Clear Speech와 Vowel Reduction

문 승 재
아주대학교 인문대학 영어영문학과

Vowel Reduction in the Context of Clear Speech

Moon, Seung-Jae
Department of English Language and Literature
sjmoon@madang.ajou.ac.kr

요약

보통 말씨(citation-form speech)와 clear speech에서, 영어 전설모음 [i, ɪ, ɛ, eɪ]를 일정한 강세를 갖도록 하고, 모음의 길이를 변화시켜 음향적 분석을 하였다. 그 결과, 모음의 음가가 주변의 자음과 비슷한 값으로 변화하였으며, 그 변화 정도는 모음의 길이와 직접적인 관련이 있었으며, 이러한 변화의 크기는 clear speech에서 더 적었다. 이러한 결과는 clear speech가 단순히 보통 말씨보다 소리가 큰 것일 뿐 아니라, 체계적으로 모음축약 현상을 보상하기 위하여 음향적인 특성을 재구성하는 것임을 시사한다.

1. 서론

1.1 모음축약(Vowel Reduction)

같은 말소리라도 그 음가가 환경에 따라서 매우 큰 범위로 변화한다는 것은 잘 알려진 사실이다. 한 음소가 소리로 구현될 때에는 그 주변 음소에 따라서 상당한 차이를 가져오는 것이다. 이것은 일찍이 모음과 모음 사이의 자음이 주변의 모음에 따라 음가가 바뀌는 것을 spectrograph로 연구한 Öhman(1966)에서 잘 볼 수 있다. 이러한 현상이 바로 동시조음(coarticulation)이라든가 혹은 축약(reduction)현상 등을 초래하게 되며, 이는 궁극적으로 음성학의 최대 관심사의 하나인 음성학적 불변요소(phonetic invariance)의 문제와 직결이 된다.

Tiffany (1959)는 분리되어 있는 모음 (isolated vowels) - 강세가 있는 모음 - 강세가 없는 모음의 순으로 모음사각도가 좁아진다는 것을 관찰하였다. Joos (1948)는 영어의 자음은 모음에 대하여 "수직, 수평적으로 중앙화하는 효과가 있다"고 한 바 있다. Stålhammar 등(1973)과 Karlsson (1992)은 스웨덴어에서 강세가 없는 모음은 "중립적"인 모음쪽으로 음가가 변화한다는 것을 관찰한 바 있으며, Koopmans-van Beinum (1980)은 덴마아크어에서 독립되어 있는 모음보다 자연스러운 대화체에서 모음 사각도가 줄어드는 것을 확인하였다.

이러한 모음축약 현상을 설명하는 데에는 두 가지의 입장이 있다. 전통적인 견해는 중앙화(centralization), 즉 모음이 조음 자체가 [ə] (schwa)와 비슷해지기 때문이라는 것이다. 일례면 Stetson (1951)은 "영어의 경우 모음들에 있어서 규칙적으로 schwa로 끝나는 축약을 볼 수 있다. 속도가 빨라지면 강세가 없을 경우 모든 모음이 schwa로 된다"고 하고 있다.

이와는 달리 모음축약은 주변 환경에 대한 동화(contextual assimilation)이라는 해석이 있다. 즉, 모음이 주위의 자음에 동화되어 조음적으로 그 자음과 가까와지면서, 그 음향적 특성이 자음과 유사해 진다는 것이다.

Lindblom (1963)은 /bVb/, /dVd/, /gVg/ 환경의 모음을 분석하여, Stevens & House (1963)가 기술한 바와 같이, F1과 F2가 모두 규칙적인 양상으로 가상적인 목표에 미치지 못하는 소위 "undershoot" 현상을 보이고 있음을 확인하였다. 이 연구에서 그는 수학적 모델을 적용하여 이 모음축약 현상은 모음의 길이와 자음-모음간의 locus-target 거리에 의하여 좌우된다고 주장하였다. 즉, 모음이 짧을수록, locus-target 거리가 멀수록 모음축약 현상의 폭이 커진다는 것이다. 이 연구는 중앙화 이론과 동화 이론을 시험할 수 있는 자료를 포함하고 있었는데 /bib/와 같은 경우, 중앙화가 맞다면 F1이 올라가야 할 것이고, 동화가 맞다면 F1이 내려가야 맞을 것이기 때문이다. 그런데 자료는 동화를 지지하고 있었다.

