

심도 청각장애 성인의 한국어 단모음 조음 특성: 모음 음향 공간의 F1, F2 값을 중심으로

The Articulation Characteristics of the Profound Hearing-Impaired Adults' Korean Monophthongs:
with Reference to the F1, F2 of Acoustic Vowel Space

최 은 아¹⁾ · 성 철 재²⁾

Choi, Eunah · Seong, Cheoljae

ABSTRACT

This study investigates the differences in acoustic parameters in vowel space across hearing loss, gender and vowels. The parameters include F1, F2, Euclidean Distance between vowels, and vowel triangular area comprised of /i/, /a/ and /u/. For this study, 20 hearing-impaired and normal hearing adults as a control group were asked to read 7 Korean vowels (/a, ʌ, o, u, ɯ, i, ɛ/). Subjects' readings were recorded by *NasalView* and analyzed by *Praat*. Results showed that F1 were significantly higher in the hearing impaired group than in the normal hearing group, higher in the female group than in male group, and higher in low vowels than in high vowels. And the means of F2 was significantly higher in the hearing impaired group than in normal hearing group, higher in high vowels than in low vowels, and there was no difference between male and female group. Secondly, Euclidean distance between vowels was significantly shorter in the hearing-impaired group than in the normal group. Finally, acoustic vowel space area was significantly smaller in the hearing-impaired group than in the normal hearing group. The hearing-impaired group showed that front vowels tended to be backed and back vowels to be fronted.

Keywords: Formant, Euclidean distance, vowel triangular area, profound hearing loss adult, phonation

1. 서론

말소리를 산출할 때, 입술의 모양과 혀의 높낮이, 전후방의 움직임, 경직 등은 조음기관의 상호작용 및 기능과 연결된다. 오랜 기간 반복되어 습관적으로 고착되는 이러한 조음적인 습관은 청각적인 피드백을 통해 유아기에 스스로 수정하면서 익혀진다(Owens, 2001). 그리고 단모음은 말소리 중에서 가장 먼저 발달되어 안정되는 말소리로 생후 12개월 이전에 나타나서 15개월 이상이 되면 대부분 완성된다(Kent & Read, 2002).

그러나 청각장애인은 청각적인 피드백을 통한 자기 수정이 어려워 모음 산출 시 정상청력인들과는 다른 특성을 보이며 이

러한 청각장애인들의 모음 특성을 설명하기 위해 성도의 공명 주파수인 포먼트(formant)를 주로 분석 하고 있다(윤미선, 1994; 오영자 외, 2000; 허명진 외, 2005; 김고은·고도홍, 2007; 허명진, 2007; 최은아, 2010; Eberhard *et al.*, 2002; Cerçi *et al.*, 2006).

청각장애인들은 모음을 발성할 때 조음기관을 최소한으로 움직이고, 혀가 입 안의 중앙에 위치하며(윤미선, 1994, 오영자 외, 2000), 심도(profound) 청각장애 아동의 경우 모음 산출 시 구강 내의 공간을 적절하게 활용하지 못하고 혀를 후방화하여 전설모음과 후설모음의 구별이 어렵다(허명진, 2007). 그리고 인공와우 아동의 경우 모음을 조음할 때 과도하게 턱을 벌리거나 입술을 내밀어 F1과 F3가 정상청력 아동에 비해 훨씬 낮았다(최은아, 2010).

하지만 청력 수준이 향상되면 조음에 대한 오류도 개선되어 인공와우 착용기간이 늘어남에 따라 F1과 F2, F2와 F3 사이의 차이가 넓어져 정상청력 아동과 유사한 모음 사각도를 보였다

1) 소리언어청각센터 eunah-choi@hanmail.net

2) 충남대학교 cjseong@cnu.ac.kr, 교신저자

접수일자: 2010년 11월 8일

수정일자: 2010년 12월 2일

게재결정: 2010년 12월 7일

(허명진 외, 2005). 인공와우 이식 연령도 포먼트에 영향을 끼쳐 4세 이전에 인공와우 이식을 받은 아동의 경우 정상청력 아동의 포먼트 값에 근접하였으나 4세 이후 인공와우 이식을 받은 경우 포먼트 값이 정상청력 아동과 유의미한 차이가 있었다 (Eberhard *et al.*, 2002).

이렇듯 포먼트를 분석한 대부분의 연구들은 F1, F2, F3의 수치를 제시하면서 정상청력인과 청각장애인, 또는 인공와우 이식 전과 후, 인공와우 이식 연령에 따른 포먼트 수치 등을 비교하였다. 이 중 Campisi *et al.*(2005)은 F1과 F2의 비율을 이용하여 인공와우 아동의 모음 특성을 설명하였는데 인공와우 이식 후 F1/F2 비율이 안정적이라는 것이다.

F1과 F2의 비율은 F1과 F2의 차를 의미하며 이는 성철재(2004)에서 단모음 분석에 활용되었다. 성철재(2004)는 또한 모음 분석을 좀 더 정밀하게 하기 위해 유클리드 거리 개념을 도입하여 각 모음 간 거리를 이용하여 모음 간 음향공간의 크기를 구하였다. F1과 F2 차의 절대값인 $\Delta[F2-F1]$ 값은 각 모음의 전설성 또는 후설성 정도를, 그리고 F1과 F2를 이용한 모음 간 유클리드 거리는 성별, 연령별, 지역에 따른 모음 사이의 거리 차를 비교하는데 유용한 것으로 보고되었다(성철재, 2005).

포먼트 분석에서 F1은 턱의 벌어진 정도를 반영하고, F2는 혀의 전, 후 위치를 반영하며, F3는 입술에서의 방출특성을 반영하는 것으로 알려져 있다. 즉, 저모음일수록 F1이 증가되고 전설모음일수록 F2가 증가되며 입술이 많이 돌출되면서 강하게 조이는 등 원순성이 강할수록 F3 값이 감소한다(양병곤, 1998, Chiba & Kajiyama, 1941). 그런데 F1은 모음의 높이를 잘 설명해 주는 반면에 F2는 모음의 후설성을 충분히 설명해 주지 못하는데 이는 F2는 모음의 후설성 뿐만 아니라 입술의 원순성 정도와 입술의 돌출 정도에도 영향을 받기 때문이다. 이 경우, F1과 F2 차의 절대값($\Delta[F2-F1]$)이나 모음 공간 안에서의 모음 간 유클리드 거리로 모음의 후설성 정도를 잘 설명할 수 있다 (Ladefoged, 2001; 성철재, 2004).

