¹

¹Department of Otorhinolaryngology, The Institute of Logopedics & Phoniatrics; and

²Department of Medical Engineering Yongdong Severance Hospital Yonsei University College of Medicine, Seoul; and

³Artificial Larynx Company 'Linkus'; and ⁴Department of Otorhinolaryngology, College of Medicine,
Ewha Womans University, Seoul, Korea

Electrolarynx (EL), battery operated vibrators which are held against the neck by on-off button, has been widely used as a verbal communication method among post-laryngectomized patients. EL speech can produce easily without need of any additional surgery or special training and be used with any other methods. This institute developed a neck-typed EL named "Blueton" in cooperation with EL Company Linkus, which consists of 3 parts : Vibrator part, Control part, Battery part.

In this study we evaluated the acoustic characteristics of the produced voices by Blueton compared with Servox-inton using MDVP. Three EL users (2 full time users, 1 part time user) were participated. The results revealed that NHR is higher in Servox than Blueton and intensity is higher in Blueton than Servox. The spectra for vowels produced by EL speakers are mixed signals combined with talkers' vocal output and electrolarynx noise. The spectra pattern is similar with two ELs. High NHR, SPI index and vowel spectra from MDVP demonstrated characteristics of both electrolarynxes related to noise signal. This finding suggests that Blueton helps to provide one of the useful rehabilitation options in the post laryngectomy patients.

KEY WORDS : Electrolarynx · Blueton.

서 론

후두전적출술 후 현재까지 다양한 방법의 대용발성법이 사용되고 있으며, 이 중 전기적으로 진동체를 구동시켜 만든 음원을 경부에 부착 하여 인두에 전달하여 소리를 산출하는 경부형 전기인공후두 방법이 있다.¹⁾ 현재 시판되어 사용되고 있는 경부형 전기인공후두는 외국산으로 독일산 Ser-

vox-inton, Western Electric 5A와 미국산 Nu-vois 및 이탈리아산 Amplicode가 있으나 국내에서는 대부분 독일산 Servox-inton을 사용하고 있다.²⁾³⁾ 경부형 전기인공후두는 특별한 기술이나 많은 훈련 없이 음성 산출이 용이한 편리점이 있어⁴⁾ 후적자의 대용발성으로 선호되고 있으며, 타 대용발성법과 병행하여 사용되고 있다.⁵⁾ 그러나 현재까지 국내산 경부형 전기인공후두의 부재와 기존 외산 기기의 경우, 고가와 충전의 불편함 등 단점이 있어 본 저자들은 국내산 경부형 전기인공후두를 개발, 제작된 시제품에 대해 보고하고자 하였다.

아직까지 국내에서 자체 개발된 전기인공후두 시제품에 대한 규격이나 기준이 없기 때문에, 상용화에 앞서, 현재 경부형 전기인공 후두기로 가장 많이 되고 있는 독일산 Servox-inton과 음향학적 성능을 비교하고자 하였다.

논문접수일 : 2004년 5월 11일

심사완료일 : 2004년 5월 29일

책임저자 : 최홍식, 135-720 서울 강남구 도곡동 146-92

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실, 음성언어의학연구소

전화 : (02) 3497-3461 · 전송 : (02) 3463-4750

E-mail : hschoi@yumc.yonsei.ac.kr

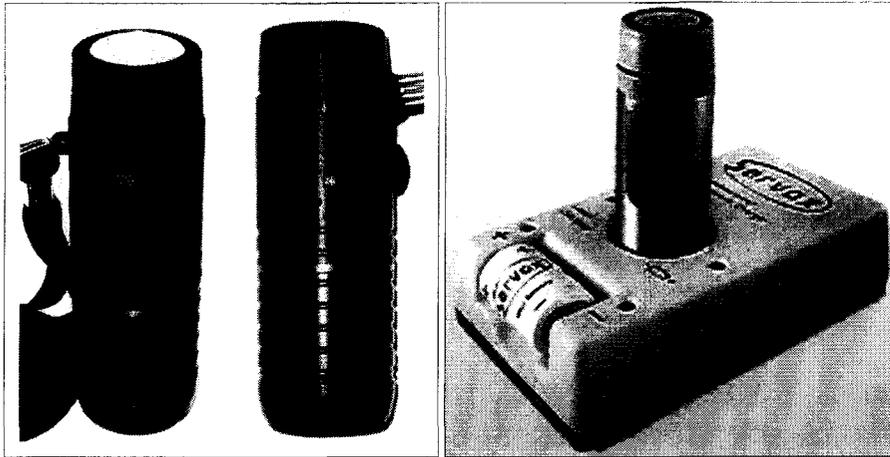


Fig. 1. Newly developed electrolarynx "Blueton" (left) and Servox-in-ton(right).

