醫工學會誌 : 第11卷, 第2號, 1990
J. of KOSOMBE : Vol. 11, No. 2

研 究 論 文
90 — 2 — 12

포르만트 위치비교를 이용한 구개열 환자의 발음분석

김덕원* · 송철규* · 나동균** · 이명호***

=Abstract=

Sound Analysis of Cleft Palate Patients Using Formant Position

Deok Won Kim*, Chul Gyu Song*, Dong Kyun Rah**, Myoungho Lee***

As one of the main purpose of the physical management of cleft palate is to provide for the anatomic and physiologic requisites for speech, the speech must be as one of the criteria for determining when physical management has been achieved. But there is no objective methods to evaluate the speech of cleft palate patients.

The authors tried to analyze the speech of adult cleft palate patients using sound spectrography and compared with normal adults.

The results were obtained as follows;

1. In Vowels, cleft palate patients of both sexes showed reduction of frequency of the first and second formant as compared to normal. There was minimal difference in front vowels (i, e, ae).
2. In consonants, cleft palate patients showed reduction of frequency of the first formant in both sexes but reduction of frequency of the second formant was noticed only in female patients.
3. There was no statistical difference in sound spectrograph between plosive, fricative, africative, nasal, and glide consonants.

1. 서 론

구개열 환자의 치료목적 중 가장 중요한 것은 환자에게 발음에 필요한 해부학적 및 생리학적 구조를 재건하여 주는 첫이라고 할 수 있으므로 구개열 환자치료의 최종적인 평가는 환자의 발음상태로 결정할 수 있다고 하여도 과언은 아니다. 현재 통용되고 있는 한국어의 모음은 9개의 단모음과 12개의 중모음등 21개이며, 자음은 9개의 파열음과 3개의 파찰음, 3개의 마찰음, 3개의 비음 및 1개의 유음등 19개로 되어있다[1].

지금까지 이룩된 모음의 음향적 연구 가운데 가장 중요한 음향지표는 포르만트(formant, 어근결정소)에서 보여주는 주파수상의 분포상태인데 포르

〈접수 : 1990년 11월 27일〉
* 연세대학교 의과대학 의용공학과
* Dept. of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University
** 연세대학교 의과대학 성형외과
** Dept. of Plastic Surgery College of MedicineYonsei University
*** 연세대학교 공과대학 전기공학과
*** Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

만트는 제감작용(damping)이 걸려있는 유사 주기 펄스(quasiperiodic sequence of pulse)를 FFT 분석을 했을때, 에너지 분포가 특정한 모음주파수를 중심으로 인근 배음대에 밀집하여 있을때 이 에너지가 밀집된 배음주파수대를 말하는 것이며 Joos[2], Fischer－Jorgensen[3]은 청음인식에 제1, 2 포르만트가 결정적인 역할을 한다고 하여서 제2 포르만트설을 Peterson[4]은 제3 포르만트를 포함시켜 제3 포르만트설을 주장한 바 있다.

그러므로 본 연구는 구개열 환자의 발음을 분석하여 정상인과의 객관적인 차이점을 발견하고 나아가서는 구개열 환자의 발음장애 정도를 분류하여 환자의 수술 및 언어치료의 결과를 객관적으로 평가하는데 도움이 되고자 한다.

2. 실험대상 및 방법

2·1 실험대상

정상 성인 남녀 각각 10명을 대조군으로 하였으며 구개열 환자로서 음성장애가 있는 성인 남자 25명, 성인 여자 18명을 대상으로 하였다.

2·2 실험재료

(1) DT2827 형 A/D converter (16 bit)
(2) IBM－AT
(3) SONY Cassette deck
(4) Tandberg. Preamp (3016)
(5) Cassette tape (CrO_2)
(6) 어음재료
　가. 단모음(ㅏ, ㅔ, ㅗ, ㅐ, ㅜ, ㅓ, ㅡ, ㅣ)
　나. 자음
　　파열음(ㄱ, ㅋ, ㄷ, ㅌ, ㅂ, ㅍ)
　　파찰음(ㅈ, ㅊ)
　　마찰음(ㅅ, ㅎ)
　　비음(ㄴ, ㅁ, ㅇ,)
　　유음(ㄹ)

2·3 실험방법

Cassette tape에 기록된 어음재료를 Pre－Amp를 통해 증폭(10 Vp－p이하)시킨후 DT2827형 A/D 변환기를 통해 16bit 디지탈 값으로 변환한 후에 FFT(Fast Fourier Transform)를 하였는데 샘플링 주파수는 8kHz로 하므로 적어도 4kHz의 Nyquist frequency라면 음성신호 범위를 충분히 처리할 수 있다. FFT의 overlapped sample 갯수는 512개로 하고 FFT의 크기는 1024로 하여 power spectrum을 얻었다. 모음신호는 준 주기적인 신호파형을 가지며 스펙트럼 상에서는 성도의 공진특성인 포르만트가 뚜렷하게 나타난다.