청각장애인들은 정상청력인과 달리 모음의 중앙화가 나타나거나 과조음이 나타난다(오영자 외, 2000; 최은아, 2010). 이러한 청각장애인들의 모음 조음 특성을 살펴보기 위해 본 연구에서는 F1, F2와 함께 모음 간 유클리드 거리, 그리고 F1_F2 모음 음향공간의 /이/, /아/, /우/가 이루는 삼각형 면적을 분석하였다. 이 세 모음은 범언어적으로 모음 공간의 각 모서리를 형성한다는 데서 의의가 있다. 이를 통해 심도 청각장애 성인의 모음 조음특성을 좀 더 면밀하게 살펴보고자 한다.

2. 연구방법³⁾

2.1 연구 대상

본 연구의 대상자는 18세~23세의 청각장애 성인 20명(평균

3) 본 연구의 대상자와 자료수집 방법은 최은아(2010)와 동일하다.

연령 19세9개월)과 정상청력 성인 20명(평균 연령 22세)으로 모두 대전, 충청권에 거주하였다. 청각장애 성인 대상자는 모두 선천성 심도 청각장애인으로 보청기를 착용하였으며 대부분 구화로 의사소통을 하였고 평균 청력은 보청기를 착용하지 않은 상태에서는 약 93.5 dB, 보청기를 착용한 상태에서는 약 56 dB 였다. 청각장애(HL: hearing loss) 성인의 경우 조음검사 결과 /아, 어, 오, 우, 으, 이, 애, 예, 외, 위/ 등 10개 모음에 대해 모음 정확도가 90 % 이상으로 몇몇 대상자가 /위/를 /이/로 단모음화하는 것을 제외하고 단모음은 모두 정조음하였다. 정상청력(NH: normal hearing) 성인의 경우 청력 검사나 언어 평가를 실시하지는 않았으나 본인이 청력에 이상이 없다고 보고하였고, 연구자 중 1 명이 언어와 말에 문제가 없는 것으로 판단한 성인들이었다. 청각장애 성인 대상자에 대한 자세한 정보는 <표 1>에 제시되어 있다.

표 1. 청각장애 성인 정보
Table 1. Information of Hearing Impaired Subjects

ID	성별	연령	청력(dB)		장애진단 시기(만)	
			교정 전	교정 후		
1	SBM	f	18	약 95	약 55	2세
2	KSM	f	18	약 100	약 70	3세
3	KJ	m	18	약 90	약 60	3세
4	PMK	m	18	약 90	약 45	1세
5	SJY	f	19	약 90	약 45	1세
6	JHW	f	19	약 100	약 70	4세
7	LWJ	m	19	약 95	약 65	1세
8	NBE	f	19	약 90	약 45	2세
9	JMJ	m	20	약 90	약 50	3세
10	BRH	m	20	약 95	약 55	2세
11	KIS	m	20	약 95	약 60	3세
12	LJW	m	20	약 90	약 55	2세
13	HKJ	f	20	약 90	약 50	3세
14	NYO	m	20	약 95	약 60	4세
15	PCH	m	21	약 90	약 50	4세
16	BJ	f	21	약 100	약 60	3세
17	SSY	f	19	약 90	약 50	1세
18	CIH	m	21	약 95	약 55	2세
19	JSH	f	22	약 100	약 70	3세
20	EHJ	f	17	약 90	약 50	1세
평균				93.5	56	2.4

2.2 자료 수집

대상자들은 조용한 치료실에서 NasalView system(Tiger DRS, Inc., Seattle, WA, 1998) 헤드마이크를 착용하고 /이, 애, 아, 어, 오, 우, 으/ 7개 모음을 무작위로 5회씩 반복하여 만든 모음 카드를 읽었으며 읽는 동안 NasalView로 녹음하고 저장하였다. 저장된 음성의 표본추출률은 22,050 Hz였고 양자화는 16 bit로 하였다.

2.3 자료 분석

두 채널로 녹음된 음성을 Praat(2010, version 5.2.03,

Netherlands)을 이용하여 모노(mono)로 변환한 후 모음의 안정 구간 200msec를 취하여 F1과 F2를 구하였다(window length = 50 ms, step size = 25 ms). Praat의 기본값(default) 설정에 따르면 성별과 연령에 따라 포먼트 주파수 상한값을 다르게 설정하는 것으로 되어 있다. Praat은 보통 5000 Hz 이하에서 주요 5개의 포먼트를 계산하는 것을 표준으로 삼고 있는데 남성 화자의 경우 1000 Hz마다 하나의 포먼트가 나타난다고 가정하며 여성의 경우 성도가 남성보다 짧아 다섯 번째 포먼트가 5000 Hz보다 더 높고 아동의 경우는 그보다도 더 높다고 가정하기 때문이다. 본 연구에서는 이를 반영하여 F0 평균값이 150 Hz 이하이면 포먼트 상한값을 5000 Hz로 설정하였고 150~225 Hz일 경우 5500 Hz로 설정하였으며 그 이상일 경우 6000 Hz로 설정하였다(최은아·박한상·성철재, 2010).

본 연구에서 측정한 유클리드 거리(Euclidean Distance)는 2, 3차원에서 좌표를 이루는 두 점 사이의 거리를 일컫는 것으로 2차원 공간에서 좌표 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 가 있을 때, 유클리드 거리 $= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ 으로 정의된다. 한국어 단모음으로 구성된 모음 음향공간에서 두 모음의 F1, F2 값을 이용한 유클리드 거리 측정 연구 방법론은 성철재(2005)를 참고하였다.

모음 음향공간에서 /이, 아, 우/가 이루는 삼각형의 면적(vowel triangular area: VTA)은 식 (1)과 같다(헤론의 공식). (1)에서 a, b, c는 모음 음향공간에서 세 모음점(즉 /이, 아, 우/ 각 모음의 F1, F2로 형성되는 좌표점)이 만나서 형성하는 삼각형의 세 변의 길이(유클리드 거리)를 의미한다. 모음 삼각형을 이루는 세 변의 유클리드 길이를 모두 더한 뒤 그 값을 2로 나눈 값 p를 알면 아래 공식을 이용하여 그 면적을 구할 수 있다(Neel, 2008).

$$vowel\ triangular\ area = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

$$p = \frac{(a+b+c)}{2} \tag{1}$$

3. 연구 결과

3.1 F1과 F2

장애, 성별, 모음에 대해 집단 간 F1과 F2 평균이 <표 2>에 제시되어 있다. <표 2>에서 제시된 장애, 성별, 모음에 따른 F1과 F2의 차이가 통계적으로 유의미한지 알아보기 위하여 F1과 F2를 종속변수로 하고 장애, 성별, 모음을 독립변수로 하여 일변량삼원분산분석(3-way ANOVA)을 실시하였다. 유의수준은 0.05였으며 Tukey's HSD를 이용하여 사후 분석(post-hoc)을 실시하였다. 그 결과가 <표 3>에 제시되어 있다.

