

11. Formant Peaks and Spectral Valleys

Perry Cook

11.1 Standing Waves¹⁾ and Resonance

- 음악적 음향의 과학적 정의
발생 → 전달 → 수용 → 인지
- standing wave의 magnitude 변화와 파형 상쇄

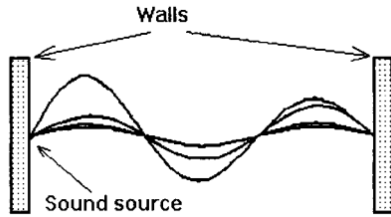


그림 11.1 음원이 왼쪽 벽에 위치하고, 방에서 첫 4번의 움직임의 경우의 Standing wave patterns²⁾

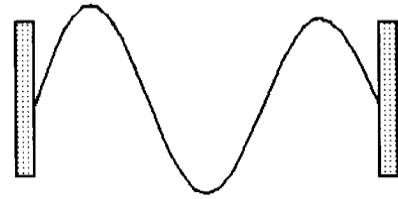


그림 11.2 그림 11.1 의 결과로 생긴 반사된 파형들의 합³⁾

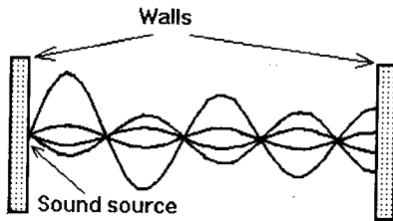


그림 11.3 음원의 주파수가 그림 11.1과 다른 경우의 Standing wave patterns⁴⁾



그림 11.4 그림 11.3 의 결과로 생긴 반사된 파형들의 합⁵⁾

11.2 Destructive Interference, Anti-Resonance

- single point 음원의 경우
 - 직접 경로와 반사 경로(적어도 한번은 boundary에 반사)
 - 수음 지점(pickup)에서 직접음 경로만 있는 경우보다 커지게 됨
 - 파형의 가감 현상 → constructive interference and destructive interference
 - 2가지의 pickup
 - a. resonant node in space : 진동체의 정지점, 2개 파형이 파괴적 가산, 적은 소리
 - b. antinode : 가산되어 큰 소리 초래

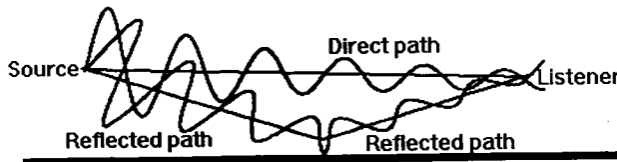


그림 11.5 Destructive interference⁶⁾

1) 스튜디오 또는 조정실의 마주 보고 있는 벽 사이에서 발생한 반사음과 직접음이 부딪히면서 생기는 불필요한 파형. 지역에 따라 원음의 주파수들이 감소 또는 증가한다.(장인석, 사운드 레코딩 테크닉, p. 391)
 2) 3) Perry R. Cook, Music, Cognition, and Computerized Sound p. 129
 4) 5) Ibid, p. 130
 6) 8) Ibid, p. 131

- constructive interference를 유발하는 주파수들 : 스펙트럼에서 peaks 형성
 - 스펙트럼에서 peaks 형성
 - 원래 신호 내에 존재하는 formants⁷⁾를 보강
- destructive interference를 유발하는 주파수들 : 거의 소리가 상쇄되는 valley 형성
 - 일정한 주파수 간격에서의 anti-resonances

