

자매 발화의 분석과 인식에 관한 연구

김경화(대검찰청)

<차 례>

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. 머리말 | 3. 실험 2 |
| 2. 실험 1 | 3.1. 분석대상 및 방법 |
| 2.1. 피실험자와 실험자료 | 3.2. 실험 2의 결과 및 해석 |
| 2.2. 분석대상 및 방법 | 4. 맺음말 |
| 2.3. 실험 1의 결과 및 해석 | |

<Abstract>

The Study of an Analysis and Perception of Sisters' Speech

KyungHwa, Kim

As a part of voice identification, this study is on the voices from four different groups of sisters. The purpose of this study is to observe and analyze if sister's voices are actually so similar, as many people believe, that it is more difficult to distinguish one from the other than those of unrelated speakers. And it is also aimed to find out what the clues are to decide whether or not the voices are those of the same speaker or of different ones. The result shows that the mean frequencies of F_3 and F_4 of examined vowels and F_0 , in some group of sisters, are analyzed similar. In aural test, many listeners took their voices for those of the same speaker.

1. 머리말

사람의 음성은 지문과 마찬가지로 그 사람만이 가진 고유한 특징이다. 본 연구는 동일인 식별에 관한 연구의 일부분으로 가족의 발화를 연구대상으로 하였다.

우리는 일상생활에서 형제와 자매, 아버지와 아들, 어머니와 딸의 음성이 유사

한 경우를 종종 보게 되는데, 특히 전화 상으로 이들의 음성을 구분하기란 쉽지 않을 때가 많다. 여기서는 그와 관련된 예비실험으로 자매들의 발화를 살펴보기로 한다. 본 연구의 목적은 평소 우리가 듣기에 비슷하다고 생각하는 자매들의 음성이 실제로도 유사한지, 그리고 청자들은 어떤 요인에 의하여 이들의 발화를 동일인의 것으로, 또는 다른 두 사람의 음성으로 판단하는지를 청취실험을 통하여 관찰하는 것이다.

이와 관련하여 쌍둥이의 해부학적 특징이나¹⁾ 발화에 있어서 조음상의 차이²⁾, 쌍둥이 자매들의 발화에 대한 인식³⁾ 등을 관찰한 이전의 연구들이 있지만, 아직까지 국내외에서 본격적으로 가족간의 음성을 다룬 연구는 거의 없다.

이러한 취지에서 본 연구에서는 두 가지 실험을 실행하였는데, 첫 번째 실험에서는 각 화자의 모음 포먼트 F_3 , F_4 값과 F_0 값을 측정하여 이것을 자매별로 비교하였다. 두 번째로는 청취실험을 통하여 자매 발화의 인식율은 어느 정도인지 그리고, 청자가 어느 경우에 두 음성을 동일인의 음성으로 또는, 다른 사람의 음성으로 판단하는가를 살펴보았다.

2. 실험 1

2.1. 실험방법

2.1.1. 피실험자와 실험자료

피험자는 표준어를 사용하는 서울 출신의 20-30대 2자매 2쌍(KKH, KDY / YSJ, YSY)과 3자매 2쌍(SJK, SMK, SYK / KOJ, KSJ, KMJ) 총 10명을 선정하였다.

실험 자료는 화자의 평상시 음성의 특징을 보다 더 잘 관찰하기 위하여 고립단어, 대화체, 낭독체 문장 등 다양한 자료들을 사용하였다. 실험 문장은 “우리는 이것을 _____라고 한다”는 틀 문장을 포함한 고립단어 16개, 대화체 17개, 낭독체 16개로 총 49개이며, 이것을 각 화자들에게 3회씩 읽도록 하였다.

실험자료에는 화자들 간 및 동일 화자의 내부에서 일어나는 무의식적인 발음습관 및 동일단어 발음의 변이 현상 등을 조사하기 위하여 평상시 비표준 발음으로

1) Lundstrom, Anders(1948)은 쌍둥이들간의 해부학적인 차이는 동일인의 신체의 좌, 우간의 차이만큼이나 유사하다고 하였다.