<표 3>에 나타나 있듯이 F1에 대한 주효과 분석 결과 장애, 성별, 모음에 대하여 집단 간에 유의미한 차이가 있었다. 첫째,

청각장애 성인의 F1(495.48 Hz)이 정상청력 성인의 F1(481.89 Hz)보다 높았다. 둘째, 여성(512.40 Hz)이 남성(464.97 Hz)보다 F1이 유의미하게 높았다. 셋째, 모음 중에서는 /아/모음이 600.36 Hz로 가장 높았고, /이/ 모음이 348.57 Hz로 가장 낮았다. 성별에 따른 장애와 모음 별 F1 평균값이 <그림 1>과 <그림 2>에 제시되어 있다.

표 2. 장애, 성별, 모음 별 F1과 F2의 평균과 표준편차
Table 2. Mean and standard deviation of F1 and F2 across handicap, gender, and vowels

장애	성별	모음	N	F1		F2	
				평균	SD	평균	SD
NH	남	이	50	281.08	34.84	2109.86	181.16
		애	50	483.56	42.27	1840.24	148.74
		아	50	697.94	106.66	1249.58	94.97
		어	50	563.38	63.66	979.96	63.32
		오	50	416.76	58.96	766.72	100.69
		우	50	358.48	44.09	901.16	260.07
		으	50	359.40	31.48	1416.12	141.08
	합계	350	451.51	144.63	1323.38	488.87	
	여	이	50	336.30	37.24	1777.50	481.80
		애	50	534.86	55.21	1572.60	377.84
		아	50	829.26	135.48	1369.52	183.19
		어	50	646.08	64.45	1042.74	84.40
		오	50	420.70	38.90	793.52	114.71
		우	50	401.44	34.04	1010.78	213.22
으		50	417.20	37.61	1403.46	242.04	
합계	350	512.26	173.44	1281.45	422.15		
HL	남	이	50	361.84	110.17	1656.50	282.81
		애	50	503.22	148.40	1551.90	199.87
		아	50	669.48	184.71	1338.86	113.73
		어	50	573.28	160.20	1179.86	168.54
		오	50	462.42	167.89	1157.16	349.69
		우	50	412.28	227.84	1313.96	306.10
		으	50	366.42	135.11	1423.42	169.08
	합계	350	478.42	194.97	1374.52	293.47	
	여	이	50	415.04	137.66	1738.08	455.85
		애	50	529.48	120.21	1500.64	359.96
		아	50	707.14	183.20	1422.18	193.12
		어	50	618.72	164.87	1276.50	224.26
		오	50	461.00	94.85	1220.90	253.96
		우	50	405.46	66.09	1325.26	284.38
으		50	450.88	131.86	1537.10	309.10	
합계	350	512.53	168.96	1431.52	347.37		

(단위는 Hz)

표 3. F1과 F2의 ANOVA 검정 결과
Table 3. ANOVA results of F1과 F2

주효과 또는 교호 작용	자유도	F	
		F1	F2
장애	1	4.850*	56.042**
성별	1	59.095**	.314
모음	6	271.091**	280.968**
장애 * 성별	1	4.660*	13.547**
장애 * 모음	6	8.732**	49.927**
성별 * 모음	6	3.331**	8.659**
장애 * 성별 * 모음	6	1.414	5.903**
오차	1372/1400		

*. p<.05, **. p<.01 수준에서 유의함.

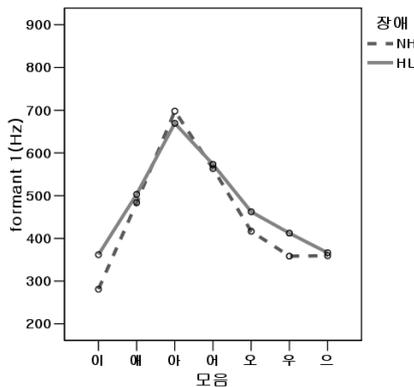


그림 1. 남성의 장애와 모음에 따른 F1의 추정된 주변평균
Figure 2. Estimated marginal mean of male F1 across handicap and vowel

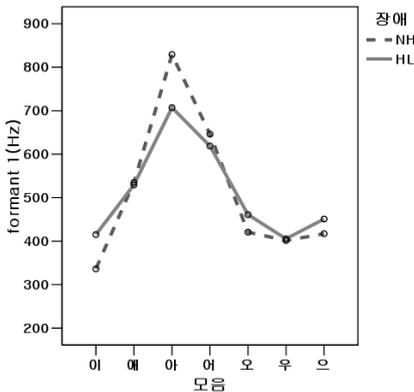


그림 2. 여성의 장애와 모음에 따른 F1의 추정된 주변평균
Figure 2. Estimated marginal mean of female F1 across handicap and vowel

<그림 1>과 <그림 2>는 남성과 여성 각각에 대한 장애와 모음에 따른 F1의 평균값으로 남성의 경우 /아/의 F1 값은 정상청력 남성이 청각장애 남성보다 더 높았으나 그 외의 모음에서는 청각장애 남성의 F1 값이 정상청력 남성의 F1 값보다 더 높았다.

F1에 대한 ANOVA 분석 결과 F1은 장애와 성별, 장애와 모음, 성별과 모음 사이에 상호작용이 있었다. 장애와 성별, 장애

와 모음, 성별과 모음 사이의 상호작용의 원인을 알 수 있는 F1의 추정된 주변평균이 <그림 1>~<그림 3>에 제시되어 있다.

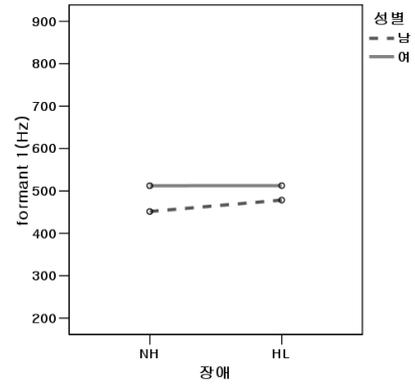


그림 3. 장애와 성별에 따른 F1의 추정된 주변평균
Figure 3. Estimated marginal mean of F1 across handicap and gender

<그림 3>의 장애와 성별에 따른 F1 값의 비교에서 볼 수 있듯이 여성이 남성보다 F1 값이 높았고, 청각장애 여성과 정상청력 여성 사이의 F1 값의 차이에 비해 청각장애 남성과 정상청력 남성 사이의 F1 값의 차이가 더 컸다.

