

# 우리말 소리의 길이: 실험음성학적 연구

지 민제, 최운천, 김 상훈  
한국전자통신연구소

## Durational Aspects of Korean: An experimental phonetic study

Minje Zhi, Un-Cheon Choi & Sang-Hun Kim  
Electronics & Telecommunications Research Institute

### 요약

우리말의 표준말에서는 모음의 장단이 낱말의 뜻을 가르는 음운론적 기능을 갖는다. 그러나, 소리의 길이는 음운론적인 장단 뿐 아니라 앞뒤의 소리, 초점, 소리의 위치, 말의 속도 등과 같은 여러 음성언어학적 요소에 의해 결정되어 그 언어의 고유한 리듬을 이룬다. 이 글에서는 우리말 소리의 길이에 영향을 미치는 주요변수를 실험음성학적 결과와 함께 살펴본다.

### 1. 들어가기

한 언어에서의 소리의 길이는 음운론적 역할과 앞뒤 소리, 초점, 말의 속도, 소리의 위치 등과 같은 음성언어학적 요소에 의해 결정되어 그 언어의 고유한 리듬을 이룬다. 소리의 길이가 갖는 음운론적 역할이란 우리 말의 표준말에서와 같이 모음의 길이가 낱말의 뜻을 구별하는 것이다. /말:/ '말'과 /말/ '馬'의 예처럼 우리말의 표준말에는 모음의 길이로 뜻이 구별되는 낱말들이 있다. 언어학에서는 이처럼 뜻을 구별하는 음운론적 길이(quantity)와 물리적으로 나타나는 음성학적 길이(duration)를 구분하기도 한다. 이 글에서는 편의상 음운론적 길이는 장단으로, 음성학적 길이는 길이로 나타내기로 한다.

말소리의 길이는 귀로 들어 판단할 수도 있으나 보다 객관적인 값을 구하기 위해서는 분석장비를 이용하는 실험음성학적 연구를 하여야 한다. 말소리의 길이를 측정하는 장비로는

밍고그래프(mingograph)와 스펙트로그래프(spectrograph)가 많이 쓰였으며, 근래에 와서는 컴퓨터를 이용한 음성 분석장비들이 많이 쓰이고 있다. 이러한 분석장비를 이용하여 말소리의 길이를 잴 때 가장 중요한 점은 파형이나 스펙트로그램에서 낱소리를 분절(segmentation)하는 일이며, 정밀한 분절을 위해서는 말소리에 대한 조음 및 음향 음성학적 훈련이 필요하다.

## 2. 모음 장단에 따른 지속시간

우리 말의 표준말에서는 모음장단이 음운론적 기능을 가지고 있다. 아래의 예에서 보는 바와 같이 모음의 장단으로 뜻이 구별되는 단어의 쌍(최소대립어: minimal pair)들이 있다.

모음의 장단 대립에 따른 길이의 차는 상대적인 차이로 이해하여야 한다. 즉, 200msec와 100msec의 절대차인 100msec는 400msec와 300msec의 절대차인 100msec와는 다른 의미를 갖는다. 200msec에서 100msec가 줄면 50%가 준 것이지만, 400msec에서 100msec가 줄면 단지 25%가 준 것이기 때문이다.

<u>장모음</u>	<u>단모음</u>
일: (~을 한다)	일 (~을 센다)
네: (~명)	네 (~ 것)
배: (~나 크다)	배 (~가 맛있다)
밤: (~을 굶는다)	밤 (~이 어둡다)
벌: (~이 난다)	벌 (~을 준다)
공: (~을 찬다)	공 (~을 세운다)
눈: (~이 온다)	눈 (~이 아프다)
뜸: (~하다)	뜸 (~을 들이다)