Nord (1975, 1986) 역시 동화를 지지하는 자료를 제시하였으며, 어말에서 모음이 schwa와 같이 되는 것 역시 조음 기관이 휴지 상태로 옮겨가며 생기는 일종의 동화로 볼 수 있다고 하였다.

모음축약 연구에 있어서 다른 한가지 중요한 것은 모음의 길이와 강세의 상대적인 중요성 혹은 역할이다. Lindblom (1963)은 모음의 길이가 모음축약 정도의 주된 원인이라고 한 반면, 이와는 어긋나는 자료들이 많이 대두되었다 (Gay, 1978; Kuehn & Moll, 1976; Flege, 1988; Engstrand, 1988; Van Son & Pols, 1990, 1992; Fourakis, 1991). 이 연구들에서는 모음축약 현상이 단순히 모음의 길이에만 좌우되는 것이 아니라 조음기관의 움직이는 속도 (Engstrand, 1988; Kuehn & Moll, 1976)에 좌우되거나, 혹은 같은 길이에서도 다른 정도의 축약 현상을 보였다 (Nord, 1986; Engstrand & Krull 1989).

이러한 모음축약 현상들은 음성학적인 것으로서, 음운론적인 축약 현상과는 다른 것이다 (Chomsky & Halle, 1967, p.111).

본 연구에서는 이러한 음성학적인 모음축약 현상을 clear speech의 환경을 이용하여 규명해보고자 한다.

1.2 Clear Speech

일반적으로 사람은 상황에 따라서 그 말하는 투(speaking styles)[1]를 바꾸기 마련이다. 일테면 소음이 많은 곳에서 말할 때와 조용한 곳에서 말할 때는 여러 면에서 그 방법이 다를 것인데 가장 현저한 현상은 아마도 목소리가 커지는 것일 것이며 (Lombard effect: Lane & Tranel, 1971), 외국인에게 말할 때에는 그와는 또 다른 식으로 말을 하게 될 것이다 (Foreignese: Freed, 1978). 이러한 현상은 매우 당연하게 여겨지는 반면, 이처럼 다른 투의 말씨에 대한 체계적인 음성학적 연구가 본격화한 것은 상당히 최근의 일이다. (그 현실적인 원인의 한가지는 그러한 말씨를 분류할 수 있는 객관적이고 보편적인 방법이 없다는 것일 것이다.)

Chen (1980)과 Chen 등(1983)은 clear speech가 훨씬 더 넓은 모음 사각도를 이루며 그 사각도 안에서 각 모음이 더 집약적으로 배열되어 있다고 하였다. 또한 유-무성 자음의 구별도 더욱 분명했다. 이 이외에도 다른 논문들이 (Summers 등, 1988; Uchanski 등, 1985) 길이, 크기, 피치 등의 증가를 보고하고 있다.

그러나 Ladefoged 등(1976)은 "완전히 자유로운 대화체"부터 목록을 읽는 등 7가지의 다른 말투에서 6개의 단음절을 분석했는데, 말하는 투와 음가와의 의미있는 상관관계를 찾지 못했다고 보고했다.

[1] 'Speaking style'에 해당하는 우리말이 무엇인지는 아직 정립이 되어 있지 않은 듯하다. 본 논문에서는 '투' 혹은 '말씨'라고 쓰고 있으나 다른 문헌에서는 일반적으로 '—체'(낭독체, 대화체 등)로 쓰고 있고, 독립적으로 따로이 'speaking style' 자체를 가리키는 말은 없는 듯하다.

1.3 Clear speech 연구의 배경

Lindblom (1990)은 어떤 화자의 발음은, 상황에 따라서 매우 축약되고 주변 환경에 따라 변하는 발음(hypo-speech)과 주변 환경에 전혀 관계없이 매우 주의 깊게 하는 발음(hyper-speech)의 연속선 상의 어디엔가 있게 된다고 하였다. Hypo-speech란 화자중심의 발음이어서 화자는 "발음의 편이"를 주로 고려하여 "경제적"인 발음을 하게 되는 것이어서 말소리의 발생적인 요소가 중요하게 작용하게 된다 (production-oriented). 반면, hyper-speech는 청자 위주의 상황으로서 의미 전달을 확실히 하기 위하여 주의를 기울이는 말씨로서 말소리의 발생적인 요소보다는 그 결과를 중시하는 것이다 (output-oriented).

"Clear speech"라는 용어 자체가 위에서 언급한 hypo-hyper 연속선상에서 어디에 있는 것인지 정확히 말을 할 수는 없겠으나, 다만 hyper-speech 쪽으로 아주 많이 치우친 극단적인 말투라고 하는데 큰 이견은 없을 것이다. 그렇다면 우리가 일상생활에 쓰는 것과 거리가 먼 이러한 극단적인 말투를 연구해야하는 이유는 무엇인가?