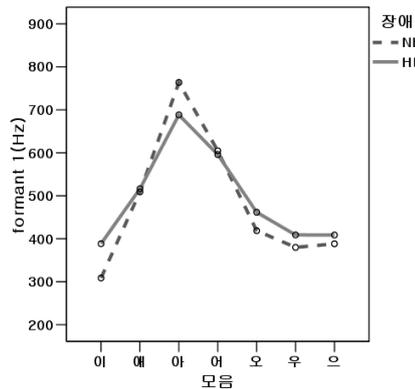


그림 4. 장애와 모음에 따른 F1의 추정된 주변평균
Figure 4. Estimated marginal mean of F1 across handicap and vowel

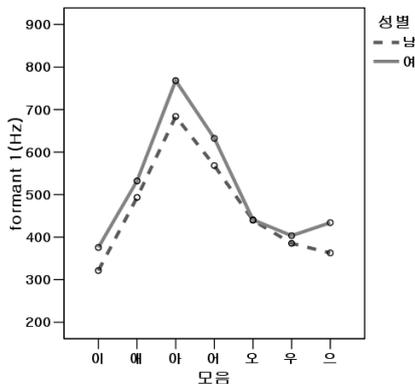


그림 5. 성별과 모음에 따른 F1의 추정된 주변평균
Figure 5. Estimated marginal mean of F1 across gender and vowel

<그림 4>의 장애에 따른 모음 별 F1 값을 보면 /아/와 /어/ 모음의 F1 값은 정상청력 성인이 더 높았으며 그 외의 모음의 F1값은 청각장애 성인이 더 높았다.

<그림 5>의 성별에 따른 모음의 F1 값을 보면 /오/ 모음의 F1 값만 여성이 남성보다 높았고 그 외 모음들의 F1은 모두 남성이 더 높았으며 모음 별 F1 값의 차이가 모두 달랐다.

이러한 장애 별, 성별, 모음 별 F1 값의 차이가 장애와 성별, 장애와 모음, 성별과 모음 사이의 상호 작용의 원인으로 보인다. 모음 간 F1 값에 대한 사후분석 결과가 <표 4>에 제시되어 있다.

표 4. F1의 다중비교 결과
Table 4. Results of Tukey's HSD for F1

모음	N	집단군					
		1	2	3	4	5	6
이	200	348.57					
우	200		394.42				
으	200		398.47				
오	200			440.22			
애	200				512.78		
어	200					600.36	
아	200						725.96
유의 확률		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

그리고 <표 3>에 나타나 있듯이 F2에 대한 주효과 분석 결과 F2는 장애, 모음에 대해 집단 간 유의미한 차이가 있었다. 첫째, 청각장애 성인의 F2 값(1403.02 Hz)이 정상청력 성인의 F2 값(1302.41 Hz)보다 높았다. 둘째, 모음 중에서는 /이/ 모음의 F2 값이 1820.48 Hz로 가장 높았고, /오/ 모음의 F2 값이 984.58 Hz로 가장 낮았다.

F2에 대한 ANOVA 분석 결과 F2는 장애와 성별, 장애와 모음, 성별과 모음, 장애와 성별과 모음 사이에 상호 작용이 있었다. 장애와 성별, 장애와 모음, 성별과 모음, 장애와 성별과 모음 사이의 상호 작용의 원인을 알 수 있는 F2의 추정된 주변평균이 <그림 6>~<그림 10>에 제시되어 있다.

<그림 6>의 장애와 성별에 따른 F2 값의 비교에서 정상청력 성인의 경우에는 남성의 F2 값이 여성의 F2 값보다 높았으나 청각장애 성인의 경우에는 여성의 F2 값이 남성의 F2 값보다 높았다. 그리고 <그림 7>의 장애에 따른 모음 별 F2 값을 보면 /이/와 /애/ 모음의 F2 값은 정상청력 성인이 더 높았고 그 외 모음의 F2 값은 청각장애 성인이 더 높았으며 모음 별로 정상청력 성인과 청각장애 성인의 차이가 모두 달랐다. <그림 8>의 성별에 따른 모음의 F2 값에서 /이/, /애/ 모음의 F2 값은 남성이 여성보다 높았고 그 외 모음들의 F2 값은 모두 여성이 더 높았으며 모음 별 F2 값의 차이가 모두 달랐다. <그림 9>와

<그림 10>은 장애와 성별과 모음에 대한 상호작용을 살펴보기 위해 남성과 여성을 따로 나눠 살펴본 것이다. <그림 9>은 남성의 장애와 모음에 따른 평균으로 /오/ 모음의 F2 값은 청각장애에 남성이 정상청력 남성보다 높았으나 큰 차이는 보이지 않았으며 /이/, /애/ 모음의 F2 값은 정상청력 남성이, 그 외 나머지

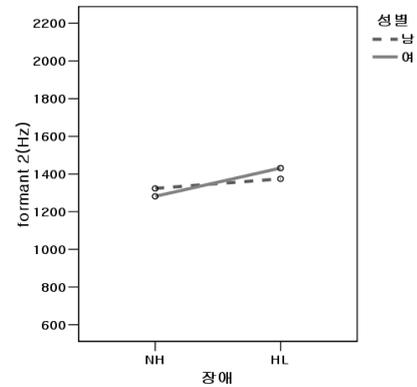


그림 6. 장애와 성별에 따른 F2의 추정된 주변평균
Figure 6. Estimated marginal mean of F2 across handicap and gender

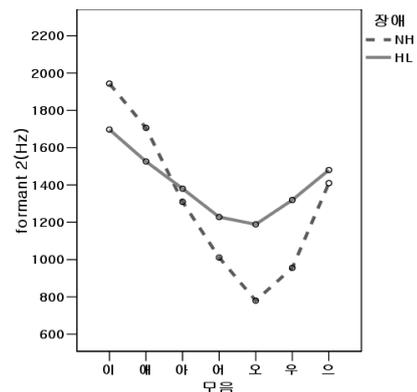


그림 7. 장애와 모음에 따른 F2의 추정된 주변평균
Figure 7. Estimated marginal mean of F2 across handicap and vowel