이러한 과정을 거친후 각 발음에 대해서 X축은 주파수, Y축은 spectrum의 에너지 크기로 하여 나타내보면 제1, 2 포르만트의 구별이 분명한 경우도 있으나 분명하지 않은 경우도 있게 되므로, 이때 LPC(linear predicted code)방법을 써서 제1, 2 포르만트의 분명한 위치를 찾았다[5]. 이때 선형 예측차수 p는 샘플링 주파수 fs에 관계되는데 음성신호의 경우 일반적으로 다음의 식(1)에 의해 결정된다[6].

$$p = fs\,[kHz] + 4 \text{ or } 5 + \alpha \qquad (1)$$

식(1)에서 α는 성문펄스(glottal pulse)와 입의 방사(radiation)효과를 모두 고려하게 되는 경우 더해지는 값이다.

3. 실험결과

3·1 모음

각 발음에 대해서 X축은 주파수, Y축은 spectrum의 에너지 크기로하여 나타내보면 제1, 2 포르만트의 구별이 분명한 경우도 있으나 분명하지 않은 경우도 있게 되므로, 이때 LPC(linear predictd code)방법을 써서 제1, 2 포르만트의 분명한 위치를 찾았는데 그림 1에서는 '아' 발음을 보이고 있다.

정상인 남자에 있어서 단모음의 포르만트 분포상태는 제1포르만트가 'ㅏ' 'ㅐ'에서 각각 738±47, 512±33(Hz) 각각 높았고 'ㅜ' 'ㅡ'에서 각각 289±17, 320±37(Hz)로 낮았으며, 'ㅣ'가 285±23(Hz)로 가장 낮게 위치하고 있다. 제2 포르만트는 'ㅣ' 'ㅓ'에서 각각 2074±132, 2272±203(Hz)로 높고 'ㅡ' 'ㅏ'에서 중간인 각각 1000±74, 1000±

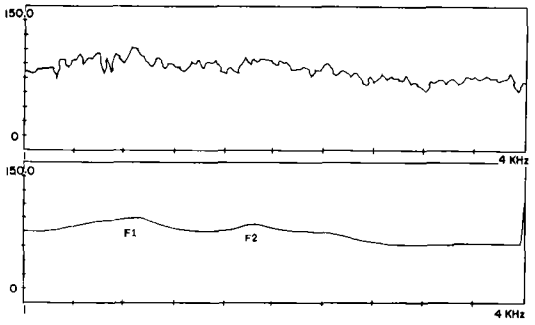

그림 1 '아'에 대한 FFT 스펙트럼과 LPC 방법으로 얻은 스펙트럼
Fig. 1 Spectrums of 'Ah' by FFT and LPC

112(Hz)로 나타나고, 'ㅜ'의 경우 875±78(Hz)로 가장 낮았다. 또한 'ㅣ' 'ㅐ' 'ㅔ'에서는 제1, 2 포르만트의 간격이 비교적 넓었고 'ㅜ' 'ㅓ'에서는 좁은 간격을 유지하고 있다(표 1). 이러한 분포는 다른 정상인에서의 분포상태와 일치함을 보이고 있다[7].

표 1 남자정상 및 구개열 환자 모음의 제1 포르만트 및 제2 포르만트
Table 1 The first and second formants of the vowels for normal and cleft palate males

	정상(n=10)		구개열 환자(n=25)	
	제1포르만트	제2포르만트	제1포르만트	제2포르만트
아	738±47	1000±112	324±46	843±94
에	500±29	2050±193	486±83	1289±142
오	405±43	1300±96	358±51	1042±157
애	512±33	2040±165	509±74	1208±115
우	289±17	875±78	248±32	1045±84
어	500±59	2272±203	312±49	899±77
으	320±37	1000±74	274±41	970±106
이	285±23	2074±132	261±35	1069±121

※ 각각의 값들은 평균값±표준편차를 나타낸 것이다.