2) Nolan & Oh(1996)은 일란성 쌍둥이들이 /r/과 /l/의 조음에 있어서 서로 다른 양상을 보이고 있음을 관찰하였다.

3) Johnson, Keith. & Azara(1997)는 쌍둥이들이 해부학적으로 유사성을 갖지만, 각자의 독특한 발화습관(idiosyncratic variation)에 의하여 이들의 발화를 구별할 수 있다고 하였다.

읽기 쉬운 단어들을 의도적으로 포함시켰다. 그러한 의도 단어 및 실험 문장들은 다음과 같다.

1. 꽃밭(이) - 꼬빠치(0) / 꼬빠시(X)

문장) 우리는 이것을 “꽃밭”이라고 한다.

2. 빛(을) - 비즐(0) / 비슬(X)

문장) 그 남자는 유리한테 빛을 많이 졌어.

3. 꽃(이) - 꼬치(0) / 꼬시(X)

문장) 여의도엔 벚꽃이 한창이야.

4. 빛(이) - 비치(0) / 비시(X)

5. 밭(에) - 바테(0) / 바체(X), 바세(X)

문장) 햇빛이 너무 강해서 밭에 못 나가겠어.

6. 무릎(이) - 무르피(0) / 무르비(X)

문장) 난 무릎이 아파서 더 이상 못 뛰겠어.

7. 팔(은) - 파튼(0) / 파춘(X), 파순(X)

문장) 쌀이랑 팥은 익는 온도가 달라.

8. 산기슭(을) - 산기슬글(0) / 산기스글(X)

문장) 노란 개나리와 분홍빛 진달래가 산기슭을 곱게 단장하고 있다.

9. 손끝(에) - 손끄테(0) / 손끄체(X), 손끄세(X)

문장) 물 한 방울 들어오지 않는 잠수복이지만 손끝에 닿는 파도가 시원하다.

2.1.2. 분석대상 및 방법

동일인 음성을 식별하는 데 있어서 스펙트로그램상의 분석 방법으로는 모음 포먼트의 중심주파수와 두께, 포먼트의 기울기와 전이형태, 마찰음과 파열음의 에너지 분포 등이 있고⁴⁾, 또한, 피치 곡선⁵⁾이나 문장 내의 특정 위치에서의 기본 주파수, 특정 위치에서의 F_1 , F_2 의 중심주파수⁶⁾ 등을 조사 대상으로 보는 학자들도 있다.

4) Tosi, Oscar. et al.(1972)는 이 외에도 유사음들의 지속시간 및 파열 간격, 포먼트들 간의 밀집성(interformant acoustic density patterns)들도 조사 대상으로 보았다.

5) Atal, B.(1972)은 피치 곡선을 화자 식별에 있어서 최적의 요인으로 선정하였다.

6) Wolf, J.(1972)는 이 외에도 화자 식별에 효과적인 음향학적 변수로 모음의 진폭, 모음 /u/의 특정 위치에서의 스펙트럼의 기울기, 무성자음 /s/의 중심부에 나타나는 고주파수 스

본 연구에서는 단어 ‘안녕하세요’, ‘메뚜기’, ‘돈’에서 ‘아, 에, 이, 오, 우’ 모음의 화자별 F_3 , F_4 평균값과, 낭독체 문장 첫 음절의 F_0 값을 측정하였다.

녹음을 위하여 SONY사의 DAT TCD-D7을 사용하였고, 포먼트 주파수와 F_0 값을 측정은 SCICON R&D, inc.의 PitchWorks 프로그램을 이용하여 분석하였다.

분석방법은 먼저, PitchWorks에서 LPC에 FFT를 보완한 방법으로 모음의 안정구간에서의 포먼트를 측정하였고, 스펙트로그램을 보면서 육안으로 그 값을 직접 확인하였다. F_0 값은 낭독체 문장을 3회 녹음한 것 중 ㅋ, ㅎ, ㅌ 등 높은 피치로 시작하는 문장을 제외한 39개(13개 × 3회)문장의 첫 음절의 값을 측정하여 번호별로 각 문장의 평균값을 구한 뒤, 이것을 다시 전체로 묶어서 화자별로 평균 F_0 값을 구하였다.