Table 1. The comparison of electrolarynx Servox with Blueton

	Servox	Blueton
크기(cm)	Ø3.5×11.8	Ø3.4×11
중량(gram)	108	95
전압(V)	7.2	9
전류(mA)	270	120
주파수(Hz)	52-172	79-179

재료 및 방법

1. 새로운 경부형 전기인공후두 "Blueton"의 개발

Blueton은 그 구성에 따라, 진동체, 제어부, 전지부로 나누어지는 데(Fig. 1), 진동체(vibratory part)는 소형화, 저전력화 및 진동시 소음 감소 및 접촉면에 부드러운 느낌이 나도록 설계되었으며, 제어부(control unit part)는 강도조절 Knob 및 음도조절 나사가 있어 다양한 강도와 음도를 조절할 수 있도록 하였다. 전지부(battery part)는 충전회로를 내장하였으며, 충전전원은 12Vdc, 15mA로 충전시간은 12시간 소요되고, 일반 충전용 7.2~9V 건전지나 9V 알카라인 전지를 사용 가능하도록 제작되었다.

Servox와 비교시, 소형화, 저전력화를 확보하였으며, 넓은 범위의 주파수를 가지도록 제작하였다(Table 1).

2. 연구대상 및 방법

후두암으로 진단받고 후두전적출술을 받아 현재까지 5년 이상 경부형 전기인공후두를 사용하고 있는 3명을 대상으로 하였으며, 이 중 2명은 경부형 전기인공후두만을 사용하였고, 1명은 식도발성과 같이 사용하였다.

음향학적 성능을 비교하기 위하여, Tektronix 2230 110 MHz digital storage oscilloscope를 사용하여 Servox와 동일한 주파수와 강도가 되도록 조절하였다. Servox는 52~

172Hz의 넓은 음도의 폭을 가지고 있으나, 제어부에 두 개의 고주파수 버튼과 저주파수 버튼이 있어 발성 중 고정된 음도에서 발성에 변화를 주도록 고안되어 있다. 반면 Blueton은 고정된 음도에서 하나의 on-off 버튼으로 조절하도록 되어 있다. 따라서 본 연구에서는 Servox의 기본주파수를 110Hz로 임의 조절하였고, 이 때 Servox는 저주파 버튼에서는 108Hz, 고주파수 버튼에서는 114Hz를 나타내었다. 따라서 두 전기인공후두간에 음도를 일치시키기 위해 2개의 Blueton에 하나는 음도를 108Hz로, 또 하나의 Blueton은 음도를 114Hz로 맞추어 분석을 실시하였다. 강도는 진동체를 경부에 접촉하지 않은 상태에서 신호음의 기초선이 400mA가 되도록 임의 조절하였으며 두 경부형 인공후두기의 강도가 모두 400mA가 되도록 하였다. 마이크와의 거리는 10cm를 유지하도록 하였는데, 이는 /이/나 /우/와 같은 고모음에서 에너지가 너무 약하여 분석이 불가능하였기 때문이다. 녹음 채취는 평상시 편안한 목소리로 모음 /아/, /이/, /우/를 연장발성 하도록 하였으며, '가을' 문단 읽기를 시행하였다. 또한 각 전기인공후두기의 소음 특성을 분석하기 위하여, 대상자들에게 입을 다문 상태에서, 전기인공후두를 경부에 대고 /아/, /이/, /우/를 조음하도록 하여 산출된 소음 신호의 스펙트럼특성을 분석하였다.

분석은 MDVP(Multi-dimensional Voice Program)의 advanced, multispeech main program을 이용하여 분석하였다.