아래 그림 1은 모음 장단에 의해 뜻이 구별되는 3쌍의 단어를 문장들 안에 넣어 3명의 남성화자가 발음한 자료를 분석하여 모음의 길이를 구한 것이다(Zhi 1985, Zhi & Lee 1990). 그림에서 보는 바와 같이, 화자 1과 2는 3쌍의 최소대립어에서 모음의 길이를 뚜렷이 구분하고 있다. 각 쌍의 최소대립어에서 나타난 장단 모음의 비율의 평균값을 구하면, 화자 1에서는 장모음이 단모음보다 약 1.74배 길며, 화자 2에서는 약 1.86배 길게 나타난다. 이 수치는 인용형으로 단독 발음된 자료에서 나타난 2.51에 비하면 작은 것이나, 이는 인용형의 경우 분명한 발음을 위해 장단의 비율을 크게하기 때문이다.

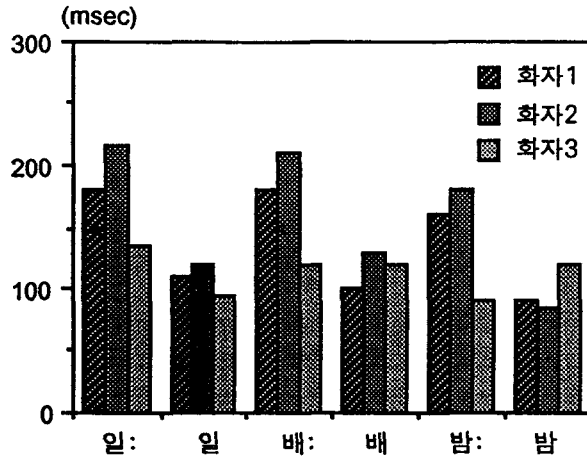


그림 1. 모음 장단에 의한 최소대립어의 길이

화자 3의 경우에는 최소대립어 /일:/ '事'과 /일/ '一'에서는 장모음 /이:/가 단모음 /이/보다 1.42배 길게 나타난다. 그러나, /배:/ '倍'와 /배/ '裨'에서는 모음의 길이의 차이가 없다. 다시 말해서, 화자 3에서는 이 단어쌍이 같은 길이의 모음으로 발음되어 이른바 동음이의어를 이루고 있다. 한편, 최소대립어 /밤:/ '粟'과 /밤/ '夜'에서는 모음의 장단대립이 뒤바뀌어 나타나고 있다. 즉, 어두운 밤(夜)은 긴 모음으로 먹는 밤(粟)은 짧은 모음으로 발음하여 모음의 장단 대립이 뒤바뀌어 나타난다 (장모음/단모음: 1.3). 화자 3에서 나타나는 장단 모음의 길이의 비는 다른 두 화자에 비해 작은 것이다.

따라서, 흔히 지적하는 모음 장단의 혼란은 화자 3에서 보듯이 장단 대립이 무시되어 동음이의어를 이루거나, 장단 대립이 뒤바뀌거나, 장단에 따른 길이의 비가 불충분하여 의미의 혼란이 생기는 것으로 해석할 수 있다.

### 3. 음성학적 영향 변수

말소리의 길이는 조음기관의 조음시간으로 결정된다. 따라서, 일반적으로 조음기관의 이동거리가 짧은 경우(예: 고모음 /이/)는 큰 경우(저모음 /아/)보다 길이가 짧다. 그리고, 부피가 적어 움직임이 빠른 조음기관(예: 혀끝)으로 발음되는 말소리들이 움직임이 느린 조음기관(예: 입술)으로 발음되는 경우보다 짧다. 또한, 조음기관의 긴장이 없는 연음(lax)의 경우는 긴장이 있는 경음(tense)보다 짧다. 이는 경음을 발음하기 위해서는 조음기관의 근육의 긴장이 이루어지는 시간이 걸리기 때문이다.

모든 음성언어학적 조건이 같을 때는 이러한 조음적인 제약에 의해 말소리의 길이가 달라질 수 있으며, 이것을 말소리의 고유 지속시간(intrinsic duration)이라 한다. 그러나, 실제 말소리의 길이는 앞뒤의 소리, 발화의 길이, 악센트(accent), 위치, 속도 등의 영향을

받아 나타난다. 다음에서는 이러한 음성학적인 조건들이 우리말 소리의 길이에 어떠한 영향을 미치는가를 살펴보기로 하자.