2.2. 실험 1의 결과 및 해석

2.2.1. 모음 F_3 , F_4 의 중심주파수 값

실험 결과, ‘아, 에, 이, 우’ 모음의 F_3 , F_4 값은 몇몇 자매는 유사한 값을 갖지만, 모든 자매들이 유사성을 보이는 것은 아니었다. 또한 모음별로, 자매별로 유사한 정도도 다르게 나타났다. 화자별 모음의 F_3 , F_4 평균값은 <표 1>과 같다(표에서 빈 칸은 해당 포먼트 값이 스펙트로그램상에 나타나지 않는 경우이고, 모음 ‘오’는 F_3 , F_4 값이 스펙트로그램상에 나타나지 않는 화자가 많아 실험에서 제외하였다).

포먼트 값이 가장 유사한 자매는 YSJ_YSY 자매로 ‘아, 에, 우’ 모음에서 거의 그 값이 일치하였다. 자매가 3명인 경우는 유사하기는 하지만 그 정도는 서로 다르게 나타났다. 그리고, 특징적인 현상으로 자매들 간에 포먼트의 절대값에는 차이가 있지만, 포먼트 간의 간격이 유사한 것도 관찰되었다.

분석 단어 중 ‘안녕하세요’의 경우는 동일인의 포먼트 값의 변화와, 청취시의 인식율을 알아보기 위하여 2회는 평소대로, 3회 째는 위장음성으로 발화하도록 하였다. 이 경우, 대부분 피치를 낮게, 혹은 높여서 발화하였지만, 분석 대상인 F_3 , F_4 의 값에 눈에 띄는 변화는 없었다.

이와 관련하여 피치의 변화가 포먼트 주파수에 미치는 변화에 대하여 조사한 기존 연구에서도, 피치 변화가 각 모음의 F_1 , F_2 값을 변화시키기는 하나 개인이 가진 고유한 발음특성에는 영향이 거의 없으며, 오히려 고차 포먼트의 세기에 큰 영향을 미친다는 연구 결과가 있었다.⁷⁾

펙트럼 양상 등을 선정하였다.

7) 유영화 외(1986)에서는 피치가 높을수록 고차 포먼트의 세기가 강해진다는 것을 관찰하였다.

<표 1> 모음 /아, 에, 이, 우/의 평균 F₃, F₄값과 표준편차
(음영부분은 가장 유사한 값을 보인 YSJ_YSY자매의 값)

	KDY	KKH	SJK	SMK	SYK	YSJ	YSY	KOJ	KMJ	KSJ
'아' F ₃	1834	2091	2195	2143	2391	2200	2125	2095	2062	2449
표준편차	99.4300	56.0120	9.5044	127.8684	107.8533	140.8771	59.8025	133.9789	225.6154	96.0228
'아' F ₄	3065	3074	3285	3249	3421	3331	3341	3266	3098	3424
표준편차	35.473	78.0086	76.2102	48.0451	67.3003	101.3524	131.0738	83.2346	55.1936	71.5821
'에' F ₃	2481	2872	3172	3209	3135	3273	3206	3036	2921	3210
표준편차	146.7731	254.1305	16.4418	17.156	84.552	65.3835	30.6159	106.5223	24.2143	27.4287
'에' F ₄	4147	4359	5044	4331	4357	4610	4621	4343	4317	4435
표준편차	22.053	6	141.778	48.5577	185.2683	96.2497	42.4617	84.7172	131.0432	45.7639
'이' F ₃	2947	3266	3369	2987	3473	3266		3172	2870	3523
표준편차	57.1168	134.5102	87.8313	82.5611	108.2636	69.3974		73.5731	29.0230	84.2397
'이' F ₄	4187	4229	4342	4271	4509	4584	4632	4137	4095	4385
표준편차	57.6223	47.5079	103.1617	124.0417	80.5254	56.3117	89.9555	195.4849	52.6245	123.8803
'우' F ₃	1727	1964	1706	1762	1665	1881	1833	1715	1539	1630
표준편차	63.9557	276.102	76.5136	181.5112	191.2337	206.3234	70.7884	153.6435	158.2066	130.3342
'우' F ₄	2553	2703	3023		2829	2818	2788	2723	2671	2991
표준편차	17.0392	50.9346	4.7258		50.9215	57.0731	26	102.5882	69.6563	94.6907

