

음장과 외이도 내부에서의 음성 비교

The comparison of the voice between the free field
and the external auditory canal

허 승 덕* · 김 리 석** · 고 도 흥*** · 이 정 학****
Seung-Deok Heo · Lee-Suk Kim · Do-Heung Ko · Jung-Hak Lee

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine some acoustic characteristics in the ear canal. It was assumed that a sound outside the external auditory canal could be different from the sound inside the external auditory canal. The acoustic signals were captured by a probe microphone placed at a distance within 1 cm from the tympanic membrane, and a reference microphone was placed over the upper pinna. Three vowels /a/, /i/, /u/ were recorded from a normal adult male speaker. The parameters such as the formant frequency (F1~F5) and the peak intensity were measured using a speech analyser, PCquirer.

It was found that the entering part of the external auditory canal functions as a narrowing point as to the speech that passes through the free field. Results show that acoustic characteristics were changed for speech discrimination rather than speech perception.

Keywords : free field, external auditory canal, speech discrimination

I. 서 론

음성은 외이도 내부와 외부에서 어떻게 다르게 실현되는가? 외이도는 성도처럼 좁혀지거나 넓어지는 기관은 아니지만 'S'자 모양의 굴곡이 있고 성도 길이의 약 20~25%에 해당하는 한 쪽이 막힌 공명체로서 같은 강도의 서로 다른 주파수의 순음이 외이도로 들어오면 입술 밖 또는 외이도 바로 앞의 말소리와는 차이를 보일 것으로 예측할 수 있다.

외이도 내부에서 음성에 변화를 줄 수 있는 요인은 외이도 형태의 미세한 변화나 보청기 착용에 의한 공명현상 소실과 전도량 감소 그리고 외과적 수술 등에 의한 외이도 용적 변화 등을 들 수 있다. 이 연구는 이개 상부와 외이도 내부에서 음성을 녹음한 후, 실험

* 동아대학교 의과대학 이비인후과 청능치료사

** 동아대학교 의과대학 이비인후과 교수

*** 한림대학교 어문학부 교수

**** 한림대학교 의과대학 이비인후과 교수

음성학적 분석 지표를 사용하여 산출된 값을 기초 자료로 제시하고, 입술 밖의 말소리와 외이도 내부 말소리, 이개 상부 말소리와 외이도 내부 말소리의 실험 음성학적 분석 지표를 비교하여, 외이도 내부 음성의 변화와 언어의 인지(recognition) 또는 언어의 식별(discrimination)과의 관련성을 규명하는 단서로 활용 가능성을 알아보고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

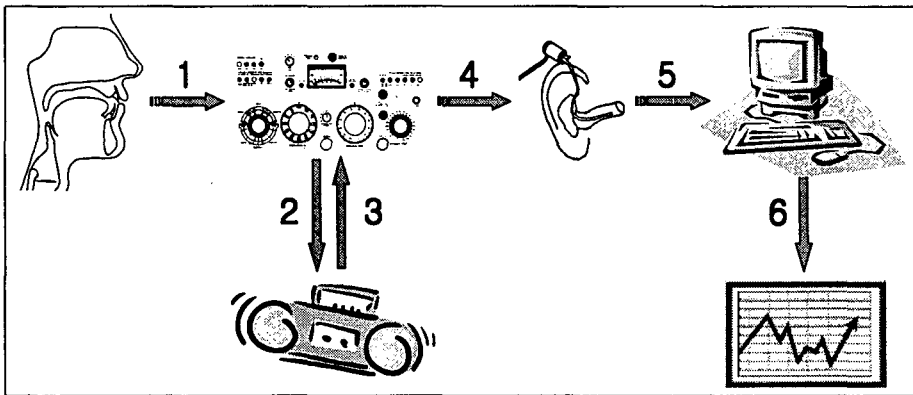


그림 1. 연구 방법

외이와 중이를 포함한 이과적 병력이 없고, 이학적 검사상 정상 소견을 보인 성인 20 귀(평균 24세, 남자 6명 12귀, 여자 4명 8귀)를 대상으로 하였다. 음성 표본을 녹음하기 전 피험자의 고막운동성과 외이도 공명을 검사하였는데, 고막운동성 검사상 외이도 용적(ear canal volume)은 1.3 ± 0.28 cc(0.8~1.8 cc), 정적탄성(static compliance)은 0.67 ± 0.44 cc(0.2~1.8 cc), 그리고 중이강 압력(middle ear pressure)은 4.25 ± 5.19 daPa(-10~10 daPa)이었으며, 외이도 공명은 평균 2,527 Hz에서 발생하였고 공명 이득은 평균 7.8 dB을 보였다.