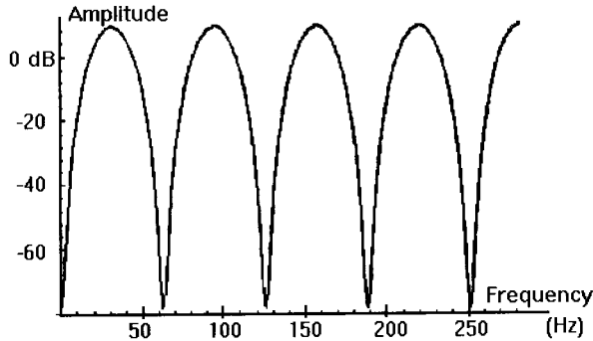


그림 11.6 anti-resonances를 나타내는 전달 함수(transfer function)⁸⁾

11.3 Nasalized Vowels

- 비강으로 들어오는 소리의 cutoff : 연구개가 충분히 들려질 때에만 한 개의 경로 가능
 - 연구개가 낮아지는 경우 : 입술과 코의 두 개의 길
 - 연구개가 열림 : 여러 경로 존재 → anti-resonances가 성대 전달 함수에서 나타남
 - anti-resonances : 엔지니어들에게 zeroes로 불림
 - 이 주파수대역에서의 전달함수의 증가 적음
 - poles : resonant formants 대신 쓰임 : resonant peaks
 - skirts : formants 옆의 떨어지는 부분

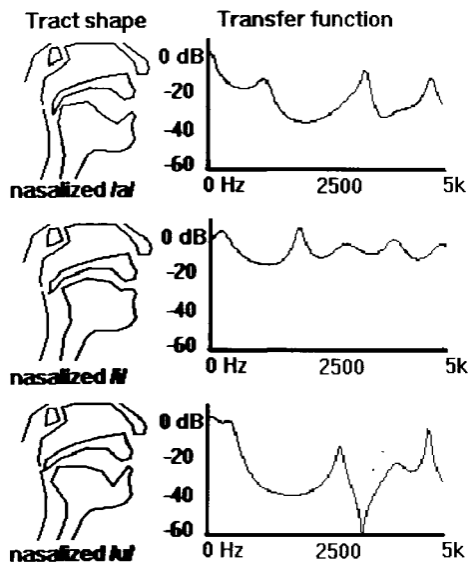


그림 11.7 세 개의 비음 모음들을 발생할 때의 성도의 형태와 전달 함수의 스펙트럼들⁹⁾

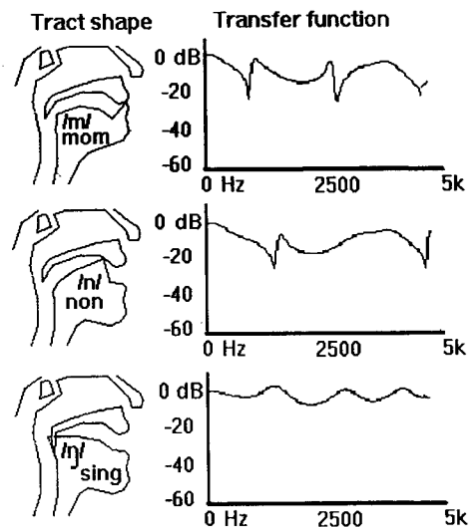


그림 11.8 세 개의 순수한 비음들을 발생할 때의 성도의 형태와 전달 함수의 스펙트럼들¹⁰⁾

7) 모음의 구성소 음

8) Ibid, p. 131

9) Ibid, p. 132

10) Ibid, p. 133

- 순수한 비음 소리 3개 : /m/, /n/, /ng/
 - /ng/ : zeroes 없음, 연구개 낮아지고 혀의 뒷부분이 올라감
 - ← 성도의 입에서의 경로(효과적인 cutoff)
 - ← 인두의 all-pole(resonance) 전달 함수 기능

11.4 Resonance and Anti-Resonances in Rooms

- 단순 공명의 경우 : magnitude 증가
- anti-resonance의 경우 : 공간 내의 한 개 이상의 지점들에서 완전 상쇄
- 인간의 귀 : 공명들(발음상의 formants), 위치, 움직임에 민감
 - : anti-resonances에 둔감
- 성도 주위의 공명을 이동시켜 모음들로 인식되는 formant 패턴들을 형성
- 비음화하려면 : 인간은 제어를 통해 zeroes를 조작함
 - 발생된 zeroes : 평소 듣는 환경(우리 제어하에 없음)
 - ex. 걸어다니며 말함(resonances와 anti-resonances의 이동) : 이해 가능
- zeroes(resultant transfer function zeroes)가 움직일 때, 인식 가능한 이유
 1. 여러 경로에 의해 발생한 공명 : 더 촘촘하고 성도의 formants 보다 천천히 이동
 2. 인간은 anti-resonances에 둔감 : 특정 주파수에서 거의 완전히 상쇄되더라도 formant peaks에 더 예민하여 zeroes를 거의 알아채지 못함
- 낮은 formants들을 갖고 있는 주파수 대역에 민감
 - ex. 전화 : 4000Hz 이하 주파수 낮춤, 소리의 질은 전달되지 않음