Clear-speech를 연구하는 이유는 'bite-block' 실험과 같은 것이라 할 수 있다. Lindblom 등 (1979)과 Gay 등(1981)과 같은 실험에서 부자연스러운 방법으로 정상적인 조음이 불가능해진 경우에도 화자는 다른 보상적인 조음(compensatory articulation)을 통하여 정상적인 모음의 음가에 근사한 모음을 만들어내었다. 이러한 결과를 토대로, 모음은 신경학적으로 볼 때, 조음적이 아닌 음향적이고 청각적으로 나타내어지며, 우리의 운동기관은 매우 유연하여 여러가지 방법으로 그 목적을 이룰 수 있음을 추론해낼 수 있었다.

이처럼 우리의 말소리 기관을 극단으로 몰으로써 정상적인 조음에 관한 것을 알 수 있을 것이라는 것이 이 clear speech 연구에도 적용되는 것이다. 화자에게 clear speech를 말하게 하면 화자는 좀 더 정확히 의미를 전달하기 위하여 자신의 말소리 기관을 극대화할 것이며, 그 때 일어나는 변화로부터 (만일 실제로 변화가 있다면) 말소리 발생에 대한 정보를 얻고자 하는 것이다.

2. 실험[2]

2.1 실험 자료

실험의 화자는 청각 장애나 언어 장애가 없는 5명의 미국인이다.

실험 자료는 locus-target 거리를 극대화하고, 초점이 되는 모음이 같은 강세를 가지며, 모음의 길이가 체계적으로 상당히 큰 폭으로 변화할 수 있도록 표1과 같

[2] 이 부분은 Moon & Lindblom (1994)의 내용의 일부를 요약했음.

이 고안되었다. wheel, will, well, wail의 단어에 각각 -ing, -ingham을 붙여서 강세는 바꾸지 않고 모음의 길이만 바꾸도록 한 것은 소위 word-length effect를 이용한 것이었다.

모음 길이 최고	모음 길이 중간	모음 길이 최소
wheel	wheeling	Wheelingham
will	willing	Willingham
well	welling	Wellingham
wail	wailing	Wailingham

표 1. 실험 자료

2.2 과정

표1의 단어들을 두 벌의 3"x5" 색인카드에 5번씩 적어서 각각 무작위로 섞은 후 화자들에게 읽도록 하였다. 각 화자는 3회의 녹음을 했는데 첫번째는 네 개의 전설모음을 /h_d/ 환경에서 읽는 것이고, 두번째는 보통 말씨로, 마지막 세번째는 clear speech로 읽도록 하였는데, 보통 말씨로 읽을 때에는 별다른 지시없이 편안히 읽어달라고 부탁했으나, clear speech로 읽을 때에는 특별히 "가능한 한 똑똑히" 발음해 달라고 부탁을 하였다. 그리고 clear speech 녹음을 할 때에는, clear speech mode를 계속 유지하도록 하기 위하여 간간히 인터폰을 통하여 못알아들었으니 다시 한 번 반복해달라고 하여 주의를 환기하였다. 따라서 각 화자는 60개의 보통 말씨 자료와 72개의 clear speech 자료를 녹음하였다.

2.3 자료 처리 및 분석

녹음된 자료는 VaxStation II/GPX에 입력하였으며 MIT SpeechVax 소프트웨어를 이용하여 분석하였다.

3. 결과

3.1 말투에 따른 formant의 변화

모든 화자의 결과로부터 모음축약 현상을 발견할 수 있었으며, 그 정도는 clear speech가 보통 말씨보다 훨씬 적었다. 이러한 결과는 그림 1에 잘 나타나 있다.

그림 1의 x 축은 모음이며, y 축은 각 모음 별 실제 모음의 F2 측정치(F20)의 절대값에서 그 모음의 예상 목표(F2t) (/h_d/ 환경에서 얻은 값)의 절대값을 뺀 값을 나타내고 있다. 따라서 음수의 값이 클수록 축약현상이 많이 일어난 것을 가리킨다. 그림 1은 5명의 화자의 값을 모두 평균한 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 축약현상은 두 말씨에서 모든 모음에 다 일어났으며 그 정도는 clear speech에서 훨씬 적었다.