자극 음성은 표준말을 사용하는 30대 남자 정상 발화자가 방음실 안에서 3초 이상 발성한 /a/, /i/, /u/를 소음계(sound level meter)와 청력검사기로 감시하면서 카세트 테이프에 녹음하였다. 음성표본은 그림 1에서 보는 바와 같이 녹음된 자극음성을 카세트 테이프 플레이어와 스피커가 연결된 청력검사기를 통해 70 dBA 강도로 재생하여, loud speaker로부터 60 cm 거리에 45°로 앉은 피험자의 이개 상부와 외이도 안쪽 고막 10 mm 이내 거리에 넣은 삽입형 수화기를 통해 표본을 22 kHz, 8 bit mono 조건으로 음성표본을 녹음하였다. 자극음성과 음성표본의 포먼트 주파수 F1, F2, F3, F4, F5와 이들 포먼트 주파수의 최대강도값(peak intensity)을 음성 분석 프로그램 PCquirer(ver 4.9.5)로 분석한 후(그림 1 참조), 자극 음성과 이개 상부 음성 표본, 이개 상부와 외이도 내부 음성 표본, 그리고 외이도 공명과 음성 표본 사이의 포먼트 주파수와 최대 강도의 관계를 통계적(SAS ver 6.12)으로 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

이 연구에 사용한 자극 음성의 포먼트 주파수는 /a/의 F_1 이 749 Hz, F_2 가 1,236 Hz, F_3 가 2,259 Hz, F_4 가 3,509 Hz, F_5 가 4,669 Hz, /i/의 F_1 이 424 Hz, F_2 가 1,949 Hz, F_3 가 2,886 Hz, F_4 가 3,566 Hz, F_5 가 4,111 Hz, /u/의 F_1 이 335 Hz, F_2 가 737 Hz, F_3 가 2,062 Hz, F_4 가 3,223 Hz, F_5 가 4,105 Hz로 남자 성인 발화자의 우리말 포먼트 주파수에 관한 Meiko Han의 연구 결과[1]와 차이를 보이지 않았다. 음장에서 말소리 변화를 확인하기 위하여 자극 음성과 이개 상부 음성 표본간 F_1 과 F_2 의 변화를 비교하면, /a/의 F_1 이 16 Hz 낮아지고, /a/의 F_2 , /i/의 F_1 과 /u/의 F_1 , F_2 는 각각 42 Hz, 73 Hz, 140 Hz, 37 Hz씩 모두 높아졌다 (paired *t*-test, $p < 0.05$, 그림 2 참조).

/a/에서 F_1 이 낮아졌는데, 이러한 변화는 입술을 등글게 하였을 때 나타나며 후설보다는 전설에서 강한 효과를 보인다. 따라서 /a/의 F_1 변화는 이륜(helix)과 머리 사이의 골에 둔 송화기의 삽입관 위치에 관련한 것으로 추정할 수 있다. 그러나 /i/와 /u/가 높아진 것은 혼란(perturbation) 이론에서 인강을 좁혔거나 입을 크게 열었을 때 나타날 수 있는 변화로서 음원에서 가까운 발성기관과 입술 이후 음장의 두 가지 조건에 의해 영향받고 있음을 시사한다. F_2 는 /a/와 /u/에서 높아졌는데, F_2 가 높아질 수 있는 요인은 압력이 상대적으로 높은 구강 전반부를 좁혔을 때 나타날 수 있는 변화로서 발성기관의 요인[2]과 함께 머리와 이개에 의한 간섭의 영향을 배제할 수 없다. 특히 /i/의 F_1 과 /u/의 F_1 , F_2 의 최대 강도가 음장에서 60 cm를 전달하는 동안 감쇄(damping effect)되지 않고 /i/의 F_1 에서 5 dB이 오히려 증강(paired *t*-test, $p < 0.05$, 그림 3 참조)한 것은 머리(baffle effect)와 이개(flange effect)에 의해 간섭을 받고 있는 증거로 보여진다[3,4].