2.2.2. F0값

본 실험에서는 앞에서 여러 학자들이 제시한 스펙트로그램 관측 방법의 하나인 특정 부분에서의 F0값을 구하기 위하여 낭독체 문장의 첫 음절의 F0값을 측정하였다. 자매별로 본 화자의 평균 F0값은 <표 2>와 같다. (화자 KOJ는 문장의 첫 음절이 발화의 시작 부분이 아니므로 분석에서 제외하였다)

분석 결과, KDY와 KKH, KMJ와 KSJ자매의 경우는 평균 F0값이 거의 일치했으나, 다른 자매들은 조금씩 값이 다르게 나타났다. 그러므로, 이 결과만으로는 F0값의 유사성이 두 음성의 유사성을 나타낸다고 보기에는 자료가 불충분하다. 또한, F0값의 비교에 있어서 어느 정도의 변화 폭까지를 유사한 범주에 넣어 볼 것인가에 대한 기준이 마련되어야 하는데, 앞으로 이에 대하여 충분한 자료가 뒷받침된 연구가 필요하다.

<표 2> 문장 시작부분의 F0값 (음영부분은 유사한 값을 보인 자매들)

	최소값	최대값	평균 F0값(표준편차)
KDY	182	263	217.4(17.7)
KKH	186	239	216.4(14.6)
YSJ	192	253	215.3(14.6)
YSY	174	230	202.2(12.5)
SJK	181	254	213.1(17.0)
SMK	174	232	205.6(14.3)
SYK	194	277	232.5(19.5)
KMJ	182	262	224.2(15.4)
KSJ	197	242	224.0(10.5)

3. 실험 2

두 번째로 실시한 것은 청자들이 자매들의 발화를 어느 정도 잘 구분하는지 그리고, 그 구분의 기준은 무엇인지를 알아보기 위한 청취실험이다.

3.1. 분석대상 및 방법

실험자료는 실험 1의 자료에서 고립단어 16개와 대화체 문장 14개, 낭독체 문장 9개 등 총 40개를 선정하였다. 그리고, 같은 단어 및 문장을 발화한 동일인 발화쌍, 자매 발화쌍, 자매가 아닌 두 사람의 발화쌍을 섞어서 들려주고, 청자로 하여금 두 음성이 같은 사람의 것인지 다른 사람의 것인지 판단하도록 하였다. 청취실험에 참여한 피실험자는 대검찰청 과학수사과 직원 16명으로 남자 13명, 여자 3명이었다.

자료의 녹음 단계에서 화자가 평상시 음성이 아닌 의도적으로 위장한 음성에 대하여 청자가 어떻게 인식하는가를 살펴보기 위하여, 3회의 반복 녹음 중 대화체 문장의 3회 째에는 위장음성으로 발화하도록 하였다. 이에 대하여, 화자들이 변화를 준 요소들은 다음과 같다.

- 1) 말투 - 차분함, 부드러움, 딱딱함, 통명스러움, 흥분함 등
- 2) 피치, 억양 - 높음, 낮음. 문장 말 억양의 상승, 하강.
- 3) 속도 - 빠름, 느림.
- 4) 발음 - 표준 발음, 비표준 발음.