### 3. 1. 고유 지속시간과 앞뒤 소리의 영향

#### 모음

말소리의 고유 지속시간은 같은 음성언어학적 조건에서 발음한 자료에서 측정하여야 한다. 우리말의 표준말 모음의 고유 지속시간을 살펴보기 위해 같은 음성환경에서 발음한 단모음의 길이를 측정한 결과를 그림 2에 보였다. 그림에서 보듯이 우선 눈에 띄는 현상은 고모음인 /이, 우, 으/의 길이가 다른 모음들에 비해 짧다는 것이다. 그리고, 우리말의 모음 중 /애/와 /아/가 가장 긴 편에 속하고 /으/가 가장 짧다. 이것은 앞에서 언급한 일반적인 현상이며, 그 외 모음의 길이 차이는 통계적인 의미가 없다.

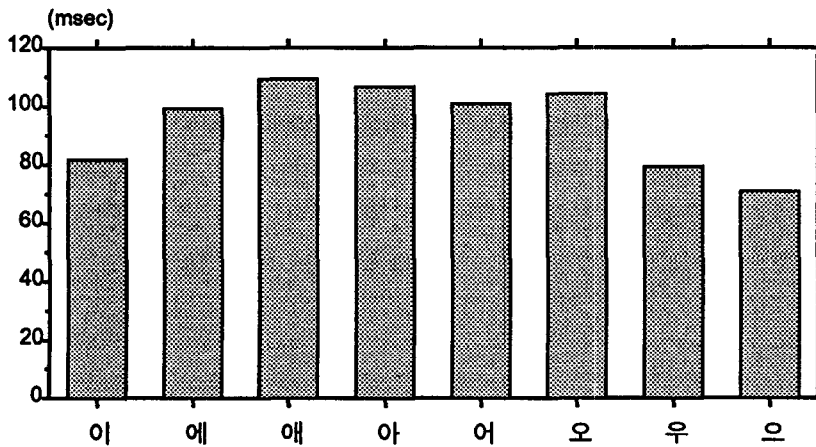


그림 2. 우리말 모음의 길이

#### 자음

자음의 고유 지속시간을 측정하기 위해서는 자음의 모든 조음현상이 음향적으로 나타나는 환경을 선택하여야 한다. 우리말 자음의 고유 지속시간을 측정하기 위해서는 /자음+모음/ 뿐 아니라 /모음+자음+모음/ 환경을 고려하여야 한다. /자음+모음/ 환경에서는 파열음(예: /ㅂ, ㅃ, ㅍ/)과 파찰음(/ㅈ, ㅉ, ㅊ/)의 닫힘(closure) 구간이 음향적으로 묵음으로 나타나서 역시 묵음으로 나타나는 발화 시작 전의 쉼(pause)과 구별할 방도가 없다. 따라서, 이 환경에서 파열음과 파찰음의 길이는 닫힘구간이 빠지고 파열부터 측정된다.

반면에, /모음+자음+모음/ 환경에서는 파열음과 파찰음의 닫힘구간이 모음사이에 나타나므로 닫힘구간이 포함된 자음의 길이를 구할 수 있을 뿐 아니라, 자음이 앞뒤 모음의 길이에 미치는 영향을 아울러 살필 수 있다. 그림 3은 /모음+자음+모음/ 환경에서 우리말 자음과 앞뒤 모음의 길이를 측정한 결과이다.

그림 3에서 보듯이, 우리말 자음 중 가장 길이가 긴 것은 /ㄷ/이며, 가장 짧은 것은 /ㄹ/

이다. /ㅈ/은 닫힘, 터짐, 마찰, 기가 수반되는 파찰음이자 아울러 경음이므로 조음시간이 길다. 반면, /ㄹ/은 모음사이에서 일반적으로 탄설음(flap)이나 전동음(trill)으로 발음되어 조음시간이 짧다.