표 1. 포먼트 주파수 F_1 , F_2 변화와 주요 원인

	발성 요인	음장 요인	간섭 영향	공명 영향
/a/ F_1	구강 좁힘(↓)		마이크 위치(↓)	
F_2	구강 좁힘(↑)		마이크 위치(↑)	
/i/ F_1	인강 좁힘(↑)	구강 확대(↑)		의이도 입구(↓)
F_2				
/u/ F_1	인강 좁힘(↑)	구강 확대(↑)		
F_2	구강 좁힘(↑)		마이크 위치(↑)	

자극 음성과 이개 상부 음성 표본의 F_1 과 F_2 의 변화를 통해 음장에서 음성 변화는 발성기관과 음장의 환경에 의해 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 조음위치가 낮은 /a/의 F_1 변화값은 16 Hz로 모음의 절대 포먼트 주파수(749 Hz)에 4내지 5%에 해당하는 판별치 (just noticeable difference, JND)인 30 내지 38 Hz보다 적었다[5]. /i/와 /u/ 변화는 모음의 판별치인 4내지 5%보다는 높으나 Fant의 러시아 모음 /a/, /i/, /u/를 사용하여 성도 변형에 따른 인지 변화를 조사한 양병곤의 연구[6] 결과를 일본어 동경 방언 남자 발화자의 포먼트 주파수[7]에 비교하였을 때 말소리 인지에 영향이 있을 정도는 아니며, 판소리 가수의 발성 방법에 따른 주파수 변화[8]보다 작다(그림 4 참조).

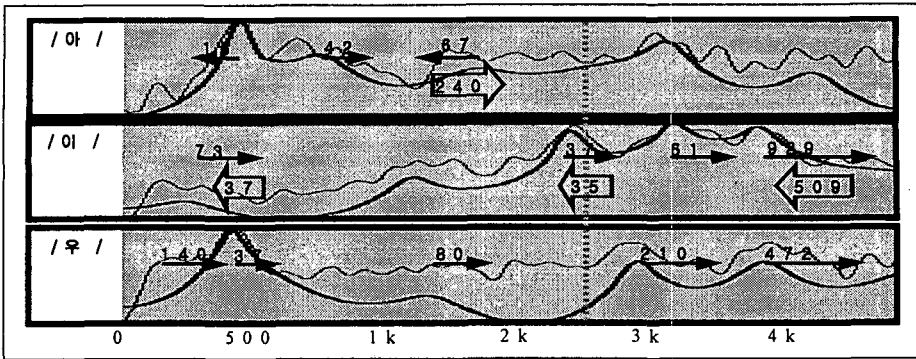


그림 2. F₁부터 F₅까지 포먼트 주파수의 변화. 모음 /a/, /i/, /u/에서 상단의 수치와 화살표는 자극 음성과 이개 상부 음성 표본 사이의 변화, 하단의 수치와 블록 화살표는 이개 상부와 외이도 내부 음성 표본 사이의 변화.

음장에서의 감쇄와 머리에 의한 간섭현상을 배제하고 순수한 외이도 내부에서의 변화를 확인하기 위하여 이개 상부와 외이도 내부에서의 음성 표본간 F₁과 F₂를 비교하였을 때는 /i/의 F₁만 37 Hz 낮아졌다(student t-test, p<0.05, 그림 2 참조). 이 결과는 구강 공간이 좁은 상태에서 발생되어 음장에서 크게 높아진 전설이며 조음위치가 높은 /i/의 F₁을 좁혀진 외이도가 다시 낮아지게 하여 음장에서의 변화를 일부 보상해 주는 것으로 볼 수 있다. 이 변화는 입술 바로 앞 말소리 특성에 가까워지는 것을 의미하며, 청취자가 들었을 때 음색 차이를 확인할 수 있겠지만, 말소리를 다른 모음으로 인지하지는 않는 것으로 사료된다(그림 4 참조).