4)의 ‘발음’은 화자가 의도적으로 변화를 준 것은 아니지만, 동일 화자라도 같은 단어를 여러 번 발음할 때 차이를 보인다는 사실을 보여준 경우이다. 예를 들어, 화자 SYK, SJK, SMK, YSJ는 ‘팔(은)’을 3회 읽는 동안 ‘파튼, 파츰, 파슨’ 등으로 변이를 보이며 발화하였고, ‘발(에), 끝(에)’도 ‘바테, 바체, 꼬테, 꼬체, 꼬세’등으로 발음에 변이를 보이는 몇몇 화자들이 있었다. 또한, ‘조끼’를 1회 때에는 ‘조끼’로 발음하다가 2, 3회 반복하면서 ‘쪼끼’로 읽는 등 화자의 평소 발음습관이 드러나는 경우도 관찰되었다.

위장음성에 대하여 대체로 딱딱한 말투일 때는 피치가 낮고 발화속도가 평상시보다 빠른 경우가 많았으며, 대부분의 화자들은 피치와 말투에 변화를 주는 것으로 나타났다.

3.2. 실험 2의 결과 및 해석

실험 결과, 전체 문항에 대한 청자의 평균 인식율은 70.2%였다. 가장 많은 오답이 나온 것은 YSJ_YSY이 발화한 고립단어 ‘메뚜기’로 다른 사람의 음성으로 옳게 판단한 인식율이 12.5%에 불과하였다. 이것은 발화가 상당히 짧기 때문에 화자의 음성적 특징을 알아내기 어려웠을 수도 있겠고, 두 사람의 ‘메뚜기’ 각 모음의 포먼트 값이 서로 유사한 점으로 미루어 포먼트 값의 유사성에 기인한 것으로 생각할 수도 있겠다.

화자별 인식율은 56.2%에서 100%까지 다양하였으며, 청자들은 주로 짧은 발화나, 위장음성으로 발화한 경우에 동일인을 다른 사람으로 인식하는 경우가 많았다. 화자별 인식율은 <표 3>과 같다.

<표 3> 화자별 인식율

화자	평균인식율(%)
KKH	96.9
KDY	100.0
YSJ	77.1
YSY	75.0
SJK	81.2
SMK	64.6
SYK	56.2
KSJ	75.0
KMJ	90.6
KOJ	93.7

자매 발화쌍의 경우에는 KSJ_KMJ의 인식율이 90.6%로 가장 높은 반면, 다른 자매들에 대한 인식율은 모두 50퍼센트에도 못 미쳤다.

<표 4> 자매별 인식율

자매	평균인식율(%)
KSJ_KMJ	90.6%
KKH_KDY	45.8%
SJK_SMK_SYK	42.5%
YSJ_YSY	41.6%

또한, 자매가 아닌 두 사람의 발화에 대하여 필자가 유사하다고 판단하여 들려준 두 사람의 발화쌍에 대한 인식율은 SJK_KSJ(50%), YSJ_KOJ(56.2%)로 청자에게 상당히 혼동을 주었다. 전자는 두 사람 모두 위장음성으로 낮은 피치로 발음하였고, 후자는 두 사람 모두 말투가 차분하고 부드럽다는 유사성을 보였다.

인식율이 50%이하인 경우의 발화쌍은 전체 40개 중 10개였으며, 각 쌍의 구성과 인식율의 저하를 가져온 요인을 살펴보면 다음과 같다(괄호 안의 숫자는 실험자료의 번호).

1. 말투의 유사, 차이

(18) SMK_SMK - 다른 사람으로 판단 : 통명스러움_부드러움

(20) YSY_YSY - 다른 사람으로 판단 : 불만스러움_상냥함

(28) KKH_KDY - 동일인으로 판단 : 흥분한 말투

(30) YSY_YSJ - 동일인으로 판단 : 차분하고 부드러움. 문장 종결의 ‘-다’ 부분이 부드럽게 끝남.

2. 피치, 억양의 유사, 차이

(6) SJK_KSJ - 동일인으로 판단 : 낮은 피치

(10) SMK_SJK - 동일인으로 판단 : 낮은 피치, 어말 부분의 억양 하강.