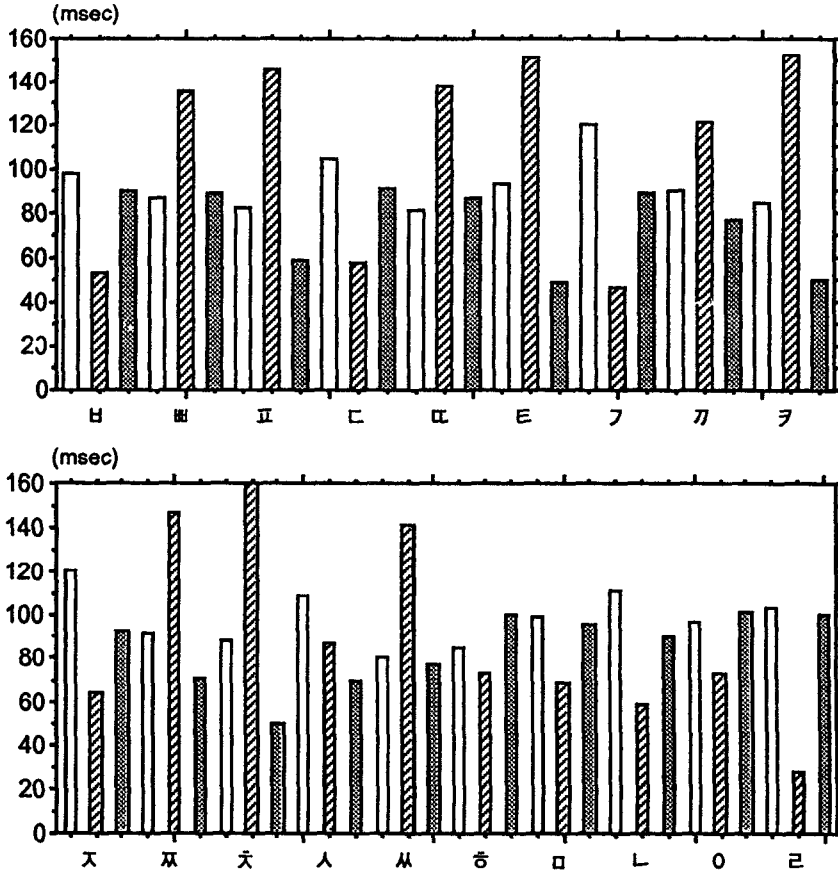


그림 3. /모음+자음+모음/ 환경에서 우리말 자음과 앞뒤 모음의 길이  
(자음: //, 앞 모음: □, 뒤 모음: ▨)

조음방법에 따른 자음의 길이 차이를 치경부근의 조음장소를 가진 연음에서 살펴보면 마찰음 /ㅅ/ > 파찰음 /ㅆ/ > 비음 /ㄴ/ > 파열음 /ㄷ/ > 탄설음 /ㄹ/의 순으로 길게 나타난다. 일반적으로 파열음 /ㄷ/과 파찰음 /ㅆ/은 모음사이에서 유성화되어 지속시간이 짧아지며, 마찰음 /ㅅ/은 이 환경에서 보통 유성화되지 않는다. 모음사이에서 유성화되지 않는 무기경음과 유기경음에서 살펴보면, 무기경음의 경우에는 파찰음 /ㅆ/ > 마찰음 /ㅅ/ > 파열음 /ㄷ/의 순으로 길며, 유기경음에서는 파찰음 /ㅆ/이 파열음 /ㄷ/보다 길다.