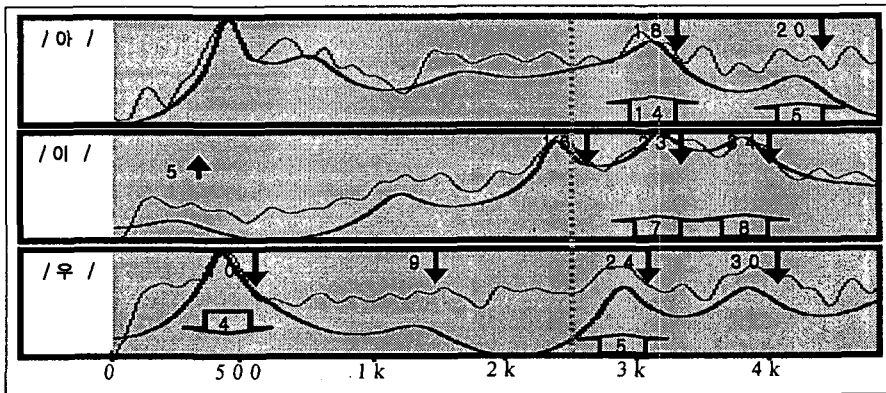


그림 3. F₁부터 F₅까지 최대 강도 변화. 모음 /a/, /i/, /u/에서 상단의 수치와 화살표는 자극 음성과 이개 상부 음성 표본 사이의 변화, 하단의 수치와 블록 화살표는 이개 상부와 외이도 내부 음성 표본 사이의 변화.

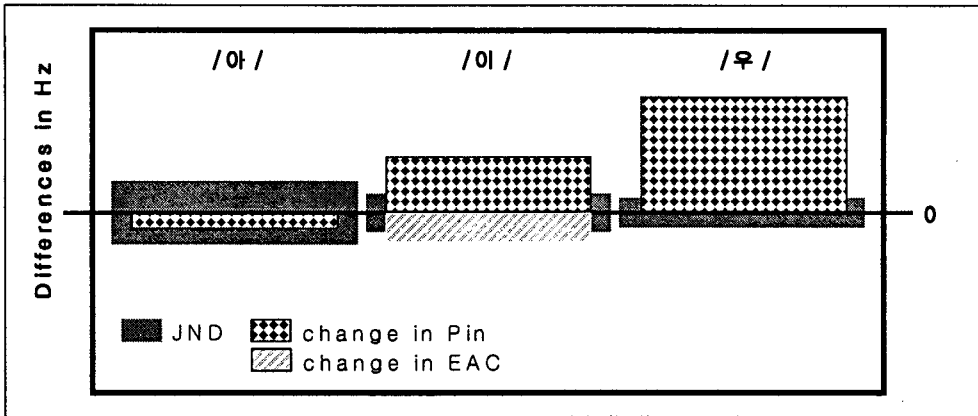


그림 4. 모음 /a/, /i/, /u/의 포먼트 주파수 F_1 변화와 어음 판별 역치 및 인지 변화의 관계. JND; 모음판별치, Change in Pin; 자극 음성과 이개 상부 음성 표본 간 차이, Change in EAC; 이개 상부와 외이도 내부 음성 표본간 차이.

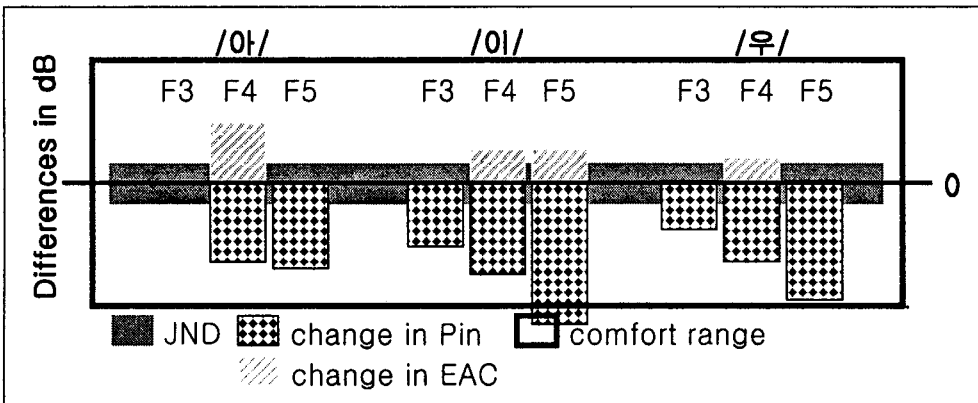


그림 5. 모음 /a/, /i/, /u/의 F_3 이후의 최대 강도 변화와 판별 역치 및 쾌적 청취 범위 사이의 관계. JND; 음강도 판별치, Change in Pin; 자극 음성과 이개 상부 음성 표본 간 차이, Change in EAC; 이개 상부와 외이도 내부 음성 표본간 차이.