3.2 모음의 길이에 따른 formant의 변화

모음의 길이를 중심으로 보면, 모든 화자의 결과에서 역시 모음의 길이에 따라 formant가 변함을 알 수

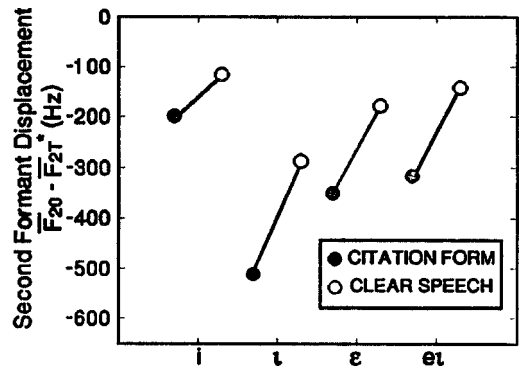

그림 1. 환경에 의한 F2의 축약현상. 각 화자의 경우 모음의 F2 변화 속도가 0인 부분에서 F20 값을 측정했음. 각 화자 당 최소한 15개의 자료를 평균했으며 그 평균값으로부터 전체 평균값을 구했음.

있었다. 5명의 화자 중 1명의 결과만 그려보면 다음 장의 그림 2와 같다. 그림 2의 x 축은 모음의 길이이며, y 축은 F2 측정치이다. 화살표는 해당모음의 목표값 (/h_d/ 환경값)과 주변 환경(/w/)의 F2 값을 표시한다. 검은 점은 보통 말씨를, 흰 점은 clear speech를 나타낸다. 그림 2에서 보듯이, 모음의 길이가 길수록 F2가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 반대로 모음이 짧아질수록 F2는 목표에서 멀어져서 점점 /w/ 쪽으로 가는 것을 볼 수 있다.

이와 같은 자료에 다음과 같은 Lindblom (1963)의 수학적 모델을 적용해 보았다.

$$F20 = a*(F2L-F2T)\,e^{-\alpha D} + F2T \qquad (1)$$

F20: 모음의 F2 값
F2L: locus (/w/)의 F2 값
F2T: 예상 목표값 (/h_d/ 환경 값)
D: 모음의 길이
a, α: 상수

이 방정식을 변형하면 다음과 같이 된다.

$$\ln[(F20-F2t)/(F2L-F2T)] = \ln(a) - \alpha D \qquad (2)$$

이 방정식의 왼편은 D, 즉, 모음의 길이와 선형 관계에 있음을 알 수 있다. 따라서, linear regression 분석을 통하여 각 모음, 말투, 화자에 따라서 절편에 해당하는 ln(a)과 기울기에 해당하는 -α를 구해보았다. 그랬더니 20개의 경우(4개의 모음*5 화자) 중 9개에서 상관계수 0.8 이상의 결과를 얻었다.

