

# 발성의 음향학 (Acoustics of Speech Production)

경희대학교 영문과  
안 상 철

## 서 론

이 글의 목적은 조음기관의 구조와 그 움직임에 의해 발생하는 음향학적 원리를 소개하는 데 있다. 이 글에서 논의되는 부분은 모음, 마찰음, 비음, 파찰음, 유음, 이중모음, 활음 등이 모두 포함되지만 상세한 논의는 주로 모음, 마찰음, 비음에 한정하여 진행된다. 왜냐하면 이들에 대한 논의가 다른 소리의 분석에 비슷하게 적용될 수 있기 때문이다. 예를 들어 활음(glide)은 모음의 생성에 관한 설명을, 파찰음의 경우는 마찰음의 것을 수정하여 적용할 수 있다.

본격적인 논의를 진행하기에 앞서 이들 세가지 소리의 발생과정을 간단한 Fig.으로 그려볼 수 있다.

Fig. 1에서 (a)의 것은 모음의 발생과정을 보여주고 있는데 후두(성대)의 진동, 즉 유성을 발생이 에너지원이 되며 각각의 모음에 따라 모양이 달라지는 구강과 인두강이 모두 필터의 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 따라서 활음(liquids)이나 이중모음 등은 이러한 모델을 응용하여 설명할 수 있을 것이다. (b)는 마찰음(fricative)의 생성모델이며, 성도의 중간의 공기의 통로가 좁아져 공기의 마찰에 의한 잡음이 생기게 되고 이것이 비음의 에너지원이 되며 성도가 필터의 역할을 하게됨을 알 수 있다. 이 모델은 약간의

수정을 거쳐 파열음과 파찰음의 생성에 대한 설명의 기초가 될 수 있다. 이는 두 소리 모두 성도의 일시적인 폐쇄가 일어나고 그 후 마찰음과 같은 잡음이 생성 되기 때문이다. 끝으로 (c)는 비음에 관한 모형으로 모음과 마찬가지로 성대의 진동이 에너지원이 되기는 하지만 구강과 비강 모두가 필터의 역할을 하고 있음을 보이고 있다.

## 모 음

### 1. 성도와 공명

모음을 포함한 모든 소리의 생성은 물론 성도(vocal tract)가 큰 역할을 하지만 이에 관한 기술은 편이상 한쪽 끝이 막힌 1자형의 끈은 파이프나 튜브 모양의 공명관을 모델로 하는 것이 보통이다. 물론 아주 정확한 기술은 가자형으로 굽은 공명관을 사용하여야 하겠지만 끈거나 굽은 모양의 차이가 공명 주파수에 큰 영향을 미치지 않는다는 일반적인 연구결과에 기초한 것이다<sup>1)</sup>.

우선 다음의 Fig.과 같은 성도의 모형을 가정할 때 한쪽 끝을 막은 얇은 고무판을 성대로 생각할 수 있고 전체 파이프가 공명을 만들어 내는 성도(vocal tract)로 생각할 수 있다.

이러한 공명관은 무한수의 공명 주파수를 만들어 내는데 이들은 한 단계 밀의 공명 주파수에 대하여

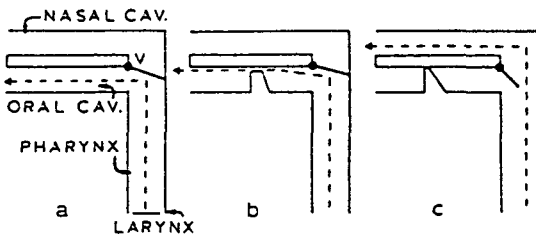


Fig. 1.

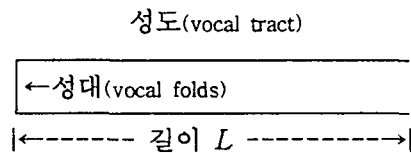


Fig. 2.

1) 이에 대한 논의는 Sondhi(1986) 참조.

홀수배로 증가하므로 다음 (1a)의 수식으로 나타내어진다. 즉 공명관은 공명관 길이의 4배인 파장(wavelength)을 가진 소리에 대하여 가장 효과적인 공명을 하게되며 그 다음 공명음은 (2n-1)이 나타내는 바와 같이 3, 5, 7 등으로 홀수 배의 주파수를 가지게 된다. 예를 들어 공기의 진행속도는 보통 1초에 340m, 즉 34000cm이므로, (성인 남자의) 성도의 길이를 17cm로 가정하면 첫번째 공명 주파수와 두번째, 세번째의 공명 주파수를 (1b)와 같이 얻을 수 있다.

(1) a.  $F_n = (2n-1) \frac{c}{4L}$  (여기에서 n은 정수(整數, integer), c는 소리의 진행속도, L은 공명관의 길이를 나타냄.)

b.  $F_1 = (2 \times 1 - 1) \times 34000 \text{cm/sec} / 4 \times 17 \text{cm} = 500 \text{Hz}$

$F_2 = (2 \times 2 - 1) \times 34000 \text{cm/sec} / 4 \times 17 \text{cm} = 1500 \text{Hz}$

$F_3 = (2 \times 3 - 1) \times 34000 \text{cm/sec} / 4 \times 17 \text{cm} = 2500 \text{Hz}$

이 수식으로 부터 우리는 성도의 길이 L을 짧게 하거나 길게 하면 공명 주파수가 변하게 됨을 예측할 수 있다. 실제로 성도의 길이가 성인 것의 반 정도로 짧은 유아(infant)의 경우 공명 주파수는 1000, 3000, 5000 Hz로 나타난다(이 계산은 성도의 길이를 8.5cm로 계산해 보면 알 수 있다). 결국 이러한 연산과정으로 부터 성도의 길이가 짧아지면 공명 주파수가 높아지지만, 반면에 성도의 길이가 길어지면 공명 주파수가 낮아진다는 점을 예측할 수 있다. 따라서 남자의 경우 보다는 여자의 경우에, 성인의 경우 보다는 유아의 경우에 형성음의 분포가 높은 주파수대에서 나타난다.

이상에서 제시된 공명 주파수의 생성은 공명관, 즉 성도가 균일하게 열린 상태로 유지되는 경우이므로 [a]와 같은 중성모음(neutral vowel)을 발음할 때 얻어질 수 있다.

그러나 성도의 모양이 달라지는 다른 모음의 경우는

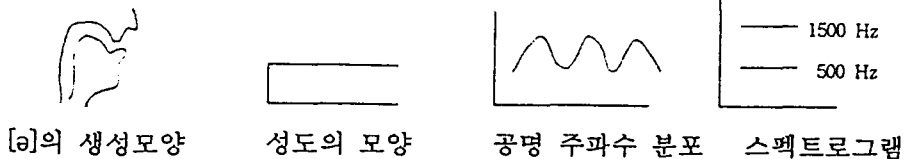


Fig. 4.

같은 성도의 길이를 유지하나 성도 모양의 변화로 이를 기술할 수 있다(물론 여기에서도 성도의 모양이 실제와는 달리 곧은 공명관과 유사한 것으로 가정한다.). 다음의 Fig.은 각 모음의 성도의 개략적 모양과 그에 따른 공명 주파수 분포를 보여준다. 여기에서 각 모음의 스펙트럼의 정점(peaks)이 공명관의 공명 주파수에 해당하는데, 서로 다른 성도의 모양을 가진 각 모음에 나타난 공명 주파수가 서로 1000 Hz 정도 떨어져 분포되어 있는 중성모음의 경우와 다른 양상을 보이고 있다.

끝으로 성도인 공명관과 성대의 진동인 에너지원의 사이에는 어떠한 관련성이 있을 것으로 생각해 볼 수 있다. 그러나 실제로는 이 두 요소가 상호 독립적인 것으로 나타난다. 이점은 화자가 어느 모음을 피치의 높낮이를 달리해서 발음하여도 청자는 이를 같은 모음으로 인식하게 된다는 점을 설명한다. 왜냐하면 피치는 에너지원인 성대의 진동에 의해서 결정되지만, 모음의 음가인 공명 주파수는 성도의 길이와 모양에 의해서만 결정되기 때문이다. 즉 에너지원의 주파수의 변화는 그 에너지를 이용하는 공명관의 공명 주파수에는 아무런 영향을 미치지 못한다.

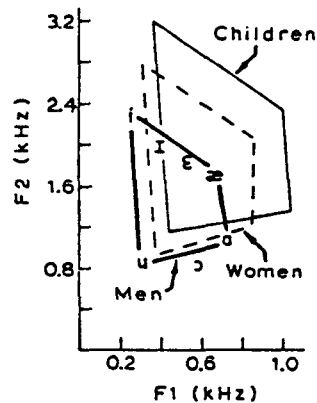


Fig. 3.

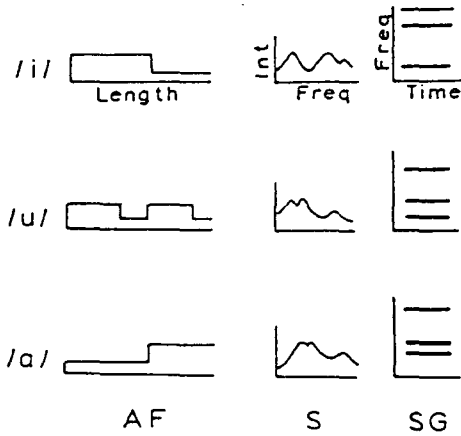


Fig. 5.