(29) SMK_SJK - 동일인으로 판단 : 낮은 피치

3. 기타

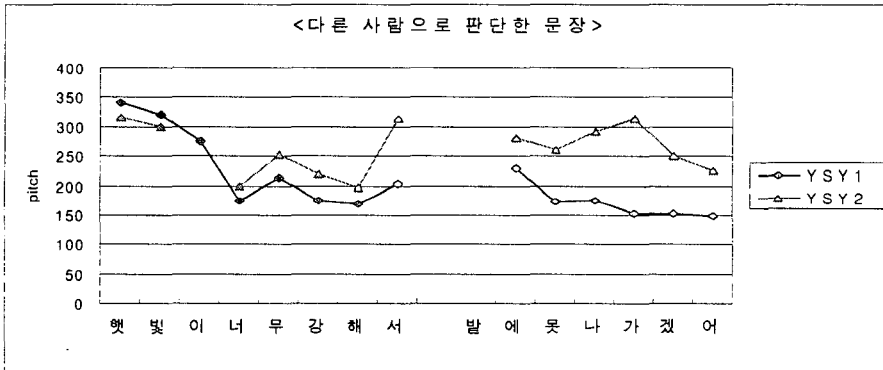
(9) YSJ_YSY - 동일인으로 판단 : 짧은 발화

(24) SMK_SYK - 동일인으로 판단 : 빠른 속도

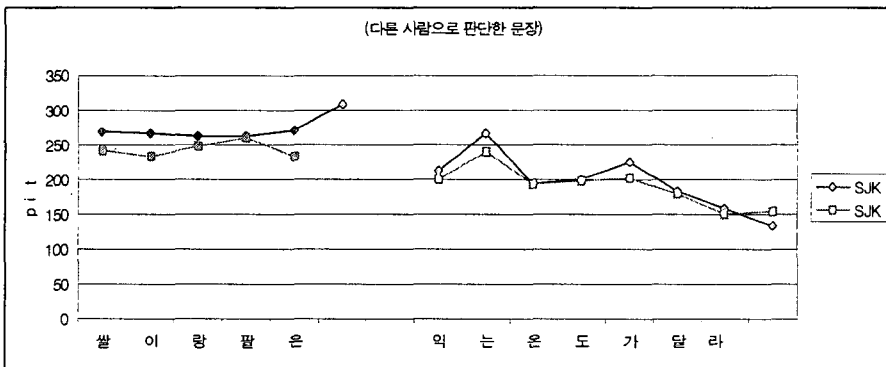
(40) KDY_KKH - 동일인으로 판단 : 긴 발화의 끊어읽기 및 강조어의 유사.

한 가지 특이한 결과는 KKH_KDY 자매의 경우이다. 이 자매는 동일인 발화에 대한 화자 각각의 인식율은 거의 100%에 달할 정도로 구별이 용이했지만, 두 명의 발화를 쌍으로 구성해 들려줬을 때는 인식율이 50%이하로 크게 떨어졌다. 이러한 결과는 짧은 발화가 아닌 긴 발화의 경우에도 마찬가지였는데, 해당 문장의 각 음절의 피치값을 측정한 결과, 두 사람의 피치곡선의 형태가 유사하게 나타났다.

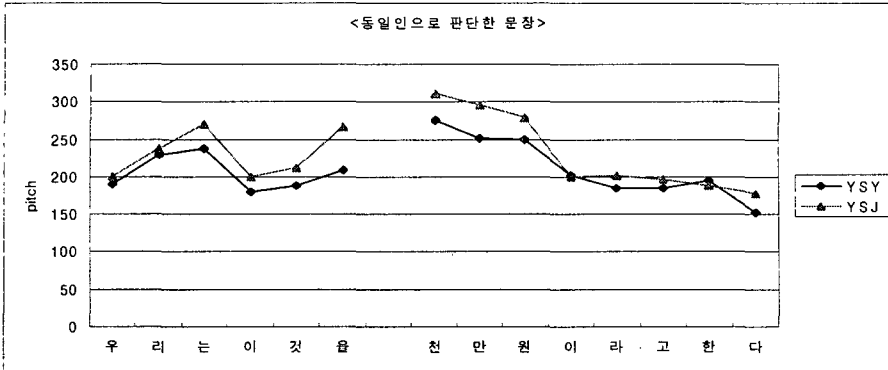
많은 청자들의 판단에 혼동을 가져온 몇 가지 문장의 예들은 다음과 같다. 청자들은 문장 중간의 끊어 읽기 직전의 억양과 문장 말 억양의 처리가 유사한가, 다른가에 의해 판단에 영향을 많이 받았음을 알 수 있다.