결 과

1. 모음측정치의 비교

/아/ 연장발성시, 두 가지 음도 상태에서 Blueton과 Servox의 음향학적 특징은 두 기기 간에 큰 차이는 없었으나,

개인별로 볼 때, Blueton이 고주파수와 저주파수 조건에서, 더 양호한 결과를 보였으며(Table 2), 음향학적 변수별로 볼 때, 잡음관련 변인인 NHR(Noise-to-Harmonic Ratio)은 Servox에서, SPI(Soft Phonation Index)는 Blueton에

서 높게 나타났다. 그 이외에 음성의 불규칙성 관련 측정치인 DUV(Degree of Voiceless)는 Servox에서 높게 나타났다(Table 2).

Table 2. The acoustic characteristics of Blueton and Servox in high & low frequency

	F0	Jitter	Shim.	NHR	DUV	SPI	dB
S(H)	115	0.09	2.44	0.29	24.15	10.45	71.51
B(H)	112	0.49	2.00	0.18	0.00	17.63	75.32
S(L)	108	0.23	2.01	0.24	20.24	10.61	71.84
B(L)	106	0.63	2.21	0.19	7.25	18.87	75.50

H : high frequency, L : low frequency, S : servox, B : blueton

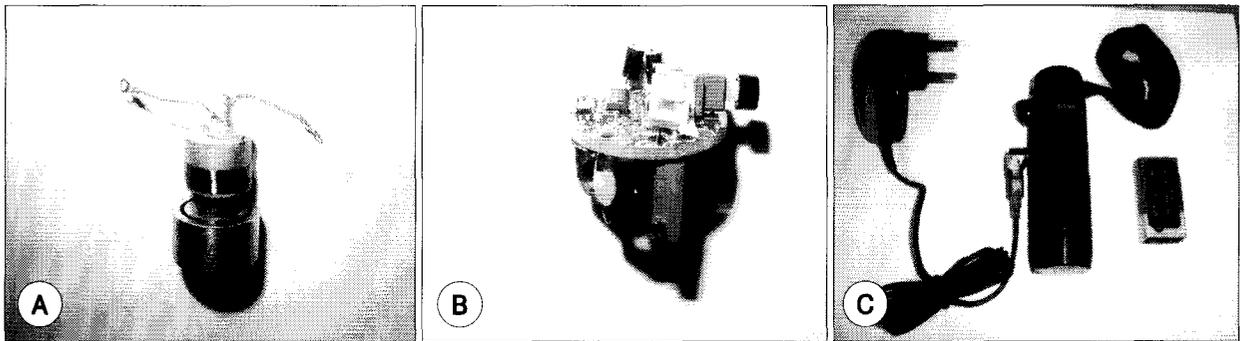


Fig. 2. Vibratory part (A), control part (B), battery part (C) in Blueton.