## 2. 음원-필터 이론(Source-Filter Theory)

모음의 생성에 대한 가정 보편적인 이론이 ‘음원-필터 이론(Source-Filter Theory)’이다. 이 이론의 기본은 이미 Fant(1960)에 의해 제시되었는데, 입밖으로 방사되어 나오는 에너지는 성대에서 발생하는 음원(音源) 에너지와 필터의 역할을 하는 성도에 의해 만들어 진다는 것이다<sup>2)</sup>. 이 이론을 자세히 이해하기 위하여는 성대의 진동에 의해 생기는 음원 에너지를 스펙트럼의 관점에서 보아야 한다. 그리고 소리의 생성에 대한 에너지원-필터 이론의 적용은 소리의 생성에 세가지 요소가 주요 역할을 하는 것으로 가정한다. 이 세가지 요소는 성대의 진동에 의한 ‘후두 스펙트럼(laryngeal spectrum)’, 성도의 필터기능에 의한 ‘형성음(形成音, formant)’, 그리고 공기가 입밖으로 방출될 때 나타나는 ‘방사 특성(radiation characteristic)’이다.

우선 ‘후두 스펙트럼(laryngeal spectrum)’이란 성대의 진동에 의해 발생하는 음원 에너지가 다음 Fig과 같은 음향 스펙트럼으로 나타난 것을 가리킨다. 즉 소리를 생성할 수 있는 음원이 되는 공기 에너지가 성대의 진동수에 의해 결정되고, 그 결과로 상호 분리된 비연속적 주파수로 나타나는데 이를 다음과 같은 직선의 막대 모양으로 나타내지므로 보통 ‘직선 스펙트럼(line spectrum)’이라고 부른다.

이 직선 스펙트럼은 성대의 진동수를 나타내는 기본

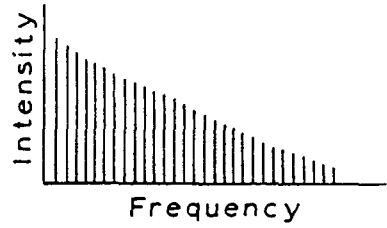


Fig. 6.

주파수(fundamental frequency)의 배수로 나타난다. 따라서 성인 남자의 경우 성대의 기본 주파수가 약 120Hz로 나타나므로 직선 스펙트럼은 그 배수인 240, 360, 480 Hz등이 나타난다. 성인 여자의 경우 기본 주파수는 약 225 Hz이므로 직선 스펙트럼은 이를 포함하여 그 배수로 나타나며, 유아의 경우는 기본 주파수가 약 300Hz에 가까우므로 직선 스펙트럼의 사이가 아주 멀리 벌어져 나타난다. 또한 위의 Fig.에서도 보여진 바와 같이, 기본 주파수와 그 배수인 배음(harmonics)을 나타내는 각 직선 스펙트럼은 주파수가 높아질 수록 에너지의 강도가 줄어들게 된다. 기본 주파수에서 배음으로 올라감에 따른 에너지의 감소정도는 주파수가 배로 될 때 마다, 즉 1 옥타브 위로 올라감에 따라 12dB 씩 줄어드는 것으로 알려져 있다.

이러한 진동 주파수의 변화는 에너지원인 성대의 진동에 의해서만 결정되며 공명강인 성도에는 별 영향을 주지 않는다. 그러나 성대 진동의 강도(amplitude)는 성도에 전달되어 에너지의 정도를 결정하므로 부드러운 소리, 큰 소리 등이 만들어 질 수 있다. 결국 에너지원과 필터의 상호 독립성은 에너지원의 변화에 의해서도 의사전달에 필요한 소리를 생성할 수 있도록 한다. 즉 같은 음가를 유지하면서 피치가 낮은 소리, 높은 소리, 속삭임, 무거운 소리 등의 다양한 종류의 발성을 모두 가능하게 한다.

형성음(formant)이란 성도의 공명(또는 진동) 양식을 나타낸다. 즉 모음의 종류에 따라 성도의 모양이 달라지므로 성대의 진동에 의해 생긴 소리 에너지가 이 모양에 따라 공명하여 다음의 그림에서와 같은 특정한 양식의 공명 주파수 영역이 형성된다.

형성음의 수는 이론상으로 무한할 수 있으나 음성 분석에 주로 사용되는 형성음은 보통 밑의 3~4개를 사용한다. 이를 F1, F2, F3, F4 등으로 부른다. 각 형성음은 보통 ‘형성음 주파수(formant frequency)’로 불리는 중간 주파수, 그리고 주파수 영역의 에너지

2) 이 이론은 선형적인 수학적 모델에 기초하고 있으므로 ‘선형 음원-필터 이론(linear source-filter theory)’로 좀 더 정확히 정의할 수 있다. Kent & Read(1992: 18) 참조.

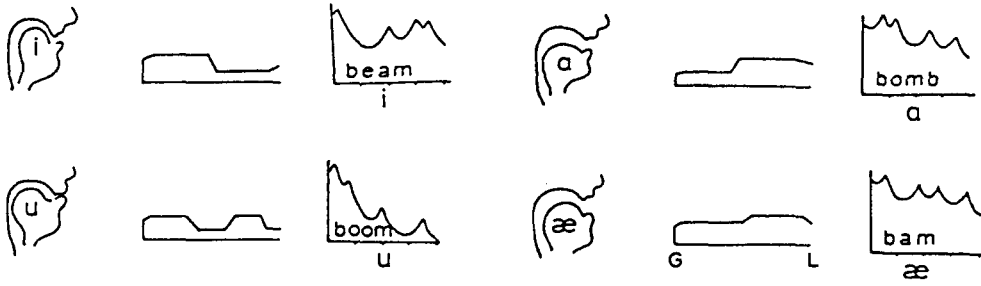


Fig. 7.

폭 (또는 감폭(damping)의 속도)를 측정할 ‘공명주파대(bandwidth)’의 두가지 기준에 의해 기술된다.

이러한 형성음의 분포구조는 성도의 ‘전이기능(transfer function)’을 표시한다. 즉 후두로부터 올라온 에너지를 성도의 모양에 의해 변형시켜 입밖으로 배출되는 출력 에너지로 바꾸어 주는 기능을 한다. 다시 말하면 성도는 소리 에너지를 직접 제공하는 것이 아니라 밑에서 올라온 에너지를 변형시키는 기능만을 담당할 뿐이다.

세번째 요소인 ‘방사 특성(radiation characteristic)’은 소리가 입밖으로 배출될 때 생기는 필터효과이다. 즉 입밖으로 방사된 소리는 공기 중에서 모든 방향으로 퍼지게 된다. 이때 에너지는 방사되면서 에너지가 감소하게 되는데 높은 주파수대 보다는 낮은 주파수대의 에너지 감소가 크다. 이러한 방사 효과는 결국 높은 주파수대의 에너지만 받아 들이는 ‘고주파 필터(high-pass filter)’의 역할을 한다고 볼 수 있다. 이 저주파대와 고주파대의 에너지 차이는 한 옥타브마다 6dB 씩 증가한다.

이 결과는 이미 위에서 살펴본 바와 같이 성대의 진동시 나타나는 직선 스펙트럼의 경우 저주파 영역에서 고주파 영역으로 갈수록 한 옥타브 마다 12 dB 씩 감소하는 것과는 정반대의 현상이다.

이제까지 기술된 모음 발생에 대한 음원-필터 이론을 정리하면 다음과 같은 종합적인 Fig.과 수식으로 나타낼 수 있다.

$$(2) P(s) = U(s) T(s) R(s) :$$

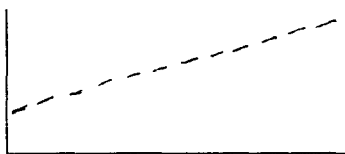


Fig. 8.

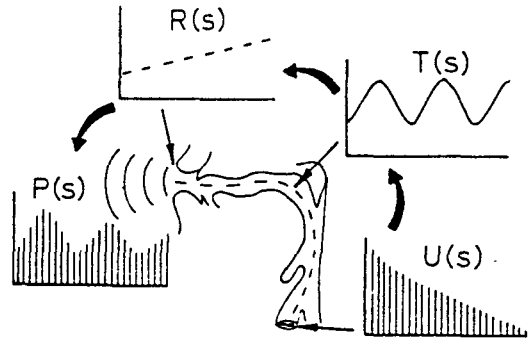


Fig. 9.

$P(s)$  = output spectrum(출력 스펙트럼)

$U(s)$  = laryngeal source spectrum(후두 진동 스펙트럼)

$T(s)$  = vocal tract transfer function(성도 전이 기능)

$R(s)$  = radiation characteristic(방사 특성)

윗 Fig.과 수식은 모음 발생을 위해서는 세가지 요소가 복합적으로 개입한다는 사실을 나타내고 있는데 수식 ' $P(f) = U(f) T(f) R(f)$ '에서  $P(f)$ 는 방사된 소리의 압력 스펙트럼을 나타내므로(즉  $P$  = Pressure,  $f$  = function of frequency), 소리의 출력신호를 시간이나 주파수에 대한 소리의 압력 스펙트럼으로 기술할 수 있다. 여기에서  $U(f)$ 와  $R(f)$ 는 다른 모음이 생성되어도 항상 일정한 값을 갖는다. 왜냐하면 각 모음의 차이는 성도의 전이기능을 나타내는  $T(f)$ 와 결과적으로 얻어지는 방사 스펙트럼  $P(f)$ 로 기술되기 때문이다.