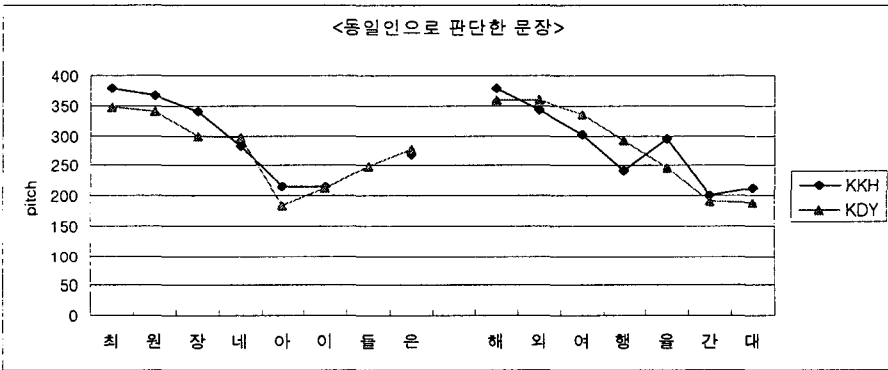
<그림 1> 다른 사람으로 판단한 문장 (인식율 43.8%)
(평균 F0값(Hz) : YSY1-207, YSY2-263)



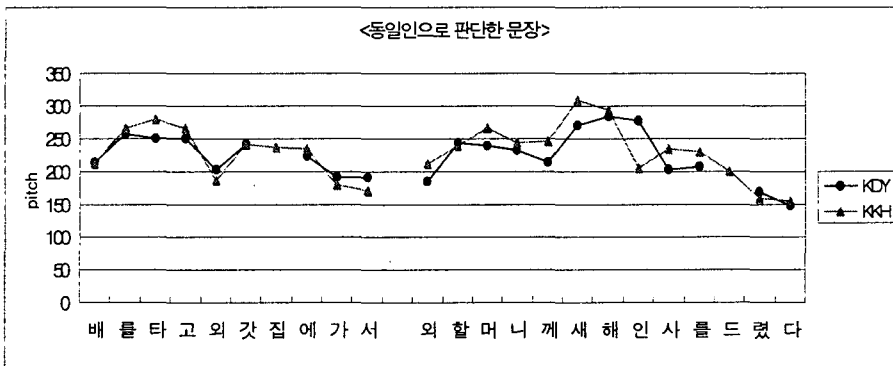
<그림 2> 다른 사람으로 판단한 문장 (인식율 56.3%)
(평균 F0값(Hz) : SJK1-229, SJK2-210)



<그림 3> 동일인으로 판단한 문장 (인식율 25%)
(평균 F0값(Hz) : YSY-209, YSJ-231)



<그림 4> 동일인으로 판단한 문장 (인식율 37.5%)
(평균 F0값(Hz) : KDY-278, KKH-288)



<그림 5> 동일인으로 판단한 문장 (인식율 43.8%)
(평균 F0값(Hz) : KDY-223, KKH-229)

실험 결과, 청자가 동일인의 음성을 다르게, 또는 다른 두 사람의 음성을 같은 사람의 것으로 듣는 요인으로는 말투와 피치의 높낮이가 크게 작용하였고, 동일 단어의 발음 차이나 발화 속도 등은 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

4. 맺음말

본 연구에서는 자매 발화의 특징과 유사성을 관찰하기 위하여 모음의 포먼트 F_3 , F_4 값과 F_0 값을 측정하여 그 결과를 화자별, 자매별로 비교해 보았고, 청취실험을 통하여 자매 발화의 인식율과 두 음성을 동일인 음성으로 판단하는 기준에 대하여 알아보았다.