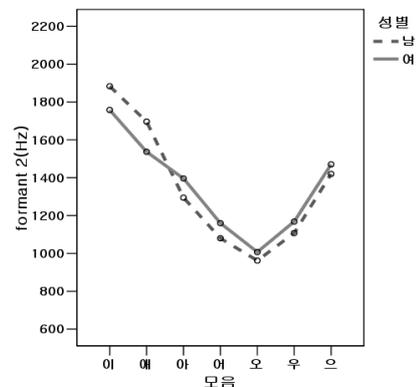


그림 8. 성별과 모음에 따른 F2의 추정된 주변평균
Figure 8. Estimated marginal mean of F2 across gender and vowel

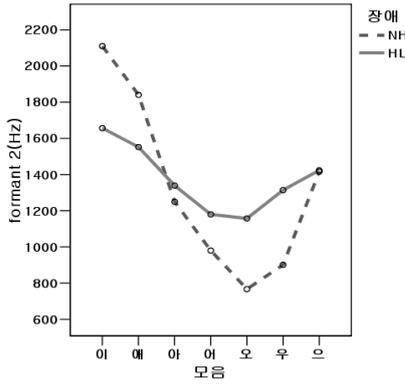


그림 9. 남성의 장애와 모음에 따른 F2의 추정된 주변평균
Figure 9. Estimated marginal mean of male F2 across handicap and vowel

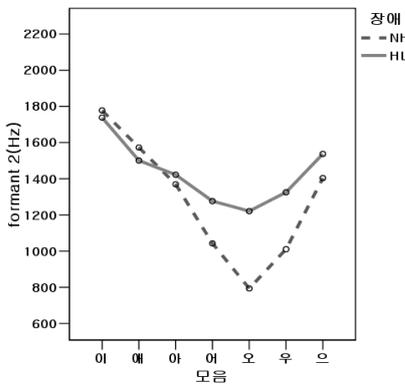


그림 10. 여성의 장애와 모음에 따른 F2의 추정된 주변평균
Figure 10. Estimated marginal mean of female F2 across handicap and vowel

표 5. F2의 다중비교 결과

Table 5. Results of Tukey's HSD for F2

모음	N	집단군					
		1	2	3	4	5	6
오	200	984.58					
어	200		1119.77				
우	200			1137.79			
아	200				1345.04		
으	200					1445.03	
애	200						1616.35
이	200						1820.48
유의 확률		1.000	.992	1.000	1.000	1.000	1.000

모음의 F2 값은 청각장애 남성이 더 높았고 그 차이도 컸다. <그림 10>은 여성의 장애와 모음에 따른 평균으로 /이/, /애/ 모음의 F2 값은 정상청력 여성이 청각장애 여성 높았으나 큰 차이는 보이지 않았으며 그 외 나머지 모음의 F2 값은 청각장애 여성이 더 높았고 그 차이도 컸다. 이러한 장애별, 성별, 모음별 F1 값의 차이가 장애와 성별, 장애와 모음, 성별과 모음 사

이의 상호 작용의 원인으로 보인다. 모음 간 F2 값에 대한 사후 분석 결과가 <표 5>에 제시되어 있다.

3.2 모음 간 유클리드 거리

장애, 성별에 대해 i_a 모음 간 거리, a_u 모음 간 거리, i_u 모음 간 거리 평균이 <표 6>에 제시되어 있다.

표 6. 모음 간 유클리드 거리의 평균과 표준편차

Table 6. Mean and standard deviation of euclidean distance across handicap and gender

유클리드 거리	장애	성별	N	평균	표준편차
i-a	NH	남	50	970.78	136.884
		여	50	762.10	332.034
	HL	남	50	495.58	323.660
		여	50	639.94	318.595
a-u	NH	남	50	538.24	143.123
		여	50	603.88	227.779
	HL	남	50	417.62	200.304
		여	50	442.52	188.601
i-u	NH	남	50	1228.78	247.508
		여	50	809.78	522.538
	HL	남	50	509.88	385.899
		여	50	564.58	330.804

(단위는 Hz)

<표 6>에서 제시된 장애, 성별에 따른 i_a 모음 간 거리, a_u 모음 간 거리, i_u 모음 간 거리의 차이가 통계적으로 유의미한 지 알아보기 위하여 i_a 모음 간 거리, a_u 모음 간 거리, i_u 모음 간 거리를 종속변수로 하고 장애, 성별을 독립변수로 하여 일변량이원분산분석(2-way ANOVA)을 실시하였다. 유의수준은 0.05였으며 Tukey's HSD를 이용하여 사후 분석을 실시하였다. 그 결과가 <표 7>에 제시되어 있다.

표 7. 모음 간 유클리드 거리에 대한 ANOVA 검정 결과

Table 7. ANOVA results of euclidean distance between vowels

	종속변수	자유도	F
장애	i-a의 거리	1	53.221**
	a-u의 거리	1	26.852**
	i-u의 거리	1	78.417**
성별	i-a의 거리	1	.617
	a-u의 거리	1	2.768
	i-u의 거리	1	11.197**
장애 * 성별	i-a의 거리	1	18.589**
	i-u의 거리	1	18.931**
오차		196	

<표 7>에 나타나 있듯이 모음 간 거리에 대한 주효과 분석 결과 i_a 모음 간 거리, a_u 모음 간 거리, i_u 모음 간 거리 모두 장애에 대해 집단 간 유의미한 차이가 있었으며 i_u 모음 간 거리는 성별에 대해 집단 간 유의미한 차이가 있었다. 첫째, 청각장애 성인의 i_a 모음 간 거리(567.76 Hz)가 정상청력 성인(866.44 Hz)보다 짧았고, a_u 모음 간 거리는 청각장애 성인이 430.07 Hz로 정상청력 성인이 571.06 Hz인 것에 비해 짧았다. 그리고 i_u 모음 간 거리는 청각장애 성인이 537.23 Hz, 정상청력 성인이 1019.28 Hz로 역시 청각장애 성인이 정상청력 성인에 비해 짧았다. 둘째, 모음 간 거리 중 모음 중 i_u 모음 간 거리는 성별에 따른 차이를 보였는데 여성이 687.18 Hz로 869.33 Hz인 남성에게 비해 짧았다.