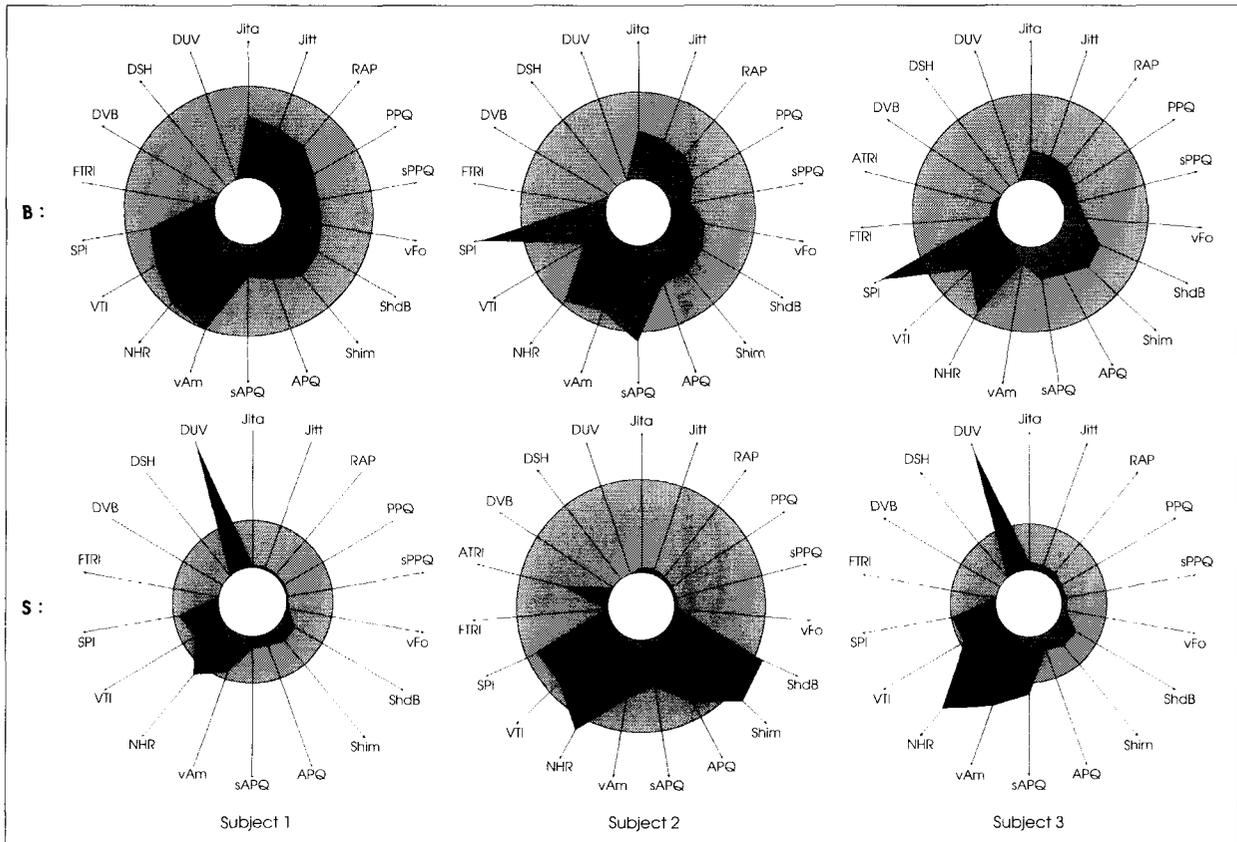


Fig. 3. MDVP results of Blueton (Upper) and Servox (lower) in high frequency condition.

2. 모음의 포먼트 특성과 소음신호 특성

경부형 전기인공후두에 의해 산출된 모음과 직접적으로 방사되어진 소음 신호를 LPC(Linear Predictive Coding)

분석한 결과이다. 포먼트는 화자의 모음의 포먼트 이외에, 전기인공후두 진동시 소음 신호음이 결합된 것으로, Servox와 Blueton이 유사한 포먼트 특성을 보였으며, 전기인공후