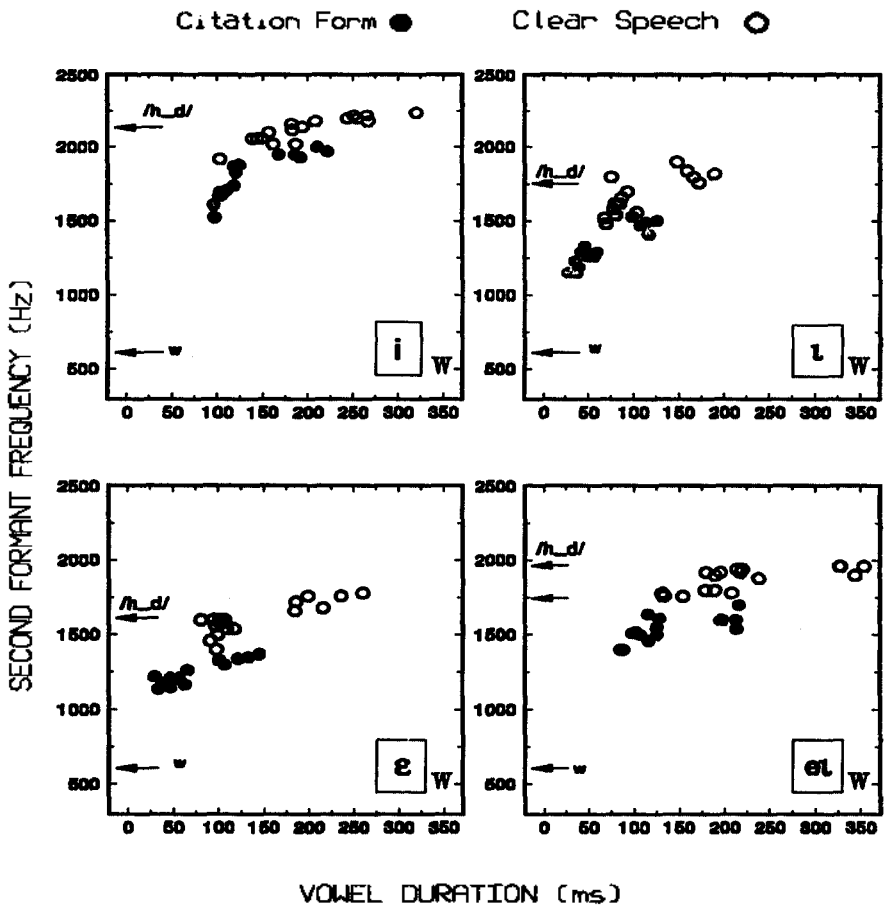

그림 2. 모음 길이에 따른 F2의 변화: 화자 W의 자료

3.3 모음축약 현상과 F2의 변화 속도

앞에서 보았듯이 모음축약은 조음기관이 움직이는 속도와도 관계가 있었으므로 (Kuehn and Moll, 1976; Flege, 1988), 이 자료로부터 조음기관의 움직이는 속도를 알아보기로 하였다. 이를 위하여 /w/ 조음점으로부터 모음부분의 가장 높은 F2까지의 차이(ΔF2)를 측정하였다. 그리고 가장 높은 F2로부터 ΔF2의 25%만큼 내려온 점과, /w/로부터 ΔF2의 25%만큼 올라간 점을 선택하여 그 사이의 시간차 ΔT를 구하였다. 그리고 그로부터 ΔF2/ΔT를 평균 움직임 속도로 산정하였다. 그 결과를 |F2L-F2T|에 맞추어 그려보면 다음 장의 그림 3과 같다.

그림 3에서 보면 대부분의 경우 clear speech의 경우 보통 말씨보다 훨씬 더 빠른 속도를 보여줌을 알 수 있다. 즉, clear speech일 때 F2가 더 빨리 변하고 있다고 하겠다.

4. 논의

위의 결과들, 특히 방정식 (1)은 모음축약 현상이 중앙화가 아닌 동화 현상임을 입증한다고 할 수 있을 것이다. 이것은 그림 2에서도 명백히 볼 수 있었다. 만일 축약 현상이 schwa로 변화하는 과정이라면 F2가 1500 Hz 경으로 움직여야 할 것이나, 모음의 길이가 짧아짐에 따라 F2는 1500 Hz보다도 더 낮은 /w/ 값으로 가까이 가고 있음을 명백히 볼 수 있다.

또한 위의 결과는 모음축약 현상이 모음의 길이와도 관계가 있지만 그 외에 다른 요소들과도 관계가 있음을 보여주고 있다. 특히 F2 변화 속도에 관한 자료는 그 시사하는 바가 크다 하겠다. 지금까지 우리의 조음기관이 그 기능면에서 second-order mechanical

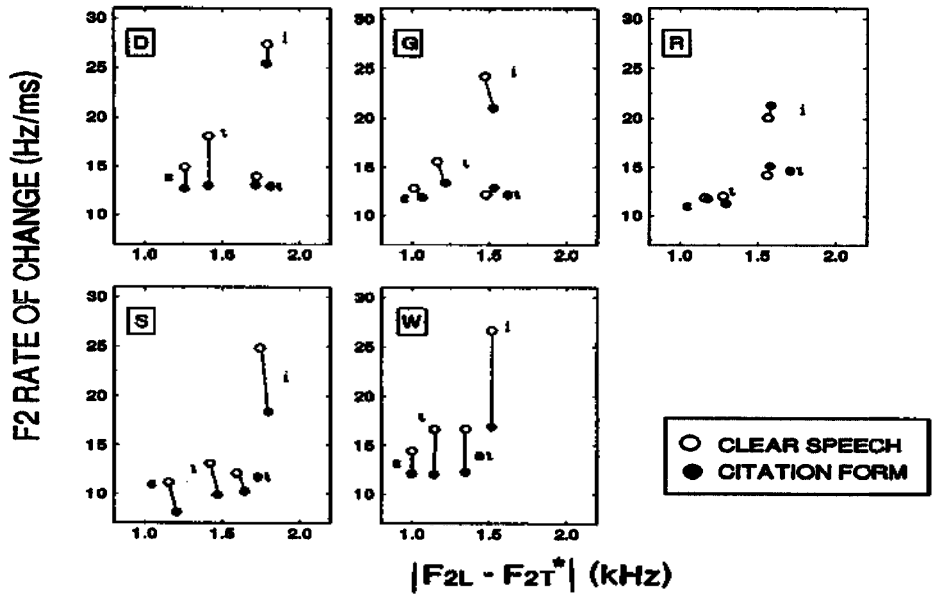

그림 3. F2의 변화 속도를 locus-target 거리에 따라 그림으로 나타내었음.

system과 같다는 전제하에 모델을 개발해 온 연구가 많이 있다 (Fujisaki, 1983; Saltzman & Munhall, 1989).