남자 구개열 환자의 모음에서는 제1 포르만트가 'ㅐ' 'ㅔ'에서 각각 509±74, 486±83(Hz)로 높았고, 'ㅜ' 'ㅣ' 'ㅡ'에서 각각 248±32, 261±35, 274±41(Hz)로 낮았으며, 제2 포르만트는 'ㅣ' 'ㅔ' 'ㅐ'에서 각각 1069±121, 1289±142, 1208±115(Hz)로 높았고, 'ㅏ' 'ㅓ'에서 843±94, 899±77(Hz)로 가장 낮았다. 제1, 2 포르만트의 간격은 'ㅣ' 'ㅔ' 'ㅐ'에서 넓은 간격을 보이고 있으며 'ㅡ' 'ㅗ' 'ㅏ'에서 제1, 2 포르만트가 좁은 간격을 유지하고 있다. 포르만트의 폭은 제1 포르만트, 제2 포르만트 순으로 넓었고, 대체로 제3 포르만트의 출현빈도는 낮았다. 또한 남자 정상인과 구개열 환자의 차이점은 구개열 환자가 정상인에 비하여 전설모음('ㅣ' 'ㅔ' 'ㅐ')의 경우 제2 포르만트가 낮았으나($P<0.05$), 제1 포르만트는 별 차이가 없었다(그림 2).

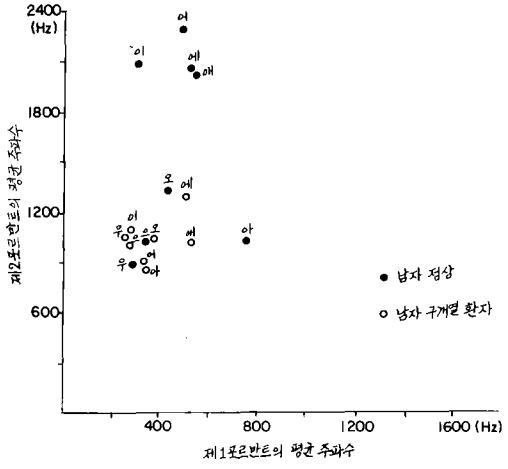

그림 2 남자정상 및 구개열 환자 모음의 제 1 포르만트 및 제2포르만트의 분포
Fig. 2 Distribution of the first and second formants of the vowels for normal and cleft palate males

정상인 여자에 있어서 모음의 제1, 2 포르만트 간격이 'ㅔ' 'ㅐ'에서 넓었고 'ㅏ' 'ㅓ'에서 좁은 간격을 보여주고 있다(표 2).

3·2 자음

구개열 남자환자의 경우에서는 파열음(ㄱ, ㅋ, ㄷ, ㅌ, ㅍ)의 제1 포르만트가 다른 음들에 비해 좀더 높은 주파수를 갖는 공통점이 있고, "다", "자"에서 정상인과 비정상인 모두 제2 포르만트가 높은 것을 알 수가 있다. 따라서 정상인과 비정상인의 파열음과 마찰음의 비교에서 두드러진 특색으로는 제1 포르만트 차이가 크나 제2 포르만트의

표 2 여자정상 및 구개혈 환자 모음의 제1 포르만트 및 제2포르만트

Table 2 The first and second formants of the vowels for normal and cleft palate females

	정상(n=10)		구개열 환자(n=18)	
	제1포르만트	제2포르만트	제1포르만트	제2포르만트
아	1050±69	1450±103	532±47	1152±136
에	460±35	2400±127	447±58	1399±177
오	452±49	2080±105	418±64	959±103
애	462±24	2060±91	453±75	1557±142
우	452±37	2080±142	430±51	1083±84
어	780±83	1250±116	614±66	963±107
으	490±31	1352±74	438±53	991±112
이	231±29	1330±64	284±41	1124±129

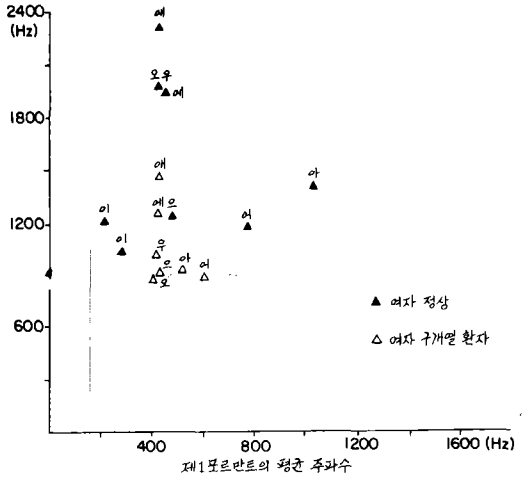

그림 3 여자정상 및 구개열 환자 모음의 제1 포르만트 및 제2포르만트의 분포

Fig. 3 Distribution of the first and second formants of the vowels for normal and cleft palate females

크기는 비슷하다(그림 4).