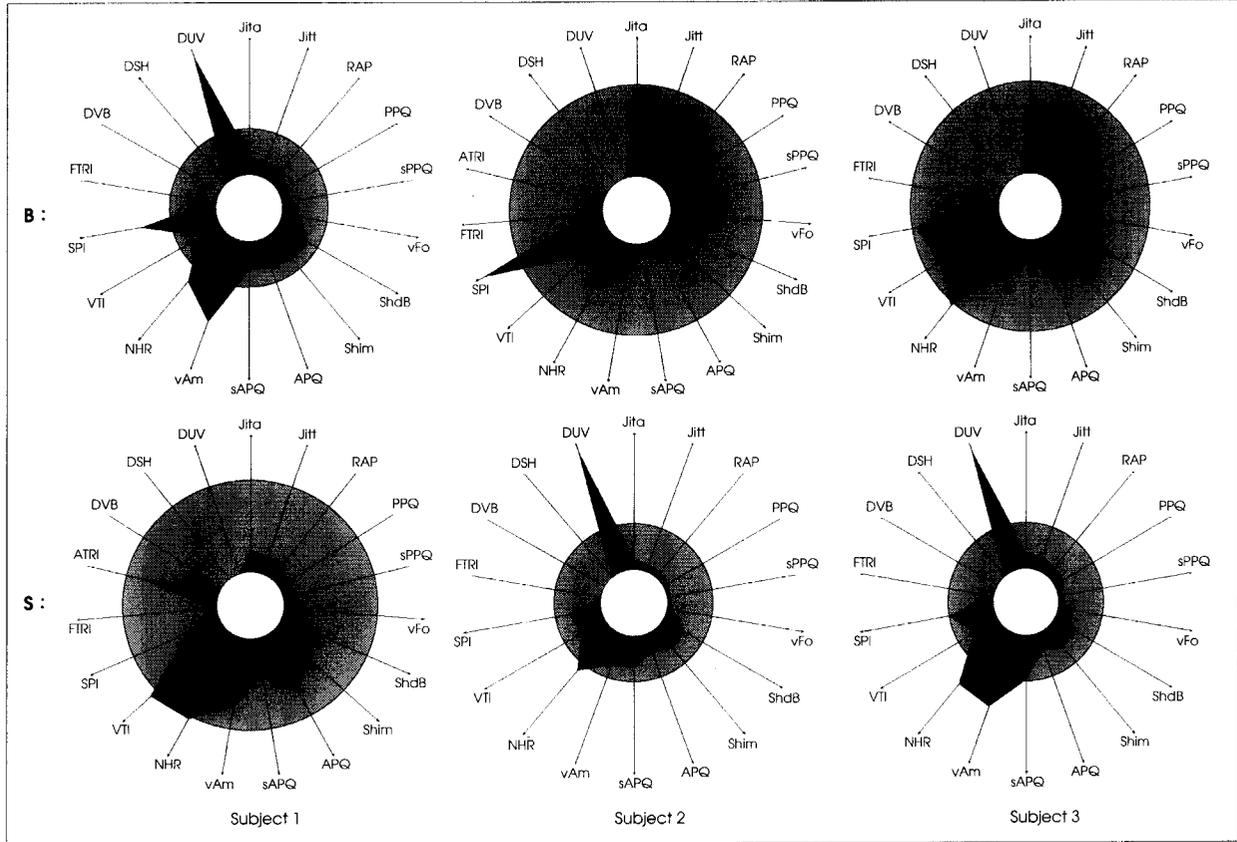


Fig. 4. MDVP results of Blueton (upper) and Servox (lower) in low frequency condition.