그 결과, 모음의 F_3 , F_4 값은 몇몇 자매의 경우 비슷한 위치에 나타나는 경향을 보였으나, 전체적으로 포먼트값의 유사성이 자매들의 특징이라고 할 만한 뚜렷한 결과를 보이지는 않았다. 그리고, 유사성을 보이더라도 자매별로 모음별로 조금씩 그 정도의 차이가 있었다. 포먼트값의 차이를 어떻게 해석할 것인가 하는 것은 동일인의 포먼트 변화의 폭을 어느 정도까지 볼 것인가에 관한 문제와도 관련이 있는데, 아직은 그에 대한 실험과 논의가 더 필요한 단계이다.

문장의 첫 음절을 측정한 F_0 값은 조사 대상 네 자매 가운데 두 자매가 유사한 것으로 관찰되었는데, 이 부분에 대해서도 앞으로 더 많은 화자들을 확보하고 지속적인 실험을 통해 화자 내부의 변이의 폭을 조사한 뒤 F_0 값을 어느 범위까지 유사하다고 볼 것인가에 대한 기준을 마련해야 할 것이다.

본 연구에서는 다루지 못했지만, 동일인을 식별하는 방법으로 앞에서 여러 학자들이 제시한 다양한 변수들 즉, 포먼트 F_1 , F_2 값의 기울기와 간격, 전이형태, 마찰음과 파열음의 에너지 분포, 지속시간 등에 대하여 여러 명의 화자들을 확보한 뒤 다각도로 연구를 진행시켜 나아간다면 형제, 자매 등 가족의 음성에 대한 특징적인 사실들을 발견할 수 있을 것이다. 또한, 이와 관련하여 앞으로 실행될 많은 연구들의 기준으로서 화자내부의 변화(intraspeaker variability)에 관한 장기적인 연구가 병행되어야 할 것이다.

이러한 연구들을 토대로 동일인의 음성과 유사 음성에 관한 다양한 자료들, 예를 들면, 몸의 상태나 나이의 변화에 따라 달라질 수 있는 다양한 상황에서의 음성자료들을 수집하여 연구한다면, 현재 활발히 진행 중인 음성 인식 및 화자 식별 연구에도 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- Atal, B. (1972), Automatic speaker recognition based on pitch contour, *Journal of the Acoustic Society of America* 52:1687-1697.
- Johnson, Keith. & Azara (1997), The perception of personal identity in speech: Evidence from the perception of twins speech, *Acoustic Society of America*.
- KyungHwa, Kim (2001), The Study of Speaker Identification : an analysis and perception of sisters' speech, ICSP 2001.
- Lundstrom, Anders (1948), *Tooth Size and Occlusion in Twins*, S. Karger, Basle.
- Nolan & Oh (1996), Identical Twins, Different Voices. *Forensic Linguistics* 3:39-49.
- Tosi, Oscar. et al. (1972), Experimental on voice identification, *Journal of the Acoustic Society of America*, 51:2030-2043.
- Wolf, J. (1972), Efficient acoustic parameters For speaker recognition, *Journal of the Acoustic Society of America* 51:2044-2056.
- 유영화 외 3인(1986), 「pitch의 변화가 Formant에 미치는 영향에 관한 연구」, 국립과학수사연구소연보 제 18권, Vol 18.

접수일자: 2001년 4월 27일

게재결정: 2001년 6월 4일

▶ 김경화(KyungHwa, Kim)

주소: 서울시 서초구 서초 3동 1730-1

소속: 대검찰청 과학수사과

전화: 02) 3480-2150

E-mail: savoix@sppo.go.kr