자음이 앞 모음의 길이에 미치는 영향을 살펴보면, 모음의 길이는 경음(무기: /ㅃ, ㅆ, ㄴ, ㅆ, ㅆ/, 유기: /ㅃ, ㅆ, ㄴ, ㅆ/) 앞에서 짧아지는 현상이 나타난다. 또한, 자음뒤의 모음의 길

이는 유기음인 /ㅍ, ㅌ, ㅋ, ㆁ/뒤에서 짧아지는 현상이 나타난다(Zhi 1982). 이는 자음에서 모음의 안정구간까지의 과도(transition)구간이 기(aspiration)로 나타나기 때문이다. 따라서, 이 과도구간은 유기자음의 기와 뒤 모음의 특성을 함께 가진다.

### 3.2. 악센트와 지속시간

악센트는 낱말 안에서 특정 음절이 강하게 나타나는 낱말 악센트와 문장 안에서 특정 낱말이 강하게 나타나는 문장 악센트로 나누어 생각해 볼 수 있다. 일반적으로 악센트를 받는 음절이나 낱말은 주변의 악센트를 받지 않는 것보다 더 돌들린다. 그러나, 돌들리게 하는 요소, 즉 악센트의 본질은 운율 자질의 언어학적 기능소지 여부에 따라 언어마다 그 특성을 달리 할 수 있다. 강세(stress)가 변별적 기능을 갖는 영어, 독일어, 노어등의 악센트(돌들림)는 강약을 중심으로 이루어진다. 반면 중국어, 태국어 등의 성조어에서는 고저(pitch)가 악센트의 주 요소가 된다.

#### 낱말 악센트

우리말의 낱말 악센트는 낱말의 뜻을 구별하는 데에 직접 참여하는 언어학적 기능을 가진 운율 자질이 무엇이나에 따라 그 특성이 결정될 것이다. 장단이 변별적 기능을 발휘하는 표준말의 악센트는 장단을 중심으로 다른 요소들이 어울려 나타날 것이며, 반면 성조에 의해 뜻이 갈리는 부산말의 악센트는 고저를 중심으로 이루어 질 것이다.

표준말의 낱말 악센트와 소리의 길이의 관계는 음절구조와 음절 수를 조절한 자료를 사용하여 낱말 악센트의 지각과 음향적 특성을 연구한 실험결과에서 알 수 있다(지민제, 성철제, 전은주 1992). 이 실험결과 중 2음절 자료에 대한 악센트의 지각실험 결과와 음절 길이의 측정 결과를 가지고 악센트와 길이의 관계를 밝혀보기로 한다.

29명의 실험대상자에 대한 2음절 자료의 악센트의 지각은 다음과 같다.

자료	/말말/	/말마/	/마말/	/마마/
악센트 음절	음절1(76%)	음절1(82%)	음절2(61%)	음절1(74%)

위에서 보듯이 /말말/과 /마마/에서와 같이 음절구조가 같으면 첫 음절이 돌들리는 경향이 강하다. 그러나, /말마/와 /마말/에서와 같이 음절구조가 다르면 중음절(heavy syllable = 폐음절 closed syllable)이 돌들리는 경향이 강하다. 이러한 악센트(돌들림)의 지각실험 결과를 음절길이를 표시한 그림 4와 비교하여 보자.