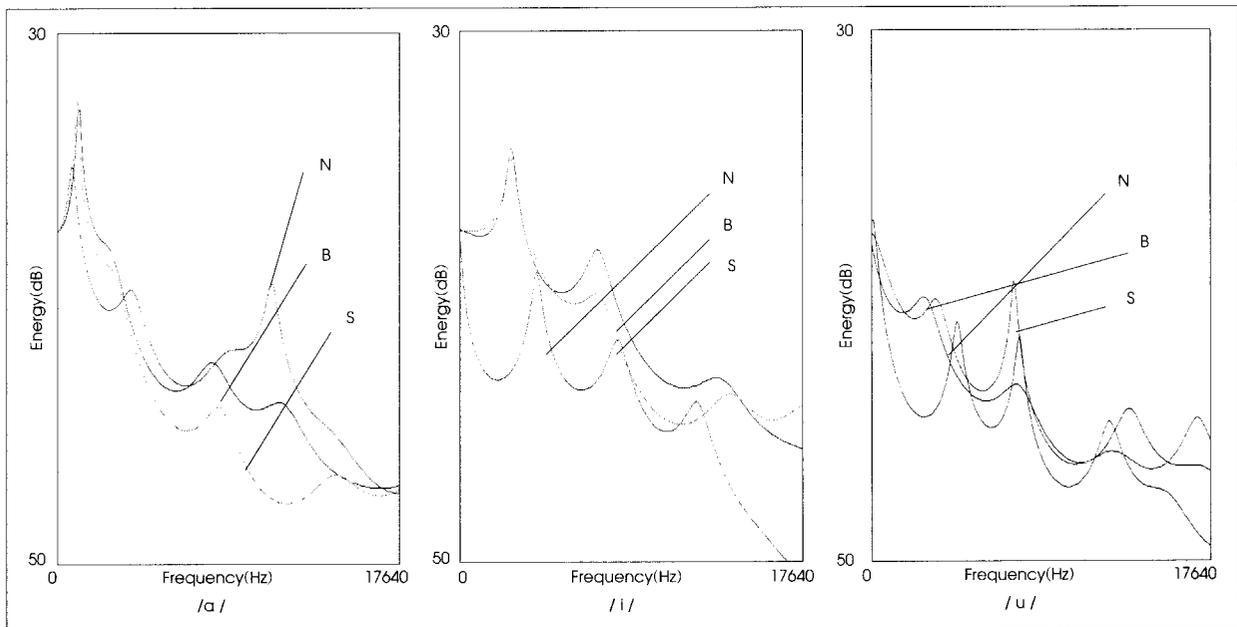


Fig. 5. The vowel /a/, /i/, /u/ spectra produced by Blueton, Servox in 1 electrolaryngeal speaker and normal using LPC analysis (N : normal control, B : Blueton, S : Servox).

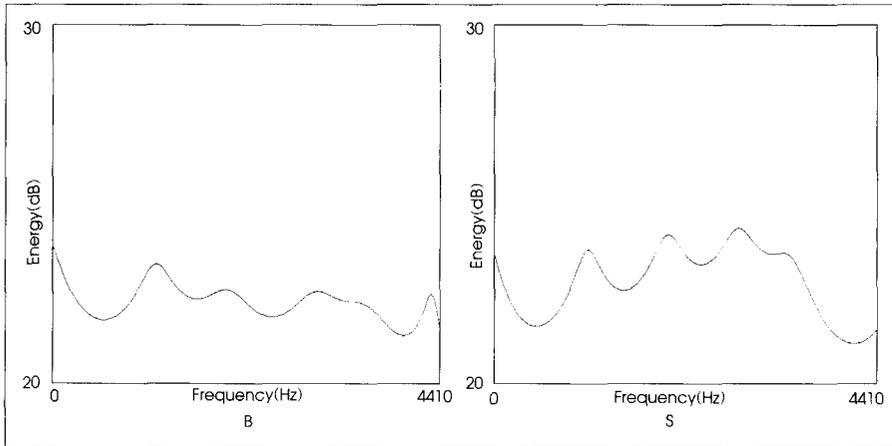


Fig. 6. The noise spectra produced by Blueton (right), Servox (left) with /i/ vowel using LPC analysis in 1 Electrolyngeal speaker (B : Blueton, S : Servox).

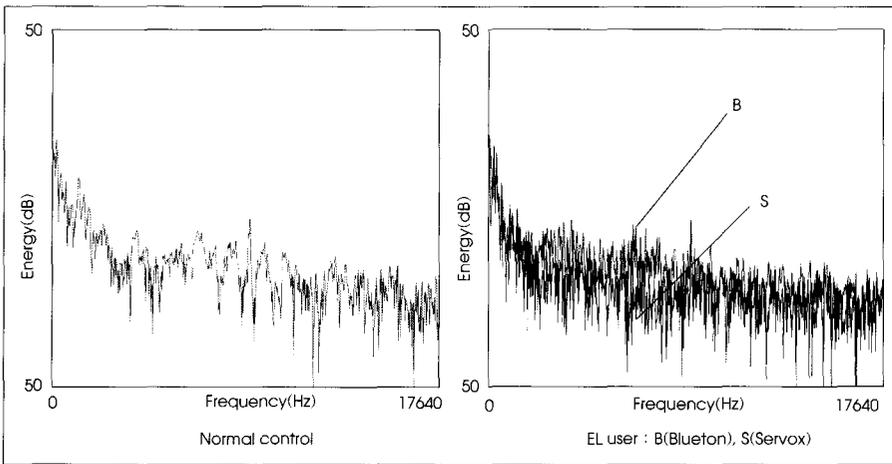


Fig. 7. FFT spectra produced by normal (left), ELs (Blueton, Servox) with a sentence.

두의 소음으로 인하여 정상인에 비해 증가된 에너지 정점을 나타내었다(Fig. 3).

3. Long-time spectra

가을 문단 중 '우리나라의 가을은 참으로 아름답다' 를 FFT (Fast Fourier Transform) 분석한 결과이다.

Blueton과 Servox에 의해 산출된 FFT spectra 정점 주파수들은 (peak frequencies) 정상인과 유사하였으나, 에너지 정점은 소음신호가 합하여져 증가된 형태를 보였으며, Blueton과 Servox의 FFT spectra는 유사한 형태를 보였다.