표 11.1 남성의 모음 소리들과 첫 3개의 formant 주파수¹¹⁾

SYMBOL	REFERENCE WORD	FORMANT 1	FORMANT 2	FORMANT 3
/i/	beet	270	2290	3010
/ɪ/	bit	390	1990	2550
/e/	bet	530	1840	2480
/æ/	bat	660	1720	2410
/a/	father	730	1090	2440
/ɑ/	bought	570	840	2410
/ʊ/	book	440	1020	2240
/u/	boot	300	870	2240
/ʊ/	but	640	1190	2390
/ɪ/	bird	490	1350	1690

Source: Data from Peterson and Barney (1952).

- 3개의 formants : 250 Hz~3 kHz
 - 3개 중 1개가 이 영역 밖이면 말 비슷하게 이해
 - 3개가 이 영역에 있어야 인간의 말로 이해
- formants 패턴의 변화
 - 목소리 음원의 조작과 목소리의 기본 주파수, 혀 움직임, 턱, 입술 등의 이동
 - 음정과 formant 위치들의 독립성(independence) : 친숙한 지각 현상
- pitch shift
 - tape recorder 속도 빠르게 → formants positions 위로
 - tape recorder 속도 느리게 → formants positions 아래로

11) Ibid, p. 134

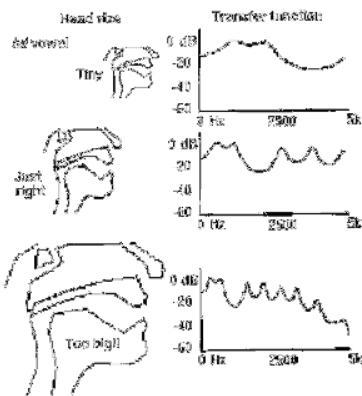


그림 11.9 머리의 크기 대 성도의 전달 함수의 비교¹²⁾

- munchkinification
 - 올라간 음정 : 육체적으로 작은 사람의 소리로 인지
 - 오즈의 마법사의 'Alvin', 'Chipmunks'
 - 낮아진 음정 : 보통 체구보다 더 큰 사람으로 인지 → 만화와 영화의 악당 목소리
- 3개의 formants
 - 250 Hz와 3 kHz 사이에 3개보다 많거나 적으면 대화로 느껴지지 않음

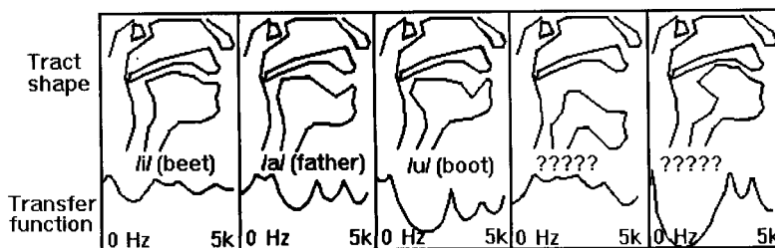


그림 11.10 5개의 성도 형태와 나타나는 전달 함수. 마지막 두 형태는 육체적으로 불가능(불가능한 formant 형태)¹³⁾

11.6 Human Sensitivity to Formant Frequencies and Bandwidths

- 인간 : 첫 번째 3개의 formants의 위치와 관련된 모음 소리에 민감
 - 인지 가능한 모음 소리 : 각각의 3개의 formant 위치에 3개의 sinewave로 합성가능
- Q(quality)
 - peak 위치를 바로 접하여 둘러싸는 formant의 형태
 - 높은 Q : 뾰족
 - 낮은 Q : 넓은