### 3. 섭동이론

‘섭동(攝動)이론(Perturbation Theory)’이란 튜브 공명관, 즉 성도의 특정 부분에 대한 협착(狹狹, constriction)이 형성음 주파수의 변화를 가져온다는 이론이다. 이 이론의 적용되는 방법을 알아보기 위하여 이미 위 Fig. 2에서 설정한 것과 같은 1자 튜브 모양의

성도를 상정한다. 여기에서 이 공명관의 공명 주파수는 통과하는 공기의 속도분포를 나타내는 정상파(定常波, standing wave)로 나타난다. 즉 공명관 내부의 공명 중에 나타나는 공기 압력의 변화는 공명관 내부 각 부분에서 일어나는 공기입자의 진동상태를 나타낸다. 이때 위치에 따라 공기입자의 진동이 최대가 되어 압력이 가장 낮아지는 부분과, 반대로 공기입자의 움직임이 가장 약해지고 압력은 가장 높아지는 부분 등이 생기게 된다. 이런 경우 전자를 최대 속도점 또는 '교점(node)'으로 부르고, 후자를 최소 속도점 또는 '반교점(antinode)'으로 부른다.

공명의 특성은 공기의 속도나 그 반대값을 갖는 압력은 공명관의 길이와 관련이 된다. 또한 공명관이 무한수의 공명을 일으킬 수 있으므로 공기의 진행속도나 압력의 분포는 각 공명에 관련되어 기술된다<sup>3)</sup>. 다음의 Fig.은 성도 안에서 일어나는 세가지 공명의 형태를 보여주는데 이를 형성음을 나타내는 F1, F2, F3로 부른다.

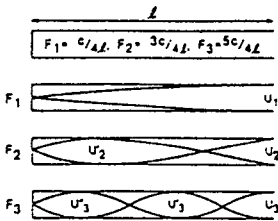


Fig. 10.

우선 첫 공명 F1은 정상파의 분포에 있어 최대 속도점, 즉 교점이 입술을 가리키는 열린 부분의 끝에 나타나고, 최소 속도점인 반교점은 성도의 끝인 후두를 나타내는 막힌 부분에 나타난다. 두번째 공명 F2는 최대 속도점과 최소 속도점인 교점과 반교점이 각각 두개씩 나타난다. 또한 세번째 공명 F3는 역시 3개씩의 교점과 반교점을 갖는다(따라서 n번째 공명은 n개의 교점과 반교점을 갖는 것으로 결론을 내릴 수 있다).

이제 이러한 공명관이 여러 군데에서 협착을 일으킬 때 섭동현상이 나타나는데, 이때 특정 공명 주파수에 대한 섭동의 효과는 성도의 협착이 교점이나 반교점에 얼마나 근접해 있는가에 의존되어 나타난다. 즉 속도

최대점인 교점 가까이 협착이 일어나면 형성음 주파수가 내려가고, 속도 최소점인 반교점 가까이에서 협착이 일어나면 형성음 주파수가 올라가는 결과를 가져온다.

이러한 과정을 실제 구강의 모양을 가지고 성도의 협착과 형성음 F1과 F2 주파수 사이의 관계를 설명해 보기로 한다. 다음의 구강 모형에서 교점을 N(node)로, 반교점을 A(nutnode)로 표시한다. 또한 이에 첨가된 숫자는 해당 ㉠, ㉡형성음(formant)의 숫자이다. 즉 N1, A1, 그리고 N2, A2는 각각 교점과 반교점을 나타낸다. 즉 ㉠, ㉡ 부분이 교점이 되고 ㉢, ㉣는 반교점이 된다.

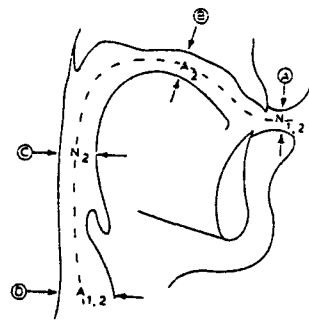


Fig. 11.

이러한 모형에서 관찰할 수 있는 것은 교점 ㉠의 협착(즉, 입술 부분의 협착)은 F1과 F2를 포함한 모든 형성음의 주파수를 감소시킨다. 또한 반교점 ㉢의 협착은 F2를 증가시키며, 교점 ㉡의 협착은 F2를 감소시킨다. 이러한 관계를 실제 모음에 적용시켜 보면 고모음 [i]은 반교점 ㉢ 근처인 입천장 부분의 협착이 일어나므로 F2의 주파수가 높다. 반면에 저모음 [a]은 교점 ㉡ 부분, 즉 인두(pharynx) 부분에 협착이 일어나므로 F2의 주파수가 낮다. 또한 원순모음 [u]은 입술부분 ㉠의 협착으로 인해 F1과 F2의 주파수가 낮다.

섭동이론에 대한 예측성은 다음과 같은 1차형 공명관 튜브의 협착이 F1, F2, F3에 주는 영향을 관찰함으로써 좀 더 상세히 알아 볼 수 있다. 이 Fig.에서 "+" 기호는 이 지점의 협착이 형성음 주파수를 증가시키는 경우이고, 반대로 "-" 기호는 이 부분의 협착이 형성음 주파수를 감소시키는 것을 보여준다 (Kent & Read 1992 : 27).

여기에 나타난 현상을 가장 큰 특징 4가지로 요약해 볼 수 있다. 우선 입술부분의 협착은 모든 형성음

3) 예를 들어 모음을 발음하면서 초음향 마이크를 성도 내에서 움직이면 이러한 압력의 변화를 감지할 수 있다.

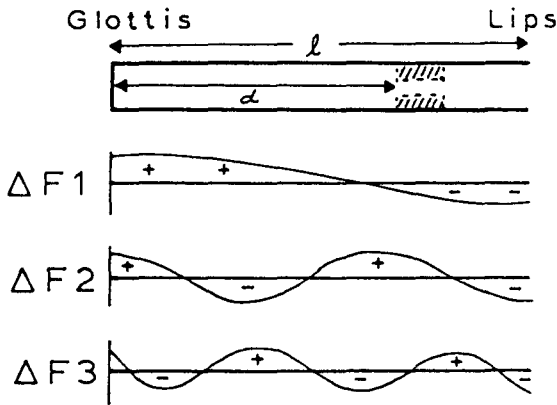


Fig. 12.

주파수를 감소시킨다<sup>4)</sup>. 둘째, 후두의 협착은 모든 형성음 주파수를 증가시킨다. 셋째, F2 곡선의 “-” 부분은 [a] 발음시에 나타나는 혀의 협착에 해당하며, “+” 부분은 [i] 발음시 생기는 혀의 협착을 나타낸다. 마지막으로, F3의 “-” 부분은 입술, 구개, 인두의 협착을 나타낸다. 이상에서 관찰된 예측 관계를 다음과 같이 정리해 볼 수 있다.

- (3) 협착 부분 : 입술      구개      인두      후두  
 예측 결과 : F1, F2, F2 증가 F2 증가 F1, F2, F3 감소 F3 증가  
 해당 모음 : [u]      [i]      [a]

또한 이러한 조음적 현상과 그에 따른 음향적 결과를 Lindblom & Sunberg(1971)은 다음과 같이 요약하고 있다.

- (4) a. 모음의 높이를 조절하기 위하여 턱이 많이 벌어지면 F1이 급격히 올라간다.  
 또한 혀가 연구개 쪽으로 물러나면 F2가 증가한다. F3는 혀가 입천장 쪽으로 올라가면 조그만 턱의 움직임에도 F3가 크게 올라간다.  
 b. 턱을 움직이지 않고 혀몸(tongue body)을 뒤로 옮기면 (200 Hz 근처의) F1이 올라간다. 그러나 앞쪽에서 중간위치로 옮기면 F2가 급격히 떨어진다.

- 4) 입술의 협착은 결국 성도의 길이를 길게하는 결과를 가져온다. 따라서 입술의 협착을 통하지 않고도 성도의 길이를 늘릴 수 있는 방법으로 형성음의 주파수를 감소시킬 수 있다. 예를 들어 입술을 내밀거나 또는 성대의 위치를 낮추어서 성도의 길이를 늘리면 형성음의 주파수가 낮아진다.

중간위치에서 뒤쪽으로 옮기면 턱의 조그마한 열림에도 F2가 올라가지만 턱을 많이 열면 계속 떨어진다.

- c. 성도의 협착을 초래하는 혀몸의 모양은 심한 협착이 일어나지 않는 한 F1에 별 영향을 주지 않는다. 그러나 F2에는 많은 영향을 주어서, 혀몸이 중간이나 뒤쪽에 있을때 협착이 증가하면 F2가 떨어진다. 또한 혀몸이 입의 앞쪽에 있을 때에는 성도의 협착이 F2의 급격한 상승으로 나타난다. 그러나 F3는 이러한 영향을 별로 받지 않는다.  
 d. 입술이 등글게 되면 모든 형성음의 주파수가 내려간다. 특히 F2, F3가 큰 영향을 받는다.  
 e. 후두를 낮추어도 성도의 길이가 길어져서 모든 형성음의 주파수가 내려간다.  
 특히 F2, F4가 큰 영향을 받는다.

#### 4. 모음도의 조음적 구성과 음향적 구성

인간의 성도는 입체적인 3차원적인 뿐 아니라 성도의 각 부분이 위치에 따라 공기가 통과하는 통로의 면적이 다르다. 즉 다음의 Fig. (a)에서와 같이 성도는 굽어져 있는 모양을 하고 있을 뿐 아니라 부위에 따라 공기의 통과 면적이 다르다. (b)는 반액체인 고형물질을 성도에 넣어 서서히 굳혀 만든 모형을 나타낸 것이다. 그러나 이미 앞에서 언급한 바와 같이 성도의 굽거나 곧은 모양의 차이는 공명을 일으키는 공명관으로서의 기능에 별 영향을 주지 못한다. 따라서 원래의 굽어있는 모양을 곧게 펴고 이를 논의의 편이상 다시 2차원적으로 그려 놓은 것이 (c)의 Fig. 이다.