모든 대상 모음 포먼트 주파수 F_1 과 F_2 의 최대 강도는 낮아졌으나 4 dB 낮아진 /u/의 F_2 에서 통계적으로 유의하였다(그림 3 참조), /u/의 외이도 내부 포먼트 주파수 F_2 가 평균 764 Hz인 점을 고려하면 외이 공명에 의한 것보다는 감쇄에 의한 것으로 추정된다. 자극 음성과 이개 상부 음성 표본 사이에서 이들 포먼트 주파수 변화는 /a/에서 F_3 가 67 Hz 낮아졌고, F_3 , F_4 , F_5 의 순서로 /i/는 37 Hz, 61 Hz, 929 Hz 그리고 /u/는 80 Hz, 210 Hz, 472 Hz가 각각 높아졌으며(*student t-test*, $p < 0.05$, 그림 2 참조), 포먼트 주파수에서의 최대 강도 변화는 /a/의 F_4 18 dB, F_5 20 dB, /i/의 F_3 16 dB, F_4 23 dB, F_5 34 dB, /u/의 F_3 9 dB, F_4 24 dB, F_5 30 dB씩 각각 낮아졌다(*paired t-test*, $p < 0.05$, 그림 3 참조).

공명주파수는 발생기관이나 수용기관의 용적을 넓힐수록 더 낮은 음역으로 이동하며, 좁힐수록 더 높은 음역으로 이동하는데, 이들 변화를 발생기관 공간 용적을 통해 설명하

면 적의 위치가 낮아 구강이 넓혀진 /a/의 포먼트 주파수 F_3 는 낮아졌고, 혀의 위치가 높아 구강이 좁혀진 /i/와 /u/의 F_3 이후의 포먼트 주파수들이 높아진 것으로 해석할 수 있으며, 발생시 포먼트 주파수별 최대 강도 분포를 통해 설명하면 상대적으로 높은 최대 강도가 앞쪽 포먼트 주파수에 있는 /a/는 F_3 가 낮아졌고, 상대적으로 높은 최대 강도가 뒤쪽에 있는 /i/와 /u/는 F_3 이후의 포먼트 주파수들이 높아진 것으로 해석할 수 있다.

효과적인 의사소통을 위하여 발화자는 청취자와의 거리에 따라 말소리 크기를 조절하는데, 반으로 가까워지거나 배로 멀어짐에 따라 발화 음성 강도는 6 dB 정도 차이를 보인다(inverse square law). inverse square law를 이 연구 결과와 직접 비교하기는 어렵지만 거리에 따른 음성 강도 변화와 외이 공명 효과를 설명하는 단서로 사용할 수 있겠다. 이 연구에서 F_1 부터 F_5 까지의 최대 강도는 /a/가 14.8 dB, /i/가 13.3 dB, /u/가 14.2 dB씩 크게 낮아졌는데, 1,000 Hz를 기준으로 어음강도(speech power)는 대부분 낮은 음역에 분포하는 점과 유의할만한 최대 강도의 감쇄가 1,000 Hz보다 낮은 F_1 과 F_2 에서는 일어나지 않았고 주로 1,000 Hz보다 높은 F_3 이후의 뒤쪽 포먼트 주파수에 한정되어 있는 점을 감안하면 말소리 크기에 의한 인지 변화는 없는 것으로 해석할 수 있다.

이개 상부와 외이도 내부 음성 표본간 F_3 , F_4 , F_5 의 포먼트 주파수 변화는 /a/에서 F_3 가 240 Hz 높아졌고, /i/에서 F_3 가 35 Hz, F_5 가 509 Hz 낮아졌으며, /u/에서의 변화는 통계적으로 유의한 변화가 없었다(student *t-test*, $p < 0.05$, 그림 2 참조). 각각의 포먼트 주파수에서의 최대 강도의 변화는 /a/의 F_4 와 F_5 가 14 dB, 5 dB씩, /i/의 F_4 가 7 dB, F_5 가 8 dB 그리고 /u/에서 F_4 가 5 dB씩 각각 높아졌다(student *t-test*, $p < 0.01$, 그림 3 참조).

모든 모음의 포먼트 주파수가 통계적으로 유의하지는 않았지만 2,527 Hz인 외이도 공명주파수 근처로 이동하는 양상을 보였고, 최대 강도는 외이도 공명주파수보다 높은 포먼트 주파수에서 증강하였으며, 증강 정도는 외이도 공명에 의한 최대 이득 평균인 7.8 dB 범위였다. 이러한 결과들은 이개 상부에서의 변화와 상반된 결과를 보이고 있으며, 음장에서 달라진 입술 밖 말소리에 대해 외이도가 보상하고 있는 것으로 해석할 수 있다. 또 5~14 dB 정도 유의하게 커진 것은 70 dBA 소리 크기에서 음강도 판별치(Just Noticeable Difference of the intensity)인 1~2 dB 정도[9]보다 크다.