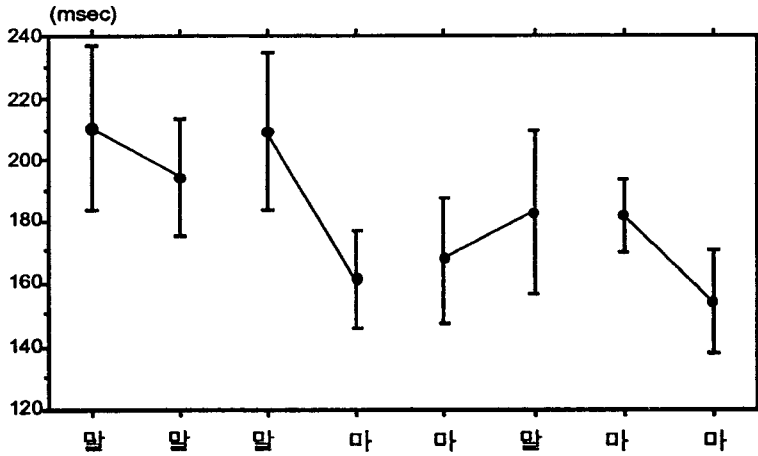


그림 4. 2 음절 자료의 음절 길이

그림 4에서 보듯이 각 단어에서 악센트가 있다고 지각되는 경향이 높은 음절이 길게 나타난다. 바꾸어 말하면, 길이가 긴 음절에 악센트가 있다고 지각하는 경향이 높다. 따라서, 표준말의 낱말 악센트는 길이와 밀접한 관계가 있다고 결론지을 수 있다.

#### 문장 악센트

문장 악센트는 흔히 초점 (focus) 이라 한다. 초점이란 문장 내의 새로운 정보를 표시해 주는 현상이다. 초점은 1) 문법적 방법, 2) 어휘적 방법, 3) 운율적 방법으로 표시할 수 있다. 운율적 초점이 바로 문장 악센트이며, 문장의 어느 특정 부분을 운율적으로 강하게 하는 현상이다. 일반적으로 문장 악센트가 오는 낱말에서는 길이와 높이가 증가한다고 알려져 있다. 우리 말의 운율적 초점, 즉 문장 악센트의 음향적 특질을 밝힌 실험결과에서 문장 악센트에 따른 길이의 변화를 알아 보기로 하자[지민제, 성철재, 전은주 1992]. 실험결과 중 첫 어절에 악센트가 온 경우를 악센트가 없는 중립 문장과 길이 비교를 하여 그림 5에 표시하였다.

그림 5에서 보듯이, 악센트가 온 첫 어절의 길이는 중립일 때에 비해 화자 1은 65%, 화자 2는 27%, 화자 3은 15%의 증가를 보인다. 그러나, 문장 전체의 길이를 보면 악센트의 유무에 관계없이 거의 비슷하다. 이것은 악센트가 온 어절은 길게 발음하고 악센트가 없는 어절은 짧게하여 대비를 시킴으로써 악센트를 나타내기 때문이다. 바꾸어 말하면, 길이가 문장 악센트를 표시하는 자질로서의 역할을 하고 있다는 뜻이다.

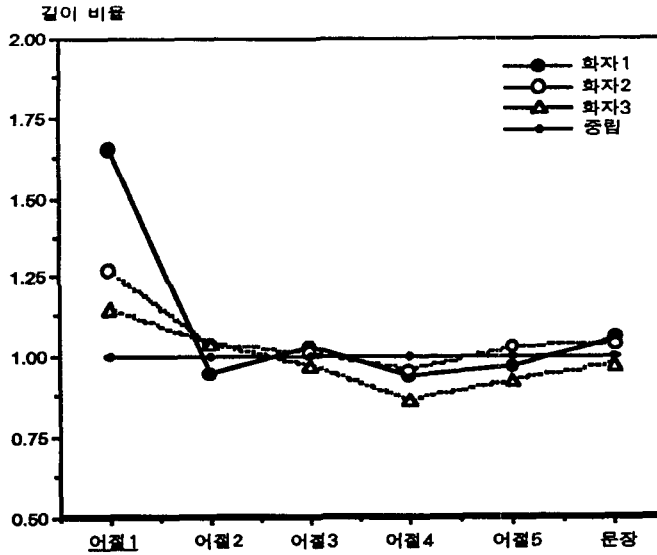


그림 5. 중립 문장과 첫 어절에 악센트가 왔을 때의 길이 비율

### 3.3. 위치의 영향과 휴지

#### 위치와 지속시간

말소리는 발화 내에서의 위치에 따라 길이가 변한다. 앞의 그림 4에서 보면 두 음절의 음절구조가 같을 때 첫 음절이 둘째 음절보다 길다. 물론, 이와 같은 차이를 악센트에 기인하는 것으로 해석할 수도 있으나, 우리말에서는 낱말 악센트가 변별력이 없고, 음절구조가 같을 경우 항상 첫 음절에 고정되어 있으므로 위치에 따른 차이로 볼 수도 있다.