이러한 Fig.을 기초로 자주 쓰이는 몇가지 모음의 생성에 필요한 성도의 모양과 형성음을 나타내는 음향

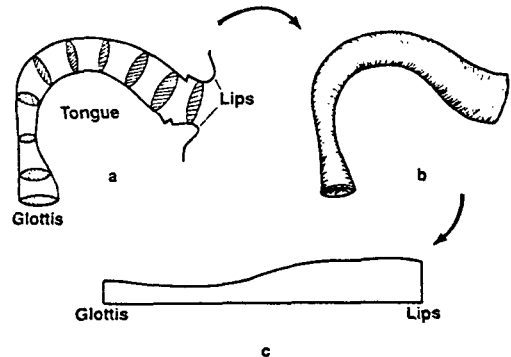


Fig. 13.

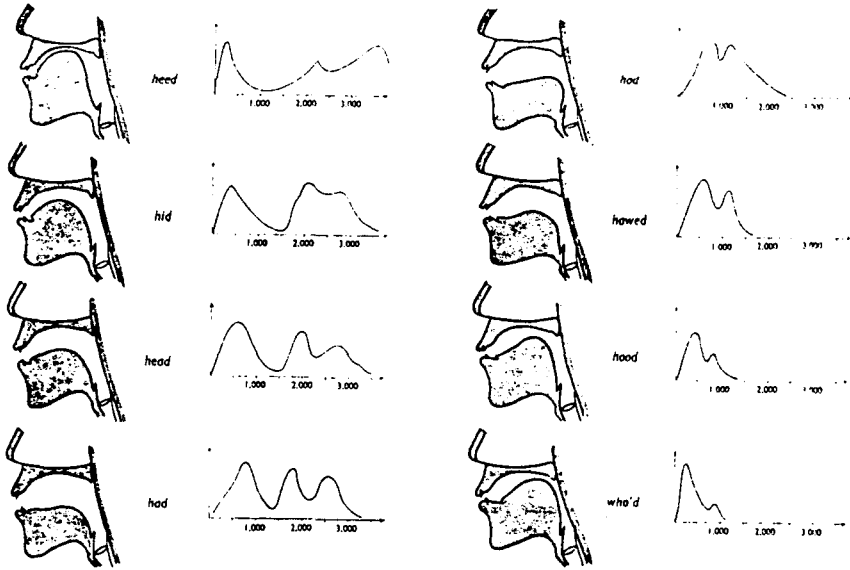


Fig. 14.

스펙트럼인 포락선(包絡線, envelop of the spectrum)은 다음과 같다(Ladefoged 1962 : 96~97).

위에 나타난 음향 스펙트럼의 정점은 형성음(formant)의 위치를 나타낸다. 이 형성음의 분포 중에서도 특히 처음의 두개, 즉 F1과 F2가 모음기술의 중요한 기준으로 쓰인다. 예를 들어 고모음(high vowel) [i]와 [u]는 F1의 수치가 낮지만, 저모음인 [a]와 [æ]는 반대로 F1의 수치가 높다. 따라서 모음의 높이와 F1의 값은 반비례 하는 것으로 나타난다. 한편 전설모음(front vowel)과 후설모음(back vowel)의 경우 전설모음의 F2는 높이 나타나고 후설모음의 F2는 낮게 나타난다. 이러한 관계를 Fig.으로 나타내면 다음과 같다<sup>5)</sup>.

이러한 관찰은 조음과정을 직접 관찰하지 않고도 음향적 자료만으로도 모음의 위치를 표시할 수 있는 길을 열어준다. 예를 들어 F1의 값이 증가하면 혀의 위치가 올라가며, F2의 값이 올라가면 혀가 앞쪽으로 가고 있다는 예측이 가능하게 된다.

이러한 관찰결과는 언어보편적인 모음체계의 조음적, 음향적 타당성을 증명하는데 응용이 될 수 있다. 즉 모음이 3개만으로 구성되어 있는 (에스키모) 언어의 경우 이 기본 3모음은 반드시 [i, a, u]로 구성된다(Lass 1984). 그런데 3모음 체계의 모음이 이 세 모음으로 구성될 수 밖에 없는 이유를 조음학적 측면과 음향학적 측면에서 설명할 수 있다. 우선 조음학적 측면에서 모든 가능한 모음 중에서 이 세 모음이

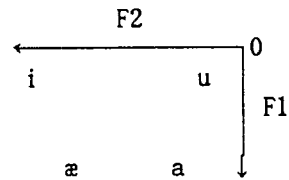


Fig. 15.

가장 조음위치가 최대로 떨어져 있다는 점이다. 즉 최소 수의 모음으로 많은 수의 모음이 갖는 것과 같은 기능을 수행하려면 가장 변별적인 모음을 선택할 수밖에 없다. 그런데 이 현상을 음향학적 측면에서 분석해 보면 역시 이 세 모음의 형성음 F1과 F2의 분포가 Fig. 15에서와 같이 가장 최대의 대조를 보이는 쌍으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 이를 '최대 대조의 원칙(Principle of Maximal Differentiation)'이라고 부를 수 있을 것이다<sup>6)</sup>. 이러한 원리는 우리 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 교통신호등에 비유하여 생각할 수 있다. 즉 신호등의 색깔은 빨강, 초록, 노랑의 가장 대조적인 3색으로 구성되어 운전자들이 혼동을 일으키지 않고 효율적으로 신호체계를 따라 진행하고 정

5) 실제로는 전설모음과 후설모음의 관계를 바로 F2 값만으로 정하는 경우 인지적 척도에서 정한 우리의 모음도와 많은 차이를 보인다. 따라서 이를 보완한 방법이 F2에서 F1을 뺀 값으로 이 관계를 나타내는 것으로 Ladefoged(1993)이 제안한 방법이다.

6) 김진우(p.c.)

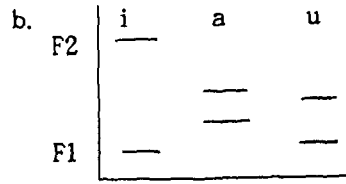
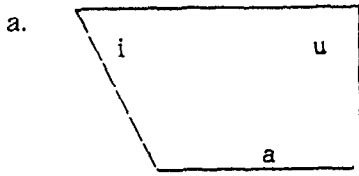


Fig. 16.

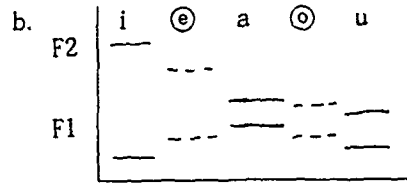
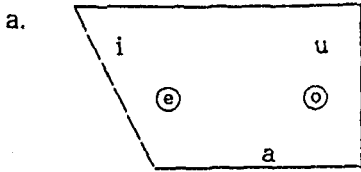


Fig. 17.

지할 수 있도록 도와준다. 그러나 만약 이 신호등의 색깔 배합이 빨강, 자주, 주홍 등으로 되어 있다고 가정할 때 이는 운전자들에게 교통신호 인식의 혼란을 주어 정확한 판단을 내릴 수 없도록 하게 될 것이다. 언어의 경우도 마찬가지로 의사소통에 필요한 최소 음소(Phoneme)의 구성은 가장 대조를 크게 보이는 것으로 구성되는 것이 당연한 결과이다(자료는 Ladefoged(1993 : 193)에서 인용.).

소수의 모음으로 가장 효율적으로 변별적 기능을 수행할 수 있는 체계가 [i, a, u]라는 점을 보여주는 셈이다. 이러한 결론은 다시 일반적으로 흔히 발견되는 5-모음 체계의 경우 [i, e, a, o, u]로 나타나는 점으로 확대되어 적용될 수 있다. 이러한 모음체계는 스페인어나 일본어가 여기에 속하는데, 조음학적으로는 가장 변별적인 모음체계는 [i]와 [a] 사이에 위치한 [e]와, [u]와 [a] 사이에 놓인 [o]이 첨가된 [i, e, a, o, u]의 모음체계를 예측할 수 있다. 또한 이러한 예측은 음향학적인 측면에서도 그대로 유지된다.

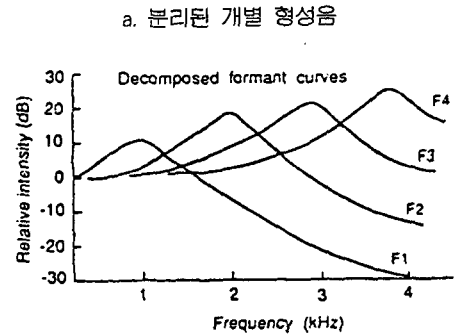
따라서 새로 추가된 모음 [e]의 F1과 F2의 배열이 [i]와 [u]의 F1, F2의 중간값을 갖는 것으로 예측할 수 있고, 이는 [o]의 경우에도 마찬가지로 [u]와 [a]의 중간값을 가지는 것으로 나타난다.

### 5. 형성음의 진폭과 주파수의 관련성

후두에서 발생하여 공명을 일으키는 대부분의 에너지는 주파수가 5KHz 이하이다. 따라서 모음 분석에 쓰이는 형성음은 이 영역에 들어가는 F1, F2, F3 정도이고 필요한 경우 F4나 F5 까지 이용이 되기도 하지만 그 이상의 형성음은 무시된다. 그런데 각 형

성음은 개별적인 공명에 의해 나타난 것이지만 다른 형성음에 의해 영향을 받는다. 이러한 관계를 설명하기 위하여 다음의 그림을 소개한다.