IV. 요약 및 결론

외이도 내부의 음성은 음원에서부터 매질인 음장 그리고 청각 기관의 말단인 외이도까지 다양한 조건에 의해 변화하였는데, 발생기관과 음장의 상호 작용에 의해 모든 대상 모음의 F_1 , F_2 와 조음위치가 높은 모음의 F_3 , F_4 , F_5 가, 음장의 감쇄에 의해서는 /a/의 F_4 , F_5 와 /i/와 /u/의 F_3 , F_4 , F_5 가, 머리와 이개의 간섭에 의해 /a/의 F_1 , F_2 , /i/의 F_2 가, 그리고 외이도의 구조 및 공명에 의해 /a/의 F_1 , F_3 와 /i/의 F_3 , F_5 가 각각 낮아지거나 높아졌으며, 조음 위치가 높은 모음에서는 전설보다 후설모음에서 그리고 조음위치가 높은 모음보다 낮은 모음에서 더 큰 변화를 보였다.

외이도 내부에서의 음성은 음장을 지나 온 음원에 대한 외이도의 좁아진 공간뿐만 아

니라 구강 공간의 크기, 구강 전반부 및 인강의 좁힘 등의 발화 요인과 음장 조건 등에 의해서도 영향을 받고 있었으며, 외이도 공명 주파수를 중심으로 각각의 모음 앞쪽과 뒤쪽 포먼트 주파수 및 강도 변화 양상으로 보아 음성의 인지보다는 음성의 식별과 관련된 것으로 추정된다. 더욱이 본 연구결과의 활용을 위해 보다 많은 실험 단어와 음성 분석 지표를 사용한 연구가 필요하겠다.

참 고 문 헌

- [1] 고도홍. 1997. Meiko Han의 한국어 음성학 연구. *음성과학*, 1권, 213-223.
- [2] 김기호, 양병곤, 고도홍, 구희산 공역. 2000. *음성과학-조음·음향·청각음성학*. 한국문화사, 103-159.
- [3] HG Mueller III, JW Hall III. 1998. *Audiologists' Desk Reference Vol. II*. Singular Publishing Group Inc.
- [4] M. Chasin. 1997. The Acoustic of CIC Hearing Aids. In : M Chasin. *CIC Handbook*. Singular Publishing Group Inc., 69-81.
- [5] J.L. Flanagan. 1965. Speech analysis, synthesis, and perception. In H. Wolter & W.D. Keidel (Eds.), *Kommunikation und Kybernetik in Einzeldarstellungen Herausgegeben, Band 3*. Berlin: Springer-Verlag.
- [6] 양병곤. 1998. 성도 변형에 따른 모음 포먼트 변화 고찰. *음성과학* 3권, 83-92.
- [7] 안희영 역. 1996. *음성검사법 기초편 제 2 판*. 군자출판사, 62-63.
- [8] 홍기환, 양윤수, 김현기. 판소리 가수의 발성기능 및 후두병변에 대한 연구. *대한이비인후과학회지*, Vol 39(10), 1622-1632.
- [9] SA Gelfand. 1998. *Hearing 3rd edition*, Marcel Dekker, Inc., 281-306.

접수일자: 2000. 10. 23.

게재결정: 2000. 11. 21.

▲ 허승덕

부산시 서구 동대신 3가 1번지 (우: 602-715)

동아대학교병원 이비인후과

Tel: +82-51-240-5422

E-mail: sdheo@damc.dauhosp.or.kr, sdheo@mail.donga.ac.kr

homepage: <http://home.donga.ac.kr/~sdheo>

▲ 김리석

부산시 서구 동대신 3가 1번지 (우: 602-715)

동아대학교 의과대학 이비인후과학교실

Tel: +82-51-240-5428

E-mail: klsolkor@chollian.net

▲ 고도홍

강원도 춘천시 옥천동 1 (우: 200-702)

한림대학교 어문학부

Tel: +82-33-240-1205

E-mail: dhko@sun.hallym.ac.kr, dhko1205@korea.com

▲ 이정학

서울시 영등포구 영등포동 94-200 (우: 150-030)

한림대학교 한강성심병원 이비인후과

Tel: +82-2-2639-5482

E-mail: leejh@sun.hallym.ac.kr