위치에 따른 길이의 변화가 두드러지게 나타나는 환경은 다음의 예를 보면 알 수 있다. 아버지가 방에 들어 가신다"와 "아버지 가방에 들어 가신다"는 경계를 어디에 두느냐에 따라 의미가 달라진다. 이러한 경계를 글에서는 띄어쓰기로 표시하여 눈에 띄게 하지만, 말에서는 경계를 소리로 나타내어 귀로 들을 수 있도록 하여야 한다. 말에서 가장 보편적으로 경계를 나타내는 수단에는 휴지가 있다. 즉, 경계가 있는 부분에서 쉬는 방법이다. 또한, 휴지 외에 경계를 나타내는 수단으로 경계 앞 음절의 억양을 높이거나 낮추어 억양의 변화를 주고, 길이도 늘려 주기도 한다. 강한 경계에서는 휴지, 억양변화, 길이증가가 모두 나타나지만, 약한 경계에서는 휴지가 없어지고 억양변화와 길이증가의 두 요소가 같이 나타나거나 둘 중 하나만 나타나기도 한다.

경계 앞에서의 길이의 증가는 다음 그림 6에 잘 나타나 있다.



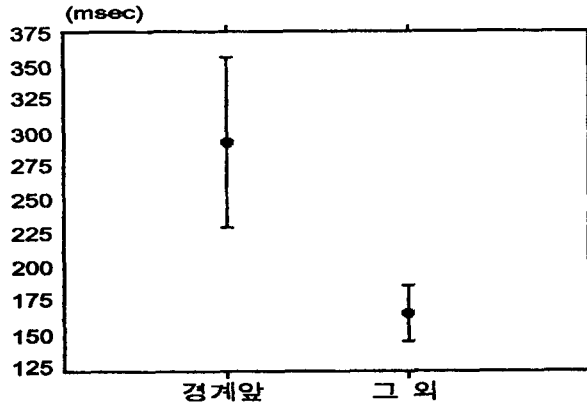


그림 6. 경계 앞과 그 외 위치에서 '힉'의 길이

이 그림은 중학교 3학년 국어 교과서에 있는 '나라의 힘과 경제'(김 진현)의 일부를 분석하여 경계현상의 음향음성학적 특질을 밝힌 실험결과를 토대로 한 것이다(지민제, 이용주 1990). 이 자료에서는 경계 앞과 그 외의 위치에서 '힉'이라는 낱말이 21번 나온다. 그림에서 보듯이, 경계 앞에서 '힉'의 길이는 그 외의 위치에서 보다 약 80%의 증가를 보인다.

#### 휴지 (pause)

말소리의 길이를 살피는 데에 있어 또 하나의 흥미있는 현상은 경계와 휴지의 길이 사이의 상관관계이다. 앞에 언급하였던 경계의 음향음성학적 분석에 사용한 자료는 전체 발화시간이 139초이며, 이 중 음성구간은 101초이다. 그리고, 휴지는 모두 106번 나타나며, 총 38초로 전체 발화의 약 27%에 해당한다. 따라서, 전체 발화 중 이렇게 많은 부분을 차지하는 휴지는 무시할 수 없는 요소이며, 분석 결과를 자세히 살펴보면 휴지의 길이가 언어학적 기능을 갖고 있음을 알 수 있다.