우리의 조음기관을 이러한 시스템이라고 간주한다면, 이러한 시스템에서 critical damping은 다음과 같은 경우에 일어난다.

$$B = 2(KM)^{1/2} \quad (3)$$

(B: friction
K: elasticity
M: mass)

이와 같은 시스템에서 운동하는 기관이 "undershoot"가 일어나려면 다음과 같은 조건하에서 일어난다. 가해지는 힘을 시간 상으로 볼 때 사각형이라고 가정하면, 시간에 따라 시스템의 움직임은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t)=Au(t)[1-\alpha t\, e^{-\alpha t}- e^{-\alpha t}] - Au(t-D)[1-\alpha t-D)\, e^{-\alpha(t-D)}- e^{-\alpha(t-D)}] \quad (4)$$

여기서 A는 최대로 일어난 움직임을 나타내어 가해진 힘과 관계가 있고, u(t)는 rectagular force의 unit step을, D는 가해진 힘의 지속시간을 나타내며 $\alpha = (K/M)^{1/2}$이다.

그림 4는 이러한 시스템의 반응을 몇가지 예로 나타낸 것이다. (I)는 가해진 힘이 크고 작은 두 가지인 경우이고, (II)는 가해진 힘의 크기는 같으나 그 힘의 지속 시간이 다른 경우이며, (III)은 힘은 같으나 시스템의 stiffness를 바꾼 경우이다. 질량은 변하지 않는 상

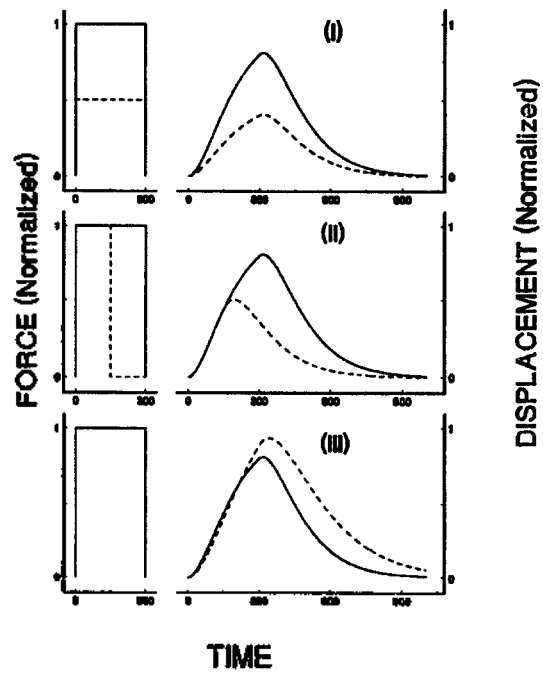

그림 4. Responses of a critically damped system

태에서 Stiffness를 바꾸더라도 critical damping을 유지하려면 방정식 (3)에 의하여 마찰계수 B도 변해야 함을 의미한다. 그림 4에서 알 수 있듯이, 힘의 크기나 지속시간을 줄인다든지 시스템의 마찰계수를 높이는 것은 곧 반응의 축약, 즉 "undershoot"와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 그러므로 그림 4는 모음축약을 이룰 수 있는 세가지 다른 방법을 시사하고 있다고 하겠다. (II)는 곧 모음 길이에 의한 축약과 흡사하며, (I)은 힘에 의한 축약, (III)은 시스템에 의한 (즉, 시스템의 시간 상수의 변화에 의한) 축약이라고 할 수 있을 것이다.