구개열 환자의 평균과 정상남자의 유음(ㄹ)과 비음(ㄴ, ㅁ, ㅇ)을 비교하면 "마", "하"의 제1 포르만트는 차이가 큰데 "나", "라"는 제1과 제2 포르만트의 차이가 정상과 비정상인의 경우에 있어서 상당히 큼을 알 수가 있었다(그림 4).

정상여자와 구개열 여자환자의 파열음, 마찰음과 파찰음의 비교하여 보면 정상여자에 있어서는 제1

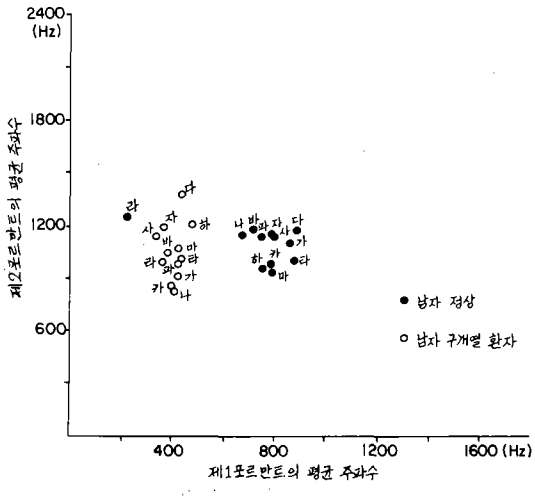

그림 4 남자정상 및 구개혈 환자 자음의 제1 포르만트 및 제2 포르만트의 분포

Fig. 4 Distribution of the first and second formants of the consonants for normal and cleft palate males

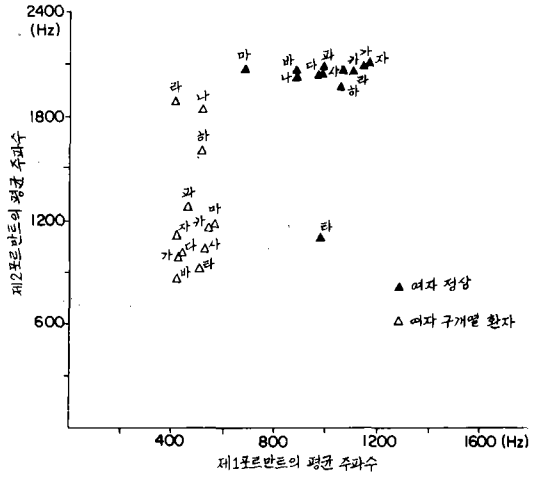

그림 5 여자정상 및 구개열 환자 자음의 제1 포르만트 및 제2 포르만트의 분포

Fig. 5 Distribution of the first and second formants of the consonants for normal and cleft palate females

포르만트의 차이는 있으나 제2 포르만트의 분포는 비슷하나 비정상의 여자의 경우는 제2 포르만트의 분포가 일정하지 않았다. 또한 정상과 비정상을 비교할 때 제1 포르만트와 제2 포르만트의 분포는 커다란 차이가 있고, 정상여자에 있어서 자음의 제

2 포르만트가 비슷한 분포를 보이나 "타"의 경우는 예외이다(그림 5).

4. 고 찰

구개열 환자에서 언어장애를 동반한 velopharyngeal incompetence의 치료는 그 정도에 따라 치료방법이 다르므로, 치료방법의 선택 및 결과를 분석하기 위해서는 velopharyngeal incompetence의 정확한 판단은 매우 중요하다. 구개열 환자의 가장 중요한 치료목적은 정상적인 해부학적 및 생리학적 구조의 재건에 의한 정상적인 발성에 있으므로 발성음에 대한 객관적인 평가로 soundspectrography의 유용성이 논의된 바 있다.