고 찰

경부형 전기인공후두는 후적자의 대응 발생법으로 흔히 사용되고 있는 것으로 식도발성이나 기관식도누공술이 실패하거나 적응이 되지 않는 경우 쓸 수 있는 방법이다.³⁾ 전기인공후두는 음이 기계적이고 단조로우며 음의 강도가 정상인에 훨씬 미치지 못한다는 단점이 있으나, 식도발성을 잘하는 사람들도 더 명료한 소리를 내거나, 더 효과적으로

의사소통을 하기 위하여 전기인공후두 사용이 더 용이할 상황이 있다고 하였다.⁵⁾ 후두전적출자의 음성재활에 대한 보고에서도 전기인공후두는 다른 방법과 병행하여 사용되는 경우가 많았다.⁶⁾ 현재까지 널리 사용되고 있는 경부형 전기인공후두에는 미국산 Nu-vois, 이탈리아산 Amplicode, 독일산 Servox-inton, Western electric 5A로 음의 강도가 고정된 상태에서 on-off 버튼을 눌러 사용하도록 되어 있다. 본 연구소에서 개발한 Evada의 경우²⁾ 주파수와 강도를 동시에 변화시킬 수 있는 경부형 전기인공후두이나 아직 상용화 되지 못한 상태이다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 Servox-inton은 외국산으로 가격이 비싸며, 밧데리 충전을 2시간마다 해야 하고 일반용 건전지가 아니므로 수입산 충전용 건전지를 구입해서 써야 한다. 이번에 본 연구소와 전기인공후두 제작사인 링커스에서 개발된 Blueton은 기존의 경부형 전기인공후두와 마찬가지로 음의 강도와 주파수가 고정된 상태에서 버튼을 작동하여 발생하도록 되어 있는데, 충전회로를 내장하여 충전이 가능하며, 일반용 충전 전지의 사용이 가능하도록 편리성을 확보하였다. Servox inton에

비하여 크기가 작고 가벼우며, 음향학적인 면에서 잡음관련 변인인 NHR(Noise-to-Harmonic Ratio)이 낮았으며, 강도면에서 우수한 것으로 나타났다. MDVP(Multi-dimensional Voice Program) 분석 결과, NHR은 Servox에서, SPI는 Blueton에서 정상치보다 높게 나타났는데, 이는 잡음과 관련된 전기인공후두의 음향학적 특징을 말해준다.

경부형 전기인공후두는 음원이 구강내부가 아닌 경부 피부 조직에서 생성되므로 진동 시 외부로 직접적으로 방사되는 소음이 만들어진다.¹⁾⁷⁾⁹⁾

특히, 발생하는 소음의 정도는 전기인공후두와 경부의 couple되는 방법이나 적절한 진동부위의 접촉, on-off 작동에 대한 손의 능숙함 등에 달려 있다.¹⁾⁸⁾⁹⁾¹²⁾ 또한 광범위한 경부박창술이나 방사선 치료로 경부 피부조직이 딱딱해져 있는 경우, 음의 진동이 인두로 적절히 전달될 수 없다. 따라서, 전기인공후두에 의해서 산출된 모음의 특성은 원래 모음의 특성에 전기인공후두의 소음신호가 결합된 소리로 소음의 정도가 말 명료도에 영향을 줄 수 있다.¹⁾⁹⁾ 본 연구에서 전기인공후두에 의해 산출된 모음의 포먼트는 정상인과 비슷한 패턴을 보였으나, 소음으로 인하여 에너지 정점이 증가한 것으로 나타났으며 두 기기 사이에 모음의 포먼트 패턴과 에너지 정점은 거의 유사한 결과를 보였다. 본 연구의 대상자들은 5년 이상 전기인공후두를 사용한 사람들로써 연속발화에서 말할 때와 휴지기 사이에 능숙하게 on-off 버튼을 작동할 수 있었다. 또한 세 사람마다 전기인공후두를 접촉하는 경부 부위가 달랐는데, 개인에 따라 적절한 진동 부위가 있는 것으로 나타났다.⁷⁾ 따라서, 경부형 전기인공후두는 쉽게 소리 산출이 될 수 있지만 숙련도에 따라 소리의 질과 명료도는 매우 다르다.¹⁰⁾¹¹⁾ 그러므로 경부형 전기인공후두 사용에 있어서 고려해야 할 사항으로는 첫째, 좀 더 크고, 명료한 소리를 낼 수 있는 적절한 진동부위를 찾는 것과 둘째, 말하는 중에 전기인공후두의 헤드부분에 동일한 압력을 주어 틈(fistula)이 생기지 않도록 하는 것 셋째, 구와 문장을 말할 때 on-off 버튼을 잘 협응하여 사용하는 것이 중요하므로 이에 대한 훈련이 경부형 전기인공후두를 더 효과적으로 의사소통을 하는 데 도움이 될 수 있을 것이다.