이 Fig.은 모음 발생시 나타나는 모음의 스펙트럼을 구성하는 각 형성음을 따로 분리하여 표시하고 이들의 상호 영향을 분석하기 위한 것이다. 우선 가장 눈에 띄는 것이 모음 스펙트럼의 가장 낮은 주파수 영역에 속하는 F1의 개별적인 실제 주파수가 다른 것 보다 크지 않다는 점이다. 그 이유는 다른 형성음 에너지의



### b. 형성음의 조합에 의해 나타난 모음 스펙트럼

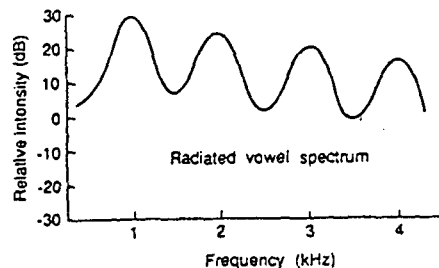


Fig. 18.



꼬리 부분이 F1의 에너지에 더해져서 F1이 가진 에너지를 증폭시키기 때문이다. 이러한 관계는 F2의 경우에도 마찬가지이다.

이미 앞에서 논의된 바와 같이 섭동이론은 성도의 부분 협착이 형성음 주파수의 변화를 초래한다는 예측을 한다. 그런데 거꾸로 형성음 주파수를 변화시킴으로써 형성음의 진폭을 변화시킬 수도 있다는 관찰을 할 수 있다(Kent & Read 1992 : 28). 즉 형성음 사이의 진폭 관계는 이들의 주파수와 연관되어 있다는 사실을 지적할 수 있다. 이러한 관계를 정리하면 다음과 같다.

- (5) a. F1 주파수가 높아지면(/낮아지면) 고주파수 영역의 형성음이 낮아진다(/높아진다).
- b. F1 주파수가 낮(/높)아지면 F1의 진폭이 감소(/증가)한다
- c. 두 형성음의 주파수 차이가 좁아지면 이들의 진폭이 증가한다.

Fig. 19는 중성 모음의 경우를 그려본 것인데 (a)에서는 F1 주파수가 낮아지면 다른 형성음의 진폭이 줄어드는 것을 나타낸다. (b)는 F1, F2가 접근하면 진폭이 커진다는 점이 나타내며, (c)는 F2와 F3가 근접하면 F1의 주파수는 낮아져도 F2와 F3의 진폭이 증가함을 보여준다. (d)에서는 F1과 F2의 주파수가 줄어들면 모든 형성음의 진폭이 작아진다. 그러나 F1과 F2의 진폭은 오히려 상호 증폭을 시키고 있다. 마지막으로 (e)에서는 F1의 주파수 증가가 다른 형성음의 진폭을 모두 높이는 효과가 있음을 보이고 있다.

### 마찰음과 파열음

자음은 모음에 비해 소리의 크기가 모음에 비해 낮지만 소리의 인식에는 결정적인 역할을 한다. 자음의 분류는 조음위치, 조음방법, 유성/무성, 비음/구

강음 등의 조음 특성에 따라 이루어진다. 그러나 자음의 음향적 기술은 주로 조음방법(manner of articulation)의 측면에서 이루어진다. 또한 성도에서 이루어지는 자음의 공명 과정은 모음의 것 보다 훨씬 복잡한 양상을 보인다. 그 이유는 성도의 내부에서 심한 협착(狹窄, constriction)이 일어나 성도를 실질적으로 두 부분으로 분할하기 때문이다. 즉 입술과 성도의 협착부분 사이는 모음의 경우와 마찬가지로 한쪽 끝이 막힌 공명관으로 생각할 수 있고 자연 공명음 주파수도 모음의 경우와 같이 계산할 수 있다. 그러나 성대와 성도의 협착부분 사이의 통로는 양쪽 끝이 모두 막힌 공명관으로 간주하여야 한다.

#### 1. 마찰음과 음원-필터 이론

모음과 가장 큰 대조를 보이는 것이 마찰음으로, 다음의 Fig.에서 보는 것과 같이 음향관 내부의 심한 협착으로 만들어진다. 이 음향관 내의 협착은 호스로 정원에 물을 뿌릴 때 사용하는 노즐의 기능을 한다. 따라서 성도 내부의 협착은 이곳을 통과하는 공기가 제트기류를 만들게 하고 이 제트기류는 근처의 공기와 섞여지면서 소용돌이(eddies)의 난기류(turbulence)를 만들어 낸다. 이 소용돌이는 내부에서 회전을 일으키는 공기의 움직임으로, 고주파대의 속도와 압력의 불규칙한 변화를 야기한다.

성도내의 어느 특정 부분에 협착이 있을 경우 난기류의 잡음이 형성되는데 이때 나타나는 공기의 순간 유출 속도(critical flow velocity)를 '레이놀드의 수치(Reynold's number, Re)'라고 부르며 다음과 같은 수식으로 표시된다(Kent & Read 1992 : 32).

$$(6) Re = vh / \nu$$

(v=flow velocity (cm3/s) (유출속도),

v=점착성 운동계수(kinematic coefficient of viscosity)(공기의 경우 약 0.15cm2/s)

h=공기 유출 부분의 단면적)

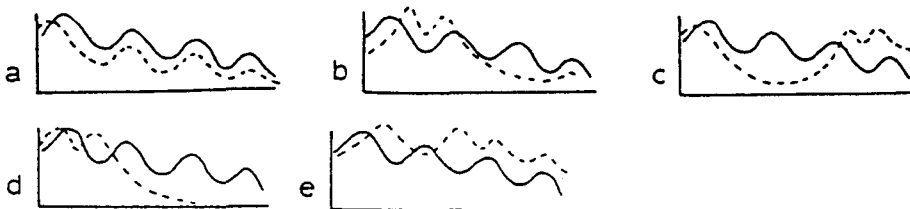


Fig. 19.

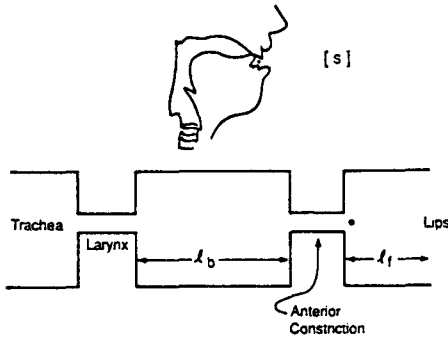


Fig. 20.

한편 공기의 전체 유출량(volume flow),  $U(\text{cm}^3/\text{s})$  이 성도의 단면적과 유속의 곱으로 나타나며, 공기의 유출량은 성도내의 협착의 크기와 공기의 압력을 만들어 내는 성문하압(subglottal pressure)에 의존한다. 따라서 이에 관한 수식과 레이놀드 수치도 다음과 같이 재기술될 수 있다<sup>7)</sup>.

(7) a.  $U = vA$  ( $U$ =공기의 유출량,  $A$ =단면적)

$$Re = U h / \nu$$

b.  $U = kA \sqrt{P_s}$  ( $k$ =常數(constant))

$$\therefore Re = U h / \nu$$

$$= kA \sqrt{P_s} h / \nu$$

$$= kh \sqrt{P_s} / \nu$$

마찰음을 생성하는데에는 최소한 두개의 방법이 필요하게 된다(Shadle 1990). 첫째로는 ‘장애물(obstacle source)’로 공기의 흐름이 정상적으로 진행되면서 만나게 되는 단단한 부분을 가리킨다. 예를 들어 치경음(alveolar) [s]의 발음에는 윗니가, 구개-치경음(palato-alveolar) [ʃ]의 발음에는 아랫니가 장애물의 역할을 한다. 이는 마치 수도관의 수량 조절기(spoiler)와 같은 역할을 한다<sup>8)</sup>. 예를 들어 앞니가 빠진 어린이들이 영구치가 나올 때 까지 마찰음의 조음에 애로를 느껴 다른 방식으로 발음을 하게 되는데, 이러한 현상은 앞니가 마찰음 조음에 필요한 공기의 흐름을 방해하여 마찰을 유도하는 조절기능을 하기 때문이다.

둘째, 공기의 흐름과 평행으로 된 단단한 ‘벽(wall source)’이 마찰음 조음시 고려되는 또 하나의 요소이다. 예를 들어, 경구개 마찰음 [a]나 연구개 마찰음 [x]의 조음은 주로 공기의 흐름이 성도의 벽면에 마찰되어 이루어 진다<sup>9)</sup>. 따라서 에너지의 분포는 비교적 완만하게 진행된다.

마찰음은 성도의 어느 부분에서 협착을 일으키고 이 좁아진 통로를 통하여 빠른 속도로 공기의 흐름을 유도하여 생성된다. 이러한 조건은 이미 앞에서 소개한 레이놀드의 수치와 관련되어 있다. 즉 우선 성도의 협착 부분이나 이빨의 근처에서 공기의 난기류가 만들어 진다. 이 난기류는 공기입자의 소용돌이를 말하며 음향관을 자극하게 된다. 그리고 이러한 과정에서 협착 부분 뒤쪽의 통로에서 별도의 음향적 결합(acoustic coupling)이 일어나 결국 협착 부분의 앞뒤 통로가 모두 음향적 자극을 받게된다. 다음의 Fig.이 이 관계를 보여주는데, 위 Fig.의 안면도에 나타난 동그란 점과, 밑 Fig.에 제시된 2-구강 모델의 동그란 점은 모두 잡음의 에너지원을 나타낸다.