모음 간 거리에 대한 ANOVA 분석 결과 i_a 모음 간 거리와 i_u 모음 간 거리는 장애와 성별 사이에 상호 작용이 있었다. 장애와 성별 사이의 상호 작용의 원인을 알 수 있는 i_a 모음 간 거리와 i_u 모음 간 거리의 추정된 주변평균이 <그림 9>와 <그림 10>에 제시되어 있다.

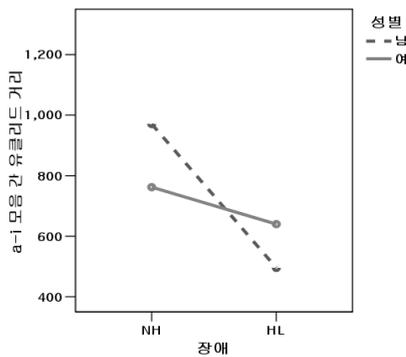


그림 11. a_i 모음 간 유클리드 거리의 추정된 주변평균

Figure 9. Estimated marginal mean of euclidean distance between /a/ and /i/ across handicap and gender

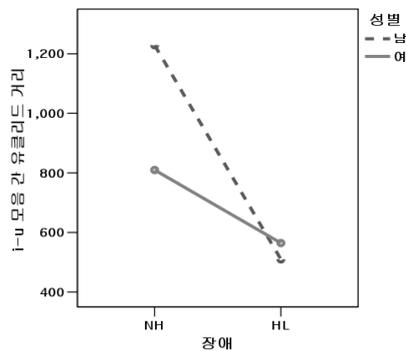


그림 12. i_u 모음 간 유클리드 거리의 추정된 주변평균
Figure 10. Estimated marginal mean of euclidean distance between /i/ and /u/ across handicap and gender

<그림 9>에서 볼 수 있는 바와 같이 정상청력 성인이 청각

장애 성인에 비해 i_a 모음 간 거리가 길었으며 그 차이가 컸다. 정상청력 성인 중에서는 남성이 여성에 비해 더 길었으나 청각장애 성인 중에서는 여성이 남성에게 비해 길었고 남성과 여성의 i_a 모음 간 거리의 차이가 컸다. <그림 10>에 의하면 i_a 모음 간 거리와 마찬가지로 i_u 모음 간 거리 역시 정상청력 성인이 청각장애 성인에 비해 길었으며 집단 간 차이가 컸다. 그리고 정상청력 성인의 경우 남성이 여성보다 더 길고 성별에 따른 차이도 컸으나, 청각장애 성인의 경우에는 여성이 남성보다 더 길었고 성별에 따른 차이가 정상청력 성인에 비해 작았다. 이러한 장애와 성별에 따른 모음 간 거리의 차이가 상호작용의 원인으로 보인다.

3.3 모음 음향공간의 면적

장애, 성별에 대해 모음의 음향공간 면적(VTA)의 평균이 <표 8>에 제시되어 있다.

표 8. 모음의 음향공간 면적 평균 및 표준편차

Table 8. Mean and standard deviation of acoustic vowel space area across handicap and gender

장애	성별	N	평균	표준편차
NH	남	50	224830.64	80518.52
	여	50	189662.42	138933.71
	합	100	207246.53	114345.96
HL	남	50	87512.52	94272.99
	여	50	82080.42	91896.63
	합	100	84796.47	92661.25

(단위는 Hz²)

<표 8>에서 제시된 장애, 성별에 따른 모음의 음향공간 면적의 차이가 통계적으로 유의미한지 알아보기 위하여 모음의 음향공간 면적을 종속변수로 하고 장애, 성별을 독립변수로 하여 일변량이원분산분석(2-way ANOVA)을 실시하였다. 유의수준은 0.05였으며 Tukey's HSD를 이용하여 사후 분석을 실시하였다. 그 결과가 <표 9>에 제시되어 있다.

표 9. 모음의 음향공간 면적에 대한 ANOVA 결과

Table 9. Results of Tukey's HSD for acoustic vowel space area

	자유도	F
장애	1	69.548**
성별	1	1.911
장애 * 성별	1	1.025
오차	196	

*. p<.05, **. p<.01 수준에서 유의함.

<표 9>에 나타나 있듯이 모음의 음향공간에 대한 주효과 분석 결과 장애에 대해 집단 간 유의미한 차이가 있었다. 청각장

에 성인의 모음의 음향공간 면적은 84796.47 Hz²인 반면에 정상청력 성인의 모음의 음향공간 면적은 207246.53 Hz²으로 청각장애 성인의 모음 음향공간 면적이 유의미하게 좁았다. 장애와 성별에 따른 각 모음의 유클리드 거리와 모음 음향공간 면적의 추정된 주변평균이 <그림 11>과 <그림 12>에 각각 제시되어 있다.

4. 토론 및 결론

본 연구에서는 Praat을 이용하여 심도 청각장애 성인의 F1, F2, 모음 간 유클리드 거리, 모음 음향공간의 면적 등을 분석하였고, 정상청력 성인과 어떤 차이가 있는지 살펴보았다.

연구 결과는 다음과 같다. 첫째, F1 분석 결과 청각장애 성인이 정상청력 성인보다 F1 값이 컸으며 여성이 남성보다 F1 값이 유의미하게 컸다. 그리고 모음 중에서는 /아/모음의 F1 값이 가장 컸고, /이/ 모음의 F1 값이 가장 작았다. 그리고 F2는 청각장애 성인의 F2 값이 정상청력 성인의 F2 값보다 컸으며 여성과 남성 사이의 차이는 거의 없었다. 그리고 모음 중에서는 /이/모음의 F2 값이 가장 컸고, /오/ 모음의 F2 값이 가장 작았다.

둘째, 모음 간 유클리드 거리 분석결과 i_a 모음 간 거리, a_u 모음 간 거리, i_u 모음 간 거리 모두 장애에 대해 집단 간 유의미한 차이가 있었는데 /a/, /i/, /u/ 모음들 사이의 거리 모두 청각장애 성인이 정상청력 성인보다 짧았다. 이 중 i_u 모음 간 거리는 성별에 대해서도 집단 간 유의미한 차이를 보여 여성이 남성에 비해 i_u 모음 간 거리가 짧았다.

셋째, /이, 아, 우/ 세 모음으로 구성되는 모음 음향공간의 삼각형 면적 분석결과 청각장애 성인이 정상청력 성인보다 유의미하게 좁았다. 그리고 정상청력 성인의 경우 남성의 음향공간이 여성에 비해 유의미하게 넓었다. 청각장애 성인의 경우에도 남성이 여성에 비해 음향공간이 넓으나 성별에 따른 차이는 크지 않았다.