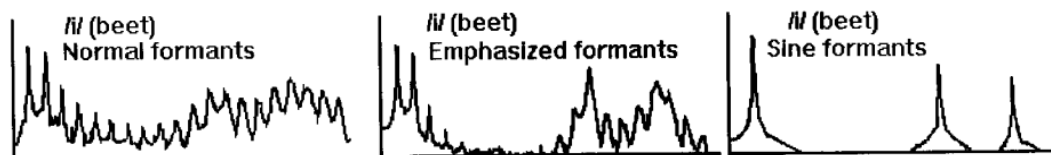


그림 11.11 /i/ 모음의 보통 스펙트럼들. 보통(왼쪽, 가장 자연스러움), 강조(가운데), 3개의 sine wave를 formant 위치에 위치하여 만듦(오른쪽)¹⁴⁾

12) Ibid, p. 135

13) Ibid, p. 136

14) Ibid, p. 137

11.7 Some Final Thoughts on Resonance and Anti-Resonance

- 다수 경로의 상쇄에 의한 홈들(notches)→어떤 한 경로의 길이변화에 따라 한 그룹됨
 - 공동운명의 법칙 : 여러 개의 zeroes가 움직이면 주목되는 이벤트
- Flanging : 레코딩 스튜디오에서의 effect, zeroes가 움직이는 경우
 - 인간은 zeroes를 거리와 음원 방향 결정에 보충 단서로 사용
- singer's formant
 - 성악가나 배우의 훈련된 목소리의 공명된 질의 원인
 - 빈틈없는 clustered formants
 - 후두 내리기, 연구개 구부림, 다른 조음기관의 조작
(모음, 3,4,5 formants 모두를 교차하여 근접하도록, 지속성 갖도록 함)
→ 2500 ~ 4000 Hz 까지 영역에서 넓은 에너지의 peak 유발
 - 위치는 성악가의 voice type에 따라 다름(ex. bass)
- 넓은 에너지 영역 : 풍부한 목소리 음원, 울리는 듯한 질
→ 멀리에서 들리는 듯하고 오케스트라와 필적할 만한 사운드
- 성악가가 formant와 wide vibrato를 조합(그림 11.12)

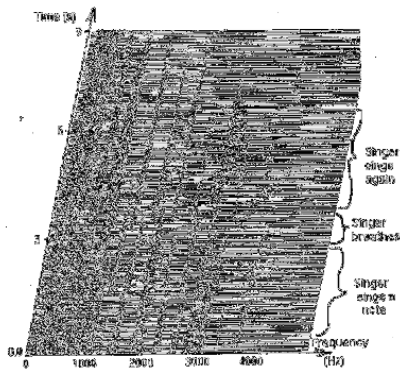
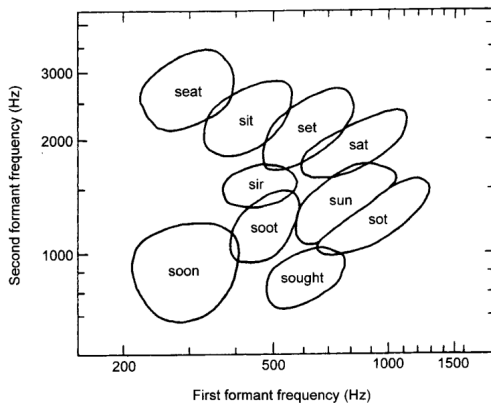


그림 11.12

푸치니의 나비 부인, 소프라노의 아리아 "Un Bel Di Vedremo,"의 마지막 두 개의 음. 첫 3개 배음의 FM(Common frequency modulation)으로 인해 시각적으로 기본음이 잘 보여짐.¹⁵⁾



참조그림 1. 첫 번째와 두 번째 formant 주파수

15) Ibid, p. 138

16) Donald E. Hall, Music Acoustics, p. 306