이미 모음의 경우를 본 것과 같이 마찰음의 생성도 수학적으로 다음과 같이 ‘전이기능(transfer function)’,  $T(f)$ 로 기술된다( $f$ =function).

$$(8) T(f) = [P(f) Z(f)] R(f)$$

$P(f)$ =성도의 자연주파수, 즉 형성음 생성기능,

$R(f)$ =방사효과(radiation function),

$Z(f)$ =영점(zero) (또는 반형성음(antiformants)) 생성기능)

$P(f)$ 와  $R(f)$ 의 기능은 모음의 경우와 유사하다. 그러나 모음에서 부르는 공명 주파수, 즉 형성음(formants)을 자음의 경우에는 극점(極點, poles)이라고 부른다. 마찰음은 모음과 성도의 모양이 비슷하므로 마찰음의  $P(f)$ 는 모음의 경우와 거의 같다(극점(또는 형성음)의 생성은 성도의 모양에만 의존하고 에너지원의 위치와는 무관하기 때문이다.).  $R(f)$ 의 경우도 모음과 같다. 그러나  $Z(f)$ 는 반형성음(antiformants) 또는 영점(zero)이라는 새로운 개념을 도입한다. (비음의 경우에는 반형성음(antiformants)의 용어를 사용하고 마찰음의 기술에는 영점(zero)이라는 용어를 주로 사용한다. 영점이란 극점의 반대 개념으로

7) 이와 같은 수식에 의해 마찰음의 유출속도는  $100-1000\text{cm}^3/\text{s}$  정도로 알려져 있으며, 마찰음의 잡음에 대한 레이놀드 수치의 비율은  $Re > 800$ 으로 나타낸다.

8) Shadle(1990)에 의하면 장애물은 주어진 공기의 유속의 최대진폭과 연관되어 있다.

9) 공기의 유속에 대한 ‘최대’ 진폭과 관련이 되어 있는 장애물에 의한 조음의 경우와는 달리, 공기의 유속에 대한 ‘높은’ 진폭과 관계가 있으며, 완만한 정점을 가진 스펙트럼을 나타낸다.

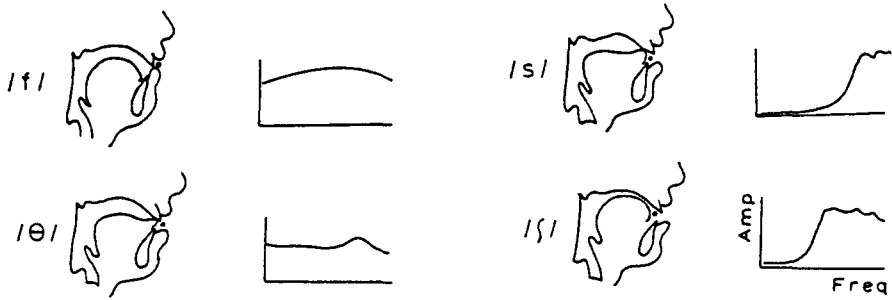


Fig. 21.

에너지 전달의 단절을 나타내어 임피던스(impedance), 즉 에너지 전달의 저항을 의미한다.

영점이 나타나는 경우는 크게 두가지로 나누어볼 수 있다. 첫째는 비음의 생성시 성도가 구강과 비강으로 둘로 나누어 지는 경우이다. 둘째는 마찰음 생성시 구강의 어느 부분이 심하게 협착되어 성도가 앞뒤의 두 부분으로 분할되는 경우이다. 즉 마찰음의 생성시 에너지 전달에 대한 저항이 구강의 앞 부분(front cavity)에서 너무 크게 일어나면 구강의 뒷 부분에서 에너지 공급이 단절되는 현상을 나타나고 소리가 공기중으로 방사되지 못하는 결과를 초래한다. 한편 영점은 극점과 마찬가지로 중심 주파수(central frequency)도 있고 주파수대(bandwidth)도 가지고 있다. 극점과 영점이 같은 주파수와 주파수대를 가지면 상호 상쇄되는 결과를 가져온다.

성인 남자의 경우 후두에서 술까지의 성도의 길이에 따라 평균 1 KHz의 간격으로 극점들이 분포된다. 그러나 마찰음 생성원은 구강의 협착이 입 보다 뒤에서 일어나므로 영점의 분포는 1 KHz 보다 간격이 넓게 나타난다. 만약 길고 좁은 구강의 협착이 입 근처에서 일어나면 극점들과 영점들이 같은 위치에서 나타나게 되므로 그 결과 서로 그 효과를 상쇄시킨다. 그러나 보통 영점들의 분포간격은 극점의 분포간격보다 넓기 때문에 이러한 상쇄현상이 완전하게 나타나지는 않는다<sup>10)</sup>

10) 영점과 극점은 성도협착의 길이가 파장의 1/4 이하인 주파수에서만 서로 상쇄되며, 이 주파수 이상에서는 극점과 영점이 서로 분리되고 영점 보다는 극점의 수가 더 많이 나타난다. 즉 상쇄현상은 마찰음 발생원과 구강의 뒷 부분의 연결이 짧은 경우에 나타난다. 따라서 구강 뒷 부분은 영점 생성에 별 역할을 하지 못하고 주로 구강의 수축이 영점 생성의 주요인이 된다(Kent & Read 1992).

마찰음 생성에 있어서 구강 앞부분의 기능은 그 길이에 의해 결정된다. [f, v] 등에서와 같이 구강 앞부분의 길이가 짧을 때 최저 공명 주파수가 너무 높아지므로 잡음 에너지를 식별하기가 힘들어 진다. 따라서 이러한 마찰음을 [flat], [diffuse] 등의 변별적 자질로 분류한다(cf. Jakobson et al. 1952, Jakobson & Halle 1956, Chomsky & Halle 1968). 반면에 [s, z]에서 처럼 조음위치가 뒤로 옮겨가서 구강 앞부분의 길이가 길어지면 최저 공명 주파수가 낮아져서 잡음 에너지의 식별이 용이해 진다. 예를 들어 [s]의 조음시 협착된 성도의 앞부분의 길이를 2cm로 잡으면 최저 공명 주파수는 약 4 KHz 정도에서 나타난다. 이를 계산하면 다음과 같다(이 수식은 이미 모음의 논의에서 제시된 수식 'Fn=(2n-1)c/4L'을 그대로 적용한 것으로 c는 소리의 속도(340m/s, 34000cm/s), L은 공명관의 길이를 나타낸다.).

$$(9) F_n = c / 4L$$

$$\rightarrow F_1 = 34000\text{cm} / 4 \times 2\text{cm} \approx 4\text{KHz}$$

다음의 Fig.은 이러한 마찰음의 조음과정과 스펙트럼의 모양 사이의 관계를 보여준다.

이제까지 마찰음의 생성에는 구강의 앞부분이 중요 역할을 하는 것을 관찰하였다. 그런데 때로는 구강 뒷부분이 앞 부분과 음향적으로 결합되어(coupled) 마찰음이 생성되는 경우도 있다(성도의 협착이 점차 줄어들게 되는 경우 이런 현상이 나타나며 공명관의 뒷부분이 필터효과를 나타낸다.). 이때 구강의 뒷부분은 양쪽 끝이 막힌 튜브로 생각할 수 있으므로 여기에서 일어나는 공명은 c/2L의 배수로 나타난다(Kent & Read 1992 : 35).. 따라서 구강 뒷부분의 길이를 10cm가 되는 경우 각각의 공명 주파수는 약 1700Hz, 3400Hz, 5100Hz(즉, Fn=n×34000/2×10) 등으로 나타날 것이다. 결론적으로 성도의 양쪽 부

분이 서로 연결되지 않는 경우는 주요 필터기능이 성도의 앞부분에서 일어나지만, 서로 연결되는 경우는 뒷부분도 필터기능에 동참하게 된다. 그리고 성도의 뒷부분은 양쪽이 모두 막힌 공명관의 역할을 하므로  $c/2L$ 의 배수에 해당하는 공명 주파수를 가지게 된다.

## 2. 파열음

파열음은 성도의 완전한 차단으로 인해 음향적인 묵음(acoustic silence) 현상이 나타나고, 이때 증가된 입안의 압력이 한꺼번에 방출되는 과정을 통해 만들어진다. 이때 소리를 밖으로 방출하는 과정은 마찰음의 경우에 비해 훨씬 짧은 시간 내에 이루어진다는 점이 특징이지만 이점을 제외하고는 마찰음의 조음과정과 유사하게 기술될 수 있다. 즉 모음 앞에 위치한 [t]의 파열현상은 [s]의 파열현상이 짧게 나타난 것으로 비유될 수 있다. 또한 에너지를 방출한 뒤 다음 조음과정을 위한 성도 모양의 변화가 일어난다. 그러나 에너지의 방출시간이 아주 짧으므로 형성음의 출현을 감지하기 어려운 점이 있다. 따라서 스펙트로그램에서 파열음의 해석은 인접한 모음을 통해 이루어질 수 있다(파열과정에서 다음 조음과정으로 이동하는 추이(transition)는 보통 50msec이다.). 이와 같은 파열음의 생성과정을 다음과 같이 정리할 수 있다.