이로부터 이 시스템 상에서 최대의 변화는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(max) = A[\exp(\alpha D/(1-e^{\alpha D}))-\exp(\alpha D/(1-e^{\alpha D}))] \quad (5)$$

이 방정식에 의하면 x(max)는 최대 움직임 A, 시스템의 반응 속도 α, 힘의 지속시간 D 이렇게 세가지 요소와 관련이 있다. 그림 5에 x(max)를 그려보았다. 실선은 힘의 크기와 시스템의 마찰계수는 같으나 힘의 지속시간이 다른 그림 4의 (II)와 같은 경우를 나타낸다. 그림 5의 윗 그림에서 점선은 힘을 증가했을 때 (위)와 감소했을 때 (아래)를 나타내는 바 실선과 다른 모습을 보이고 있다. 또한 아래 그림의 경우는 "stiffness"를 줄이거나 (위) 늘린 (아래) 경우이다. 그림 5는 모음축약 현상을 피하려면 여러 가지 방법이 있음을 시사해 주고 있다. 즉, 힘을 늘리든지, 지속시간을 길게 하던지 아니면 시스템의 반응 시간을 빠르게 하는 것이다.

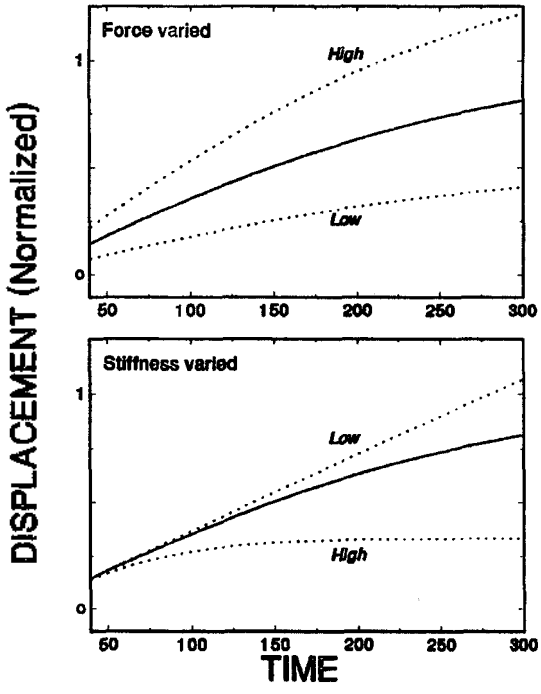

그림 5. Critically damped 시스템상에서 모음의 길이에 따른 축약현상

여기서 살펴본 x(max)와 F2의 "undershoot"는 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 그것은 F2의 변화와 혀/입술의 움직임은 직접적인 관계가 있기 때문이다. 따라서 여기서 우리는 A는 locus-target 거리, α는 F2 변화 속도, D는 모음의 길이와 연관지을 수 있을 것이다. 이로부터 모음축약 현상은 이 세가지와 함수관계에 있다고 결론지을 수 있을 것이다.

또한 이로부터 우리는 clear speech가 단순히 소리만 큰 것이 아니라 위에서 본 바와 같이 상황에 적응하기 위하여 음성학적 gesture 자체를 구체적이고 체계적으로 바꾼 결과라고 할 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

Chen, F.R. (1980). "Acoustic Characteristics and Intelligibility of Clear and Conversational Speech at the Segmental Level," Master's thesis, MIT, Cambridge, MA.

Chen, F.R., Zue, V.W., Picheny, M.A., Durlach, N.I., & Braida, L.D. (1983). "Speaking Clearly: Acoustic Characteristics and Intelligibility of Stop Consonants," 1-8 in Working Papers II, Speech Communication Group, MIT.

Chomsky, N. & Halle, M. (1967). *Sound Pattern of English*, Harper& Row, New York.

Engstrand, O. (1988). "Articulatory Correlates of Stress and Speaking Rate in Swedish VCV Utterances," *J. Acoust. Soc. Am.* 83, 1863-1875.

Engstrand, O. & Krull D. (1989). "Determinants of Spectral Variation in Spontaneous Speech," in *Proc. of Speech Research '89* (Budapest), 84-87.

Flege, J.E. (1988). "Effects of Speaking Rate on Tongue Position and Velocity of Movement," *J. Acoust. Soc. Am.* 84, 901-916.

Fourakis, M. (1991). "Tempo, Stress and Vowel Reduction in American English," *J. Acoust. Soc. Am.* 90, 1816-1827.

Freed, B.F. (1978). *Foreign Talk: A Study of Speech Adjustments Made by Native Speakers of English in Conversation with Non-Native Speakers*, Unpublished Ph.D. dissertation, University of Pennsylvania.

Fujisaki, H. (1983). "Dynamic characteristics of voice

fundamental frequency in speech and singing," in MacNeilage, P. (ed.), *The Production of Speech*, Springer Verlag: New York, 39-55.