본 연구 결과에서 포먼트 값은 모음에 따라, 그리고 장애에 따라 다른 것으로 나타났다. 7개 모음 각각에 대해 장애별로 살펴보면 /아/와 /어/ 모음의 F1 값은 정상청력 성인이 더 컸으며 그 외의 모음의 F1 값은 청각장애 성인이 더 컸다. /아/ 모음의 F1 값의 경우 정상청력 성인에 비해 청각장애 성인이 현저히 작았으며 /이/, /오/, /우/ 모음의 F1 값은 정상청력 성인에 비해 청각장애 성인이 현저히 컸다. 그리고 모음 별로 청각장애 성인과 정상청력 성인의 F2 값을 비교해 보면 /이/와 /애/ 모음의 F2 값은 정상청력 성인에 비해 청각장애 성인이 현저히 작은 반면에 그 외 모음의 F2 값은 청각장애 성인이 정상청력 성인에 비해 현저히 컸다. 선행연구에서 밝혀진 바와 같이 청각장애인은 정상청력인에 비해 구강의 공간을 적절하게 활용하지 못하여 저모음은 정상청력인에 비해 다소 높은 위치에서, 고모음은 다소 낮은 위치에서 조음하며, 전설모음은 정상청력인에 비해 다소 뒤쪽에서, 후설모음은 다소 앞쪽에서 조음하고 있었다(오영자 외, 2000; 허명진 외, 2005; 허명진 외, 2007; 최은아, 2010).

하지만 앞서 밝힌 바와 같이 F2 값만으로는 조음 시 혀의 전후 위치를 분명히 알 수 없는데 F2는 혀의 전, 후방성 뿐만 아니라 입술의 원순성이나 돌출 정도 등 방출 특성도 포함되기 때문이다. 그러므로 모음의 후설성을 좀 더 명확히 살펴보기 위

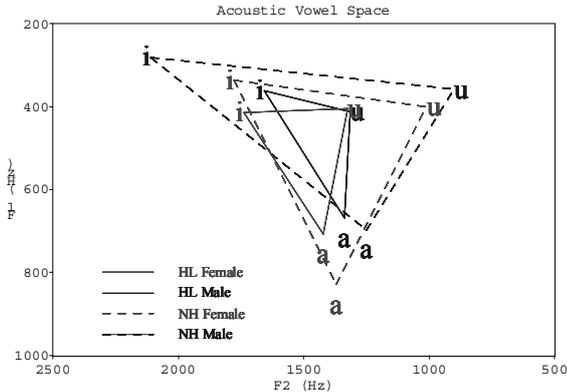


그림 13. 장애 및 성별에 따른 모음 간 유클리드 거리
Figure 11. Euclidean distance Between vowels across handicap and gender

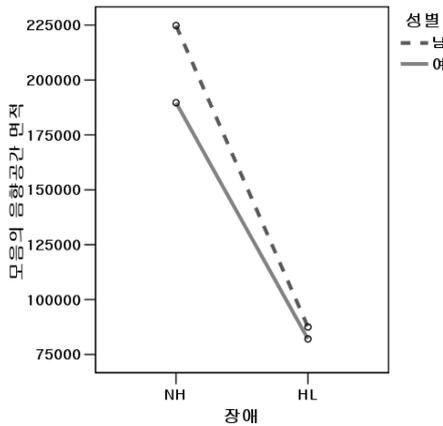


그림 14. 장애와 성별에 따른 모음 음향공간의 추정된 주변평균
Figure 11. Estimated marginal mean of acoustic vowel space across handicap and gender

<그림 11>과 <그림 12>에서 볼 수 있는 바와 같이 정상청력 성인과 청각장애 성인 모두 남성이 여성보다 모음의 음향공간 면적이 넓었다. 그리고 정상청력 성인이 청각장애 성인에 비해 모음 음향공간이 유의미하게 넓었으며 정상청력 성인은 남성과 여성의 차이가 컸으나 청각장애 성인은 남성과 여성의 차이가 적었다.

해 모음 간 유클리드 거리를 산출하여 비교한 결과 i_a 모음 간 거리, a_u 모음 간 거리, i_u 모음 간 거리 모두 청각장애 성인이 정상청력 성인에 비해 짧은 것으로 나타났다. 장애와 성별에 따라 모음별로 나눠 살펴보면 /i/ 모음의 경우 F1/F2 비율이 정상청력 남성>정상청력 여성>청각장애 여성>청각장애 남성 순으로 나타났다. F1/F2 비율이 높을수록 전설성이 강한 것이므로 정상청력 남성의 /i/가 가장 전설성이 강했으며 반면에 청각장애 남성의 /i/가 가장 후설성이 강하다고 볼 수 있다. /u/와 /a/ 모음의 경우에는 F1/F2 비율이 청각장애 남성<청각장애 여성> 정상청력 여성>정상청력 남성 순으로 나타나 청각장애 남성과 여성의 경우 /u/와 /a/ 모음 모두 전설성이 강했고, 정상청력 남성은 다른 집단에 비해 후설성이 강했다.

심도 청각장애인이더라도 단모음은 대부분 정조음할 수 있다. 하지만 정상청력인들이 발성한 모음과는 다소 차이가 있다. 이는 각 모음의 조음위치가 정상청력인들과는 다르기 때문이다. 본 연구의 대상자들은 청지각적으로 평가하였을 때 최소한 단모음 7개는 정확하게 조음할 수 있었다. 주요 세 모음 간 유클리드 거리는 정상청력 성인보다 더 짧았고, 그들이 이루는 삼각형 면적이 더 좁아 정상청력 성인과는 다른 양상을 보였다. 본 연구에서는 포먼트 값을 제시할 뿐만 아니라 모음 간 유클리드 거리, 유클리드 거리를 이용한 모음 음향공간의 면적(VTA)을 추가로 분석하였으며 이를 통해 청각장애 성인이 정상청력 성인보다 전설모음은 후방화되고, 후설모음은 전방화됨을 분명하게 확인할 수 있었다. 본 연구에서 살펴본 변수들이 아동의 경우에도 잘 적용될 수 있을지, 청력수준에 따라서는 어떻게 다르게 나타나는지, 문장 안에서의 포먼트 주파수도 동일한 양상을 보이는지에 대한 후속 연구가 남아 있다. 이 변수들을 치료에 적용하여 청각장애인들의 음성을 개선시킬 수 있는 프로그램 개발이 요구된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 충남대학교 해외교수파견 지원금의 보조를 받아 연구되었습니다.