(10) 성도 완전차단(vocal tract closure) → 파열(burst) → 추이(transition)

파열음 생성과정의 공명도 마찰음과 마찬가지로 모음의 경우 보다 훨씬 복잡한 양상을 보인다. 그 이유는 성도의 내부에서 심한 협착(狹攢, constriction)이 일어나 성도를 실질적으로 두 부분으로 분할하기 때문이다. 즉 입술과 성도의 협착부분 사이는 모음의 경우와 마찬가지로 한쪽 끝이 막힌 공명관으로 생각할 수 있고 자연 공명음 주파수도 모음의 경우와 같이 계산할 수 있다. 그러나 성대와 성도의 협착부분 사이의 통로는 양쪽 끝이 모두 막힌 공명관으로 간

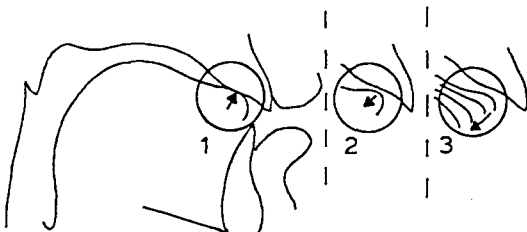


Fig. 22.

주하여야 한다. 따라서 이 두부분의 자연 공명음 주파수는 다음의 수식으로 계산한다(Kenstowicz 1994 : 180).

(11) a. 성대와 성도 협착 부분 사이의 공명 :

$$F_n = (2n-1) c / 4L$$

b. 성도 협착부분과 입끝 까지의 공명 :

$$F_n = (n-1) c / 2L$$

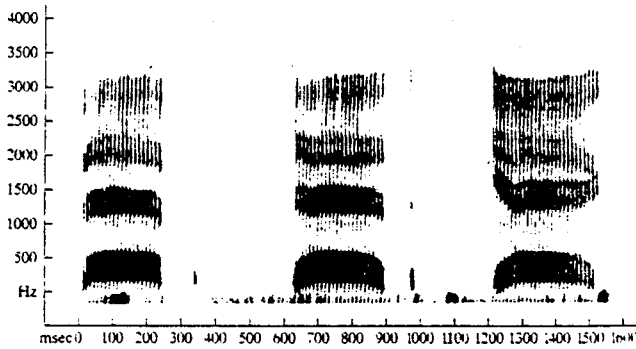
(여기에서  $n$ 은 정수(整數, integer),  $c$ 는 소리의 진행속도,  $L$ 은 공명관의 길이를 나타냄.)

모음의 경우와는 달리 양쪽 끝이 모두 막힌 성도의 협착부분과 입끝(즉, 입술) 까지의 공명은 공명관 길이의 두배를 분모로 사용한다(또한 소리의 진행속도에 대한 배수도( $n-1$ )이 적용되므로 첫번째 자연 공명 주파수는 0이 나오게 된다. 즉  $F_1$ 은 언제나 0으로 나타난다는 것이다.<sup>11)</sup> 그리고  $F_2$ ,  $F_3$ 는 조음위치에 따라 공명관의 길이가 달라지므로 파열음의 종류에 따라 다르게 나타난다. 예를 들어 양순(bilabial) 자음 [b]의 경우 입술이 닫히므로 전체 성도의 길이가 공명관의 길이가 된다. 따라서 성인 남자의 성도를 기준으로 하면 17cm 정도가 되므로 각각 1000 Hz, 2000 Hz 등에서 실제 공명 주파수가 나타난다.

이러한 결과는 형성음 분포가 대략 500, 1500, 2300 Hz로 나타나는 모음 [æ]의 앞 뒤에 [b]가 쓰이면 모음의 형성음이 자음 쪽으로 향해 내려가는 추이를 보이게 된다. 따라서 스펙트로그램에서 명확히 나타나지 않는 양순자음의 존재를 모음 형성음의 추이로 판별할 수 있게된다. 다음의 Fig.은 이와 같은 자음의 조음위치에 따른 공명의 형성과 이들의 인접모음에 대한 영향, 즉 모음 형성음의 추이를 나타낸다.

한편 성도의 협착부분이 구강내에서 뒤쪽으로 옮겨가면 구강 뒷부분의 길이가 짧아지고 앞부분의 길이는 반대로 늘어난다. 따라서 앞부분의 공명은 줄어들지만 뒷부분의 공명은 증가한다. 이러한 관계를 다음의 Fig.이 보여준다(최저 공명은 아주 낮으므로 여기에 표시하지 않는다.).

11) 이에 대한 수식은 다른 학자들과는 차이를 보인다. 예를 들어 (b)의 수식은 ( $n-1$ )을 사용하고 있지만 Borden & Harris(1984 : 124)는 ( $n-1$ ) 대신 그대로  $n$ 을 사용한다. 그러나 후자에서의  $n$ 은 0부터 시작하는 것으로 간주하면 같은 결과를 얻을 수 있다.



bab, dad, gag 의 스펙트로그램 (영국영어 발음, Ladefoged 1993)

Fig. 23.

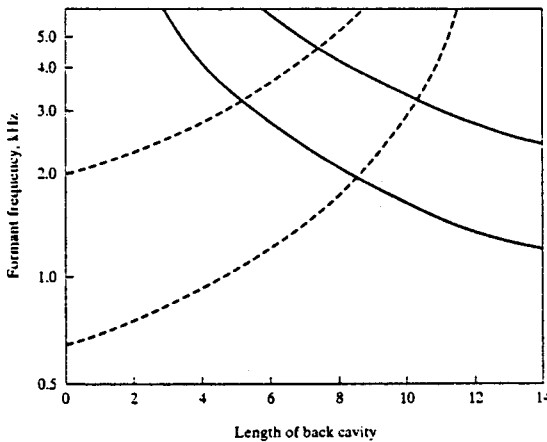


Fig. 24.

윗 Fig.에서 실선과 점선이 서로 교차하는 부분이 있는데 이는 분할된 구강의 양쪽 부분의 공명이 상호 증폭효과를 나타내는 지점을 나타낸다. 즉 파열음의 파열 스펙트럼이나 마찰음의 난기류가 생기는 지점을 나타낸다. 따라서 연구개음의 경우 교차점이 8~9cm, 치경음이나 구개 치경음의 경우는 10~11cm에서 나타난다.

## 비 음

비음(nasal)은 연구개가 구강쪽으로 내려와서 공기가 비강을 통해 빠져 나가는 과정에 의해 생성된다. 우선 비자음(nasal consonants)은 구강이 협착으로 인해 완전히 폐쇄되고 대신 비강(nasal cavity)이 음성 에너지를 방사시키는 과정에 의해 만들어 진다. 비음성 모음(nasal vowel)은 구강과 비강이 모두 열려 에너지가 양쪽 통로를 통해 방사된다는 점이다. 다음

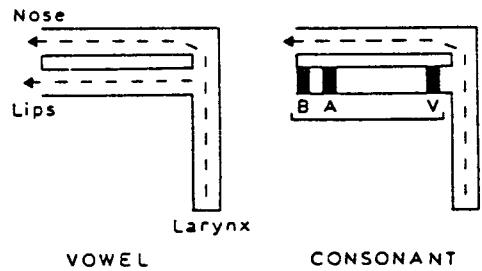


Fig. 25.

Fig.은 비음의 모음과 자음의 생성과정을 나타낸다.

비음화 과정의 음향적 효과는 물론 복잡한 속성을 보이지만 크게 보아 세가지 원칙으로 요약할 수 있다. 첫째, 성도의 분할로 인해 형성음의 정반대 효과인 '반형성음(antiformant)' (또는 '영점(zero)')을 나타낸다. 즉 성도가 구강과 비강으로 나누어지므로 반형성음 부분의 음향 에너지가 성도 내부에서 끊어지는 결과를 가져온다. 둘째, 후두에서 콧구멍까지 연장되는 공명관으로 인해 강한 저주파의 비음 형성음(nasal formant)이 나타난다. 성인 남자의 경우 비음 형성음이 300Hz 정도의 주파수대에 나타난다. 셋째, 비강내부의 부드러운 내벽이 음향 에너지의 상당량을 흡수하게 되어, 형성음의 공명주파대(bandwidth)가 넓게 나타나고 이 부분의 전체 에너지는 감소한다.

마찰음의 경우에서와 같이, 형성음과 반형성음의 평균 간격에 관련된 비음의 생성과정을 설명할 필요가 있다. 우리는 이미 모음의 생성에서는, 성인남자의 경우 약 17cm인 성도의 길이(즉, 성대에서 입술까지의 길이)가 형성음 분포의 중요한 요인이 되며 이때 생성되는 형성음들은 평균 1KHz 정도의 간격을 가지고 있다는 점을 보았다. 비음의 경우는 목젖(uvula)에서 콧구멍까지의 별도의 공명관인 비강이 첨가된

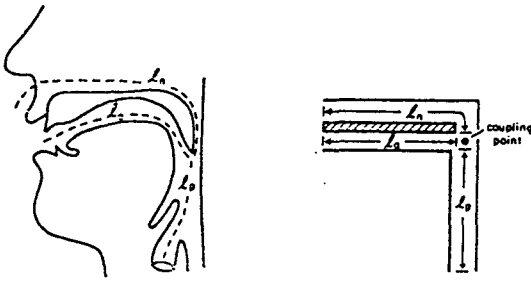


Fig. 26.

다. 즉 다음의 Fig.에서  $l_p$ 는 후두에서 목젓까지의, 즉 인두강의 길이를,  $l_o$ 는 구강의 길이를,  $l_n$ 은 비강의 길이를 나타낸다.

따라서 길이가 약 12.5 cm인 비강에서 생성되는 형성음의 주파수는  $c/2l_n$ 의 계산에 의해 약 1400 Hz의 간격을 가지게 된다. 그런데 비강의 반형성음도 비강의 길이에 의존하고 있으므로 역시  $c/2l_n$ 의 계산에 의해 약 1400 Hz의 간격을 가지고 나타난다<sup>12)</sup>.