또한 본 연구에서는 제작된 시제품에 대하여 세 사람의 후두전적출자를 대상으로 Blueton에 대한 성능을 분석하였으나, Blueton이 상품화되어 널리 사용될 경우, 보다 광범위한 임상연구가 진행하도록 하여 문제점을 도출하고 교정

하여 보다 사용이 편리하고도 효율이 높은 인공후두음이 생성될 수 있는 국산 전기인공후두가 제작될 수 있도록 노력해야 할 것이다.

결론

Blueton은 본 연구소와 인공후두기 제작사인 링크스에서 만들어진 국산 경부형 전기인공후두기로서, 외국산 경부형 전기인공후두인 Servox와 성능을 비교하였을 때, 강도면에서 우수하였으며 소음이 적은 것으로 나타났다. 또한 소형화 되었으며, 충전의 편리함과 다양한 음도와 강도를 개선하여 현재 시제품 완성단계에 있는 유일한 국내산 경부형 전기인공후두이다. 따라서 앞으로 문제점을 더욱 보완하여 국내에서 술 후 후적자의 대용발성법으로 유용하게 사용될 수 있기를 기대한다.

중심 단어 : 전기인공후두 · Blueton.

REFERENCES

- 1) Weiss MS, Heinz JM. Acoustic and perceptual characteristics of speech produced with an electronic artificial larynx. *J Acoustic Soc Am* 1979;65 (5):1298-307.
- 2) Choi HS, Park YJ, Lee SM, Kim KM. Functional characteristics of a new electrolarynx "Evada" having a force sensing register sensor. *J Voice* 2001;15 (4):592-9.
- 3) Pindzola RH, Moffet B. Comparison of rating of four artificial larynxes. *J Commun Disord* 1988;21 (6):459-67.
- 4) Adler JJ, Jeyders J. Evaluation of the electrolarynx in the short-term hospital setting. *Chest* 1986;89 (3):407-9.
- 5) Carol YE, Joel MM, Caroline BH, Michael JW. Enhancement of electrolaryngeal speech by adaptive filtering. *JSLHR* 1998;41:1253-64.
- 6) 최성희 · 최홍식 · 김한수 · 홍진희 · 남지인 · 김세현 등. 후두전적출환자의 voice rehabilitaton에 대한 보고. *대한음성언어학회지* 2002;13 (2):155-63.
- 7) Meltzner GS, Kobler JB, Hillman RE. Measuring the neck frequency response function of laryngectomy patients: implications for the design of electrolarynx devices. *J Acoust Soc Am* 2003;114 (2):1035-47.
- 8) Verdolini K, Skinner MW, Patton T, Walker PA. Effect of amplification on the intelligibility of speech produced with an electrolarynx. *Laryngoscope* 1985;95 (6):720-6.
- 9) Niu HJ, Wan MX, Wang SP, Liu HJ. Enhancement of electrolarynx speech using adaptive noise cancelling based on independent component analysis. *Med Biol Eng Comput* 2003;41 (6):670-8.
- 10) Isshiki N, Tanabe M. Acoustic and Aerodynamic study of a superior electrolarynx speaker. *Folia phoniater* 1972;24:65-76.
- 11) Painter C, Fredrickson J. Electronic devices for speech rehabilitation following laryngectomy. *Head Neck Surg* 1988;Supp (2):S97-S100.
- 12) Weiss MS, Basili AG. Electrolaryngeal speech produced by laryngectomized subjects: perceptual characteristics. *Speech Hear Res* 1985; 28 (2):294-300.