Gay, T. (1978). "Effect of Speaking Rate on Vowel Formant Movements," *J. Acoust. Soc. Am.* 63, 223-230.

Gay, T., Lindblom, B. & Lubker, J. (1981). "Production of Bite-Block Vowels: Acoustic Equivalence by Selective Compensation," *J. Acoust. Soc. Am.* 69, 802-810.

Joos, M. (1948). *Acoustic Phonetics*, (LSA, Waverly, Baltimore).

Karlsson, I. (1992). "Analysis and Synthesis of Different Voices with Emphasis on Female Speech," Doctoral dissertation, Royal Institute of Technology, Stockholm.

Koopmans-van Beinum, F.J. (1980). "Vowel Contrast Reduction, an acoustic and perceptual study of Dutch vowels in various speech condition," Ph.D. thesis, University of Amsterdam, The Netherlands, Academische Pres B. V., Amsterdam.

Kuehn, D.P. & Moll, K.L. (1976). "A Cineradiographic Study of VC and CV Articulatory Velocities," *J. Phon.* 4, 303-320.

Ladefoged, P., Kameny, I., & Brakenridge, W. (1976). "Acoustic effects of styles of speech," *J. Acoust. Soc. Am.* 59, 228-231.

Lane, H.L., and Tranel, B. (1971). "The Lombard sign and the role of hearing in speech," *Journal of Speech Hearing Research*, 14, 677-709.

Lindblom, B. (1963). "Spectrographic Study of Vowel Reduction," *J. Acoust. Soc. Am.* 35, 1773-1781.

Lindblom, B. (1983). "Economy of speech gestures," in MacNeilage, P. (ed.), *The Production of Speech*, Springer Verlag: New York, 217-245.

Lindblom, B. (1990). "Explaining phonetic variation: a sketch of the H & H theory," in Hardcastle & Marchal (eds.) *Speech Production and Speech Modelling*, 403-439, Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers.

Lindblom, B., Lubker, J., & Gay, T. (1979). "Formant Frequencies of Some Fixed-Mandible Vowels and a Model of Speech Motor Programming by Predictive Simulation," *J. Phon.* 7, 147-161.

Moon, S-J. & Lindblom, B. (1994). "Interaction between duration, context, and speaking style in English stressed vowels," *J. Acoust. Soc. Am.* 96, 40-55.

Öhman, S. (1966). "Coarticulation in VCV Utterances: Spectrographic Measurements," *J. Acoust. Soc. Am.* 39(1), 151-168.

Nord, L. (1975). "Vowel Reduction-Centralization or Contextual Assimilation?" in *Proceedings of the Speech Communication Seminar*, edited by G. Fant (Almqvist & Wiksell, Stockholm), Vol. 2, 149-154.

Nord, L. (1986). "Acoustic Studies of Vowel Reductin in Swedish," *STL-QPSR* 4/1986, (Dept. of Speech Communication, RIT, Stockholm), 19-36.

Stålhammar, U., Karlsson, I., & Fant, G. (1973). "Contextual effects on vowel nuclei," *STL-QPSR*, 4, 1-18.

Stetson, R. H. (1951). *Motor Phonetics*, (North-Holland, Amsterdam).

Stevens, K. & House, A. (1963). "Perturbation of Vowel Articulations by Consonantal Context: An Acoustical Study," *Journal of Speech and Hearing Research*, 6, 111-128.

Summers, W.V., Pisoni, D.B., Bernacki, R.H., Pedlow, R.I., & Stokes, M.A. (1988). "Effects of Noise on Speech Production: Acoustic and Perceptual Analysis," *J. Acoust. Soc. Am.* 84, 917-928.

Tiffany, W.R. (1959). "Non-Random Sources of Variation in Vowel Quality," *Journal of Speech Hearing Research*, 2, 305-317.

Uchanski, R.M., Reed, C.M., Durlach, N.I. & Braida, L.D. (1985). "Analysis of phoneme and pause durations in conversational and clear speech," *J. Acoust. Soc. Am.* Suppl. 1 77, S54.

Van Son, R.J.J.H. & Pols, L.C.W. (1990). "Formant frequencies of Dutch vowels in a text, read at normal and fast rate," *J. Acoust. Soc. Am.* 88, 1683-1693.

Van Son, R.J.J.H. & Pols, L.C.W. (1990). "Formant movements of Dutch vowels in a text, read at normal and fast rate," *J. Acoust. Soc. Am.* 92, 121-127.