위의 Fig.에서 보여진 세개의 공명관은 에너지를 유도하는 기능을 한다. 따라서 형성음 생성은 에너지가 공명관 내부를 자유롭게 통과하여 밖으로 방사되는 경우이고, 반형성음은 그 반대의 경우에 나타난다<sup>13)</sup>. 즉 비음생성을 위하여 구강의 어느 부분이 막힐 때 반형성음이 생기고 그 주파수들은 코를 통한 에너지 방사를 단절시키는 입안(mouth cavity)의 주파수들이다. 이 주파수들은 [m], [n], [ŋ]의 경우 각각 750-1250 Hz, 1450-2200 Hz, 3000 Hz 이상 등으로 나타난다(Kent & Read 1992 : 38). 즉 구강내의 조음위치가 뒤로 옮겨감에 따라 반형성음의 주파수가 올라간다는 결론을 얻는다. 한편 비음 형성음(nasal formant)라고 불리는 저주파 형성음은 250-300 Hz 사이에서 나타난다. 따라서 일반적으로 비음의 형성음은 대략 250, 1000, 2000, 3000, 4000 Hz 등에서 나타나는 것으로 관찰된다<sup>14)</sup>.

### 기타 : 유음, 활음, 파찰음

유음(liquid)에는 언어에 따라 [l], [ɫ], [ʀ]이나 [ʎ], [ʁ], 등 다른 종류의 유음이 나타나는 경우도 있지만 보통 [l]과 [r] 두개가 주로 쓰인다. [l]은 설측음(lateral)이지만 공명도가 높은 자음으로 비음과 유사한 형성음과 반형성음을 보인다. 특히 반형성음은 혀가 잇몸의 가운데를 막아 공기가 양 측면을

통과하게 되는 성도의 양분(bifurcation)현상에 의해 나타난다. 따라서 [l]의 약한 음향적 에너지가 저주파 영역에서 나타나는 것이 특징이다. [r] 역시 비음과 비슷한 공명을 나타내는데 보통 F3가 낮게 나타나는 것이 특징이다.

활음(glide)의 경우는 모음과 같은 과정을 거쳐 생성된다. 그러나 활음은 독립적으로 쓰이지 못하고 언제나 모음과 같이 사용되어 이중모음(diphthong)을 만든다. 따라서 이중모음은 단일 모음과는 달리 형성음의 구조가 중간에서 변하는 모양으로 나타난다. 예를 들어 [oj]의 형성음 패턴은 [o]의 것에서 [i]의 것으로 옮겨가는 모양으로 나타난다.

끝으로, 파찰음의 기술은 속성상 ‘파열음 + 마찰음’의 속성을 그대로 사용할 수 있다. 즉 파열음의 속성을 보이며 시작이 되어 마찰음의 속성을 보이며 발음이 종료되는 ‘굴곡음(contour segment)’이다<sup>15)</sup>. 따라서 앞의 마찰음과 파열음의 생성 모델을 그대로 이용한다.

## 결 론

이제까지 발성과 관련된 음향학의 이론을 소개하

- 12) 따라서 비음화 모음의 생성과정은 구강에서 생성되는 형성음, 비강에서 생성되는 형성음, 그리고 비강에서 생성되는 반형성음이 통합된 것이라고 볼 수 있다. 즉 비음화 모음의 경우는 비강의 형성음과 반형성음이 구강의 형성음에 더해진 것으로 볼 수 있다.
- 13) 내부의 에너지 유도력(Bi)은 인두강의 유도력  $B_p$ 와 비강의 유도력  $B_n$ 의 합으로 나타나며, 형성음들은  $B_i = -B_m$ ( $m = \text{mouth}$ )일 때 나타난다. 즉 이러한 환경에서는 에너지가 공명관을 자유롭게 통과하여 밖으로 방사될 수 있다. 그러나  $B_m = \infty$ , 즉  $B_m$ 이 무한대로 되는 환경에서는 반형성음이 나타난다. 이 경우는 입안의 공명관이 효과적으로 통과 에너지를 차단하여 비강을 통해 방사되는 것을 막는 경우이다(cf. Kent & Read 1992 : 38).
- 14) 그러나 고주파대의 형성음은 조밀하게 나타나면서 넓은 공명주파대(bandwidth)를 가지고 있지만 조음위치에 따라 많은 차이를 보인다(cf. Kent & Read 1992, 2장, 6장 참조).
- 15) 파찰음과 같은 굴곡음(contour segment)은 처음 파열음 생성과정이 있고난 뒤 다시 마찰음의 과정이 순서적으로 진행되므로, 동시에 두가지 조음이 이루어지는 [k p]와 같은 ‘복합음(complex segment)’과는 다르다. 이에 대한 논의는 Kenstowicz(1994 : 43, 499) 참조.

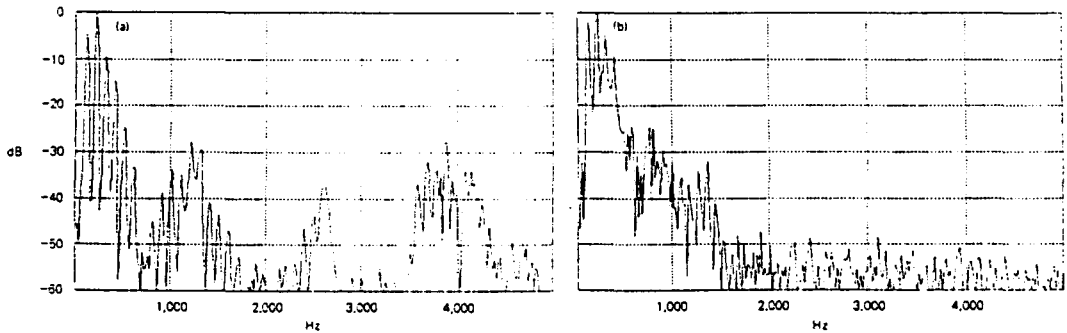


Fig. 27.

였다. 음향이론에 대한 이해가 충분하지 않아도 현장에서 음성분석을 행할 수는 있겠지만 원리에 대한 기본적인 이해는 생각하는 현장실습과 연구의 분위기를 조성하는데 도움을 줄 것이다. 그러나 여기에서 소개된 이론은 음성의 분석과 기술에 도움을 줄 수 있는 근본적인 것에 한정되어 있다. 예를 들어 성도의 모양을 선형적인(linear) 1차형의 모형으로 가정하고 음원과 필터의 독립적인 기능을 기술하였다. 이는 이러한 방식이 대부분 실제적인 현상을 설명하는데 대체로 무리가 없었다는 문헌적인 이유 때문이다. 그러나 좀 더 세밀히 검토해 보면 음원과 필터의 관계는 독립적인 면 이외에 상호 연관성을 보이는 면도 나타날 것이다. 또한 발음기관이 비선형적인(nonlinear) 근육과 섬유질로 되어있다는 생리화학적인 점도 중요한 고려의 대상이 될 것이다. 따라서 보다 포괄적인 이해를 위해서는 비교적 간단한 선형적 이론의 이해를 출발점으로 삼아 지속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

#### References

- 1) Chomsky, Noam and Morris Halle : *The Sound Pattern of English*. New York : Harcourt Brace and Jovanovich, 1968
- 2) Clark, John. and Colin Yallop : *An Introduction to Phonetics and Phonology*. Cambridge : Blackwell, 1992
- 3) Dennes, Peter B and Elliot N, Pinson : *The Speech Chain*. New York : W. H. Freeman and Company, 1993
- 4) Fant, Gunnar : *Acoustic Theory of Speech Production*. The Hague : Mouton, 1960
- 5) Fry, DB : *The Physics of Speech*. Cambridge : Cambridge University Press, 1979
- 6) Jakobson, Roman, Gunnar Fant and Morris Halle

: *Preliminaries to Speech Analysis : The Distinctive Features and Their Correlates*. Cambridge, MA : MIT Press, 1952

- 7) Jakobson, Roman and Morris Halle : *Fundamentals of Language*. The Hague : Mouton, 1956
- 8) Kenstowicz, Michael : *Phonology in Generative Grammar*. Cambridge, MA : Blackwell, 1994
- 9) Kent, Ray D : *Vocal tract acoustics*. *Journal of Voice* 7 : 2, 97-117, 1993
- 10) Kent, Ray and Charles Read : *The Acoustic Analysis of Speech*. San Diego : Singular Publishing Group, Inc, 1992
- 11) Ladefoged, Peter : *Elements of Acoustic Phonetics*. Chicago : University of Chicago Press, 1962
- 12) Ladefoged, Peter : *A Course in Phonetics*. (3rd Edition). Harcourt Brace and Jovanovich, 1993
- 13) Lass, Roger : *Phonology : An Introduction to Basic Concepts*. Cambridge : Cambridge University Press, 1984
- 14) Lidblom, B and J, Sunberg : *Acoustical consequences of lip, tongue, jaw, and larynx movement*. *Journal of Acoustical Society of America* 50 : 1166-79, 1971
- 15) Shadle, CH : *Articulatory-acoustic relationships in fricative consonants*. In WJ. Hardcastle and A. Marchal (eds.) *Speech Production and Speech Modelling*, 187-209. Dordrecht : Kluwer, 1990
- 16) Sondhi, MM : *Resonances of a bent vocal tract*. *Journal of the Acoustical Society of America* 79 : 1113-1116, 1986
- 17) Stevens, Kenneth : *The quantal nature of speech : Evidence from articulatory-acoustic data*. In E. David and P. Denes (eds.) *Human Communication : A Unified View*, 51-66. New York : McGraw-Hill, 1972
- 18) Stevens, Kenneth : *On the quantal nature of speech*. *Journal of Phonetics* 17 : 3-45, 1989