참고문헌

Campisi, P., Low, A., Papsin, B., Mount, R., Cohen K., R. & Harrison, R. (2005). "Acoustic analysis of the voice pediatric cochlear implant recipients: A longitudinal study", *The Laryngoscope*, Vol. 115, pp. 1046-1050.

Cerçi U., Kandoğan T., Olgun L., Gültekin G. & Alper S. (2006). "The effect of cochlear implantation on voice development",

Journal of Ear, Nose, and Throat, Vol. 16, No. 3, pp. 112-21.

Chiba, T. & Kajiyama, M. (1941), *The Vowel: Its nature and structure*, Tokyo: Kaiseiken.

Choi, E. A. (2010). "The acoustic characteristics on the speech of profound hearing-impaired adults and children", Ph.D. dissertation, Chungnam National University.

(최은아, (2010). "심도 청각장애 아동과 성인 음성의 음향음성학적 특성 연구", 충남대학교 대학원 박사학위논문).

Choi, E. A., Park, H. S. & Seong, C. J. (2010). "The phonatory characteristics of voice in profoundly hearing-impaired children: with reference to F0, intensity and their perturbation", *Phonetics and Speech Science*, Vol. 2, No. 1, pp. 135-145.

(최은아, 박한상, 성철재, (2010). "심도 청각장애 아동의 발성특성: 강도, 음도 및 그 변동률을 중심으로", 말소리와 음성과학, 제 2권, 제 1호, pp. 135-145).

Eberhard, S., Monica, O., Ulrike, B., Mattheus, V., Martin, K., & Rudolf, H. (2002) "Changes of voice and articulation in children with cochlear implants", *International Journal of Otorhinolaryngology*, Vol. 66, pp. 115-123.

Hur, M. J., Lee, S. H. & Choi, S. K. (2005). "The Study for /i/ Formant Change of Hearing Impaired Children with Cochlear Implantation", *Korean journal of speech sciences*, Vol. 12, No. 2, pp. 73-80.

(허명진, 이상훈, 최성규, (2005). "청각장애 아동의 인공와우 착용기간에 따른 모음 /i/ 음형대의 변화 연구", 음성과학, 제 12권, 제 2호, pp. 73-80.)

Hur, M. J., Choi, S. K. & Lee, S. H. (2007). "The phonetical change by auditory feedback for congenital profoundly hearing impaired children: in point of vowels", *The Journal of Special Education*, Vol. 41, No. 4, pp. 21-35.

(허명진, 최성규, 이상훈, (2007). "인공와우 착용기간에 따른 청각장애아동의 모음 산출 특성 분석", 특수교육학연구, 제 41권, 제 4호, pp. 21-35.)

Johnson K., Flemming, E. & Wright, R. (2004). "Letters to language", *language* Vol. 80, No. 4, pp. 645-650.

Kent, R. D. & Read, C. (2002). *The acoustic analysis of speech*, San Diego: Singular Publishing Group.

Kim, G. E. & Ko, D. H. (2007). "Acoustic Characteristics of Some Vowels Produced by the CI Children of Various Age Groups", *Korean journal of speech sciences*, Vol. 14, No. 4, pp. 203-212.

(김고은, 고도홍, (2007). "인공와우 이식 시기에 따른 모음의 음향음성학적 특성", 음성과학, 제 14권, 제 4호, pp. 203-212.)

Ladefoged, P. (2001) *A Course in Phonetics(4th ed.)*, Hartcourt.

NasalView system (1998). Tiger DRS, Inc., Seattle, WA.

Neel, A. T. (2008). "Vowel space characteristics and vowel

- identification accuracy", *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, Vol. 51, pp. 574-585.
- Owens, R. E. (2001). *Language Development: An Introduction(5th ed.)*, Cambridge, MA: Allyn and Bacon.
- O, Y. J., Ji, M. J. & Kim, Y. T. (2000). "Acoustic Comparisons of Vowel and Plosive Productions between the Normal and the Hearing-Impaired Children", *Korean journal of speech sciences*, Vol. 7, No. 2, pp. 51-70.
(오영자, 지민제, 김영태, (2000). "청각장애아동과 건청아동의 모음 및 파열음 산출의 음향음성학적 특성 비교", *음성과학*, 제 7권, 제 2호, pp. 51-70.)
- Boersma, Paul & Weenink, David (2010). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 5.2.03, retrieved 19 November 2010 from <http://www.praat.org/>
- Seong, C. J. (2004). "A Formant Analysis of the Korean Monophthongs of the College Students Speaking Chungnam Dialect", *Journal of Acoustic Society of Korea*, Vol. 23, No. 6, pp. 454-461.
(성철재, (2004). "한국어 단모음 8개에 대한 음향분석: F1/F2 모음 공간에서의 음향변수를 중심으로", *한국음향학회지* 제 23권, 제 6호, pp. 454-461.)
- Seong, C. J. (2005). "A Formant Analysis of the Korean Monophthongs of the College Students Speaking Chungnam Dialect", *Language*, Vol. 43, pp. 189-213.
(성철재, (2005). "충남지역 대학생들의 한국어 단모음 포먼트 분석", *언어학*, 제 43권, pp. 189-213.)
- Yang, B. G. (1998). "A Study on Vowel Formant Variation by Vocal Tract Modification", *Korean journal of speech sciences*, Vol. 3, pp. 83-92.
(양병곤, (1998). "성도 변형에 따른 모음 포먼트의 변화 고찰", *음성과학*, 3권, pp. 83-92.)
- Yoon, M. S.(1994). "The characteristics of hearing-impaired children's speech, language, psychology and behavior", *Audiology for Speech Therapist*, Seoul: Goonja Press.
(윤미선, (1994). "난청 아동의 말소리, 언어, 심리 및 행동 특징", *언어치료전문인을 위한 청각학*. 서울: 군자출판사)
- **최은아(Choi, Eunah)**
소리언어청각센터
대전광역시 서구 용문동 255-1
Tel: 042) 526-6875
E-mail: eunah-choi@hanmail.net
관심분야: 청각장애, 말과학, 음성장애, 조음장애
현재 언어병리학 박사
소리언어청각센터 원장
- **성철재(Seong, Cheoljae)**, 교신저자
충남대학교 인문대학 언어학과
대전광역시 유성구 궁동 220
Tel: 042) 821-6395
E-mail: cjseong@cnu.ac.kr.
관심분야: 운율분석, 장애음성분석, analysis automation
현재 충남대학교 인문대학 언어학과 교수