Dickson[8]은 nasalization으로 나타나는 모음의 특징은 제1 포르만트의 강도가 감소하는 것이라고 하였는데 이는 많은 보고들과 일치하고 있으며 본 연구에서는 남녀 모두 정상보다 구개열 환자에서 제1 포르만트 뿐 아니라 제2 포르만트도 감소하였다($P<0.05$). 이러한 현상은 성대부터 입술까지의 거리의 변화가 있거나 비강내의 습기가 높을 때 나타날 수 있다고 추측된다.

Yippo와 Sovijarvi[9]는 포르만트과 공명강과의 관계를 설명하면서 제1 포르만트는 인두강, 제2 포르만트는 구강, 제3 포르만트는 전구강, 제4 포르만트는 후두의 전정강과 관계가 깊다고 하였다. 성별에 따른 포르만트의 차이에서 Peterson과 Barney[10]는 여자가 평균 약 17%높은 위치에 있다고 하였으나 저자들의 경우는 여자가 약간 높은듯 하였으나 통계학적 의의는 없었다.

자음에 대한 음향적 연구는 자음의 복잡한 성질과 불규칙적인 시간적 관계등으로 보고가 많지 않다. Cooper등[11]은 자음에서도 많은 변화가 나타나는데 파열음(voiceless plosive)의 특징적인 spike가 소실되어 매우 낮은 energy가 나타나거나 폭 다시 발하여 시간의 증가등이 나타나는데 이는 발음이 정확하지 않음을 의미한다고 하였으며 마찰음(fricative)이나 치찰음(sibilant)은 굵고 밀집된 잡음이 1.5내지 4.5 kHz에서 나타난다고 하였다.

본 연구에서는 자음의 발성시 모음 'ㅏ'와 함께 발성하였으므로 모음 'ㅏ'의 포르만트를 기준으로 각각의 자음을 비교하였으나 어떠한 특징을 발견할 수 없이 모든 자음이 불규칙 하였다.

5. 결 론

1. 모음에서 남녀 모두 구개열 환자가 정상인에 비하여 제1 포르만트 및 제2 포르만트가 낮았으며($P<0.05$), 제1 포르만트는 'ㅜ' 'ㅗ' 'ㅡ'에서 제2 포르만트는 'ㅏ' 'ㅡ'에서 구개열 환자와 정상인의 차이가 가장 작았다.
2. 구개열 환자와 정상인의 'ㅣ' 'ㅔ' 'ㅐ'의 전설모음에서 비교할 때 제1 포르만트는 환자와 정상인이 비슷하나 제2 포르만트는 환자에게서 훨씬 작은 값을 보이므로 수술 후의 결과 변수로서 전설모음을 채택하는 것이 좋다.
3. 자음에서 남녀 모두 구개열 환자가 정상인에 비하여 제1 포르만트는 낮았으나($P<0.01$), 제2 포르만트는 여자 구개열 환자에서만 낮았고($P<0.01$) 남자 구개열 환자에서는 의의있는 차이가 없었다($P>0.05$).
4. 자음에서 파열음, 마찰음, 비음 및 유음간에 구별되는 차이는 없었다.

참 고 문 헌

1) 허 웅, "국어음운학", 정음사, 1979.
2) Joos M, "Acoustic phonetics", Lang Suppl., Vol 4, pp 1-136, 1948.
3) Fischer-Jorgensen E., "What can the new techniques of acoustic phonetics contribute to linguistics?", Proceedings of the VIII International Congress of linguists Oslo pp 433-478, 1958.
4) G.E. Peterson, "Parameters of vowel quality", J. Speech Hear Res., Vol 4, pp 10-29, 1961.
5) Digital Signal Processing Committee IEEE Acoustics, Speech, and Processing Society, "Selected Papers in Digital Signal Processing, II, PP. 58-75, 1976.
6) J.D. Markel and A.H. Gray : Linear prediction of speech, Springer Verlag, 1976.

7) 김희남, "한국어 어음에 관한 음성언어의 의학적 연구", 연세대학교, 박사학위논문, 1979.
8) Dickson D.R., "An acoustic study of nasality", J. Speech Hearing Res. 5: 103, 1962.
9) Yippo A., Sovijarvi A., "Sonographic and palatographic studies of full denture, half denture and edentulous cases", Acta. Odont. Scand. 20: 257, 1962.
10) Peterson G.E., Barney H.L., "Control methods used in a study of the vowels," J. Acoust. Soc. Am. 24: 175, 1952.
11) Cooper H.K., Harding R.L., Krogman W.M., Mazaheri M., Millard R.T., "cleft palate and clept lip," lst ed., p.430, W.B.Sounders Company, Philadelphia.