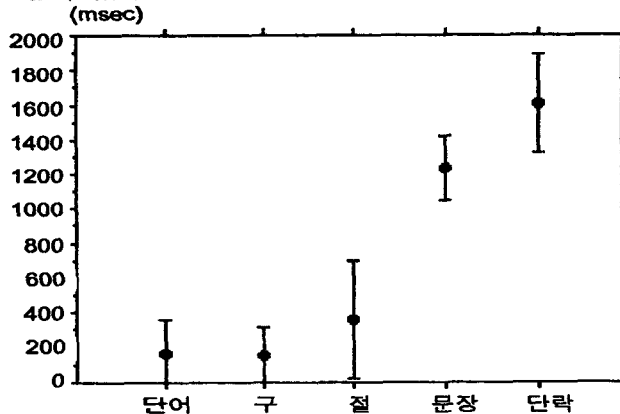


그림 7. 경계유형과 휴지의 길이

그림 7은 경계유형에 따른 휴지의 길이를 보이고 있다. 단어경계와 구경계 사이에는 휴지의 길이의 차이가 거의 없으나, 구, 절, 문장, 단락의 상위경계로 올라갈수록 길어짐을 볼 수 있다. 따라서, 휴지의 길이는 다른 운율요소와 함께 어울려 경계의 유형을 표시하여 문맥의 흐름을 나타내는 언어학적인 역할을 하고 있다고 할 수 있다. 그러므로, 좋은 낭독을 위해서는 휴지와 그 길이를 적절히 사용하여야 할 것이다. 실제로 여러가지 다른 화제를 다루는 방송 뉴스의 낭독을 보면 같은 화제의 내부경계와 서로 다른 화제 사이의 경계의 차이를 휴지의 길이로 표시하고 있다(지민제 1993).

### 3.4. 발화속도와 지속시간

말소리의 길이는 당연히 발화의 속도에 따라 변한다. 즉, 빠른 말에서는 길이가 짧아지고, 느린 말에서는 길어진다. 그러나, 우리가 흔히 생각하는 것처럼 모든 소리들이 일률적으로 변하는 것은 아니다. 다시 말하면, 발화 전체의 길이가 보통 빠르기에서보다 50% 길어졌다고 해서 모든 단어나 낱소리가 같은 비율로 길어지지 않는다는 것이다. 이러한 현상을 '새국어생활'을 보통, 느리게, 빠르게의 3가지 속도로 발음한 자료에서 살펴보기로 하자.

그림 8은 '새국어생활'을 3가지 속도로 발음한 자료의 스펙트로그램에 각 낱소리를 잘라 길이를 재고, 표기를 한 것이다. '새국어생활'의 전체 길이는 보통 속도에서 1000msec, 느린 속도에서 1530msec, 빠른 속도에서 630msec로 나타났다. 즉 전체 길이는 느린 속도에서는 보통 속도에서보다 53%의 증가율을 보이고, 빠른 속도에서는 37%의 감소율을 보인다.

'새국어생활'은 '새', '국어', '생활'의 세 낱말로 이루어진 복합어이므로 속도에 따른 그림 8의 측정값을 바탕으로 세 낱말의 길이 변화율을 살펴보면 다음과 같다.

	새	국어	생활	전체
느린 속도	+ 80%	+ 23%	+ 39%	+ 53%
빠른 속도	- 41%	- 60%	- 32%	- 37%

위에서 보듯이 각 단어의 변화를 전체 변화율과 다름을 알 수 있다. 이러한 현상은 그림 8에서 보듯이 음절의 길이, 낱소리의 길이에서도 나타난다. 일반적으로 경계 앞에서는 변화율이 적고, 자음보다 모음의 변화가 높은 경향이 있다. 이 점은 음성합성의 발화속도 조절에서도 고려하여야 할 중요한 사항이다.

그림 8에서 모음의 포만트를 자세히 살펴 보면 느린 속도에서는 보통 속도에서 보다 모음의 포만트의 안정구간이 더 길고 강하다. 그러나, 빠른 속도에서는 모음이 안정될 겨를이 없이 다음 소리로 변해가므로 모음의 안정구간을 찾기 힘들다. 이것이 바로 빠른 말에서 나타나는 소리의 약화현상이다. 자음의 약화현상은 빠른 속도의 '국어'의 들쭉 /ㄱ/에서 나타나고 있다. 그림에서 보듯이 보통 속도보다 길이가 반으로 줄 뿐 아니라 근접음으로 약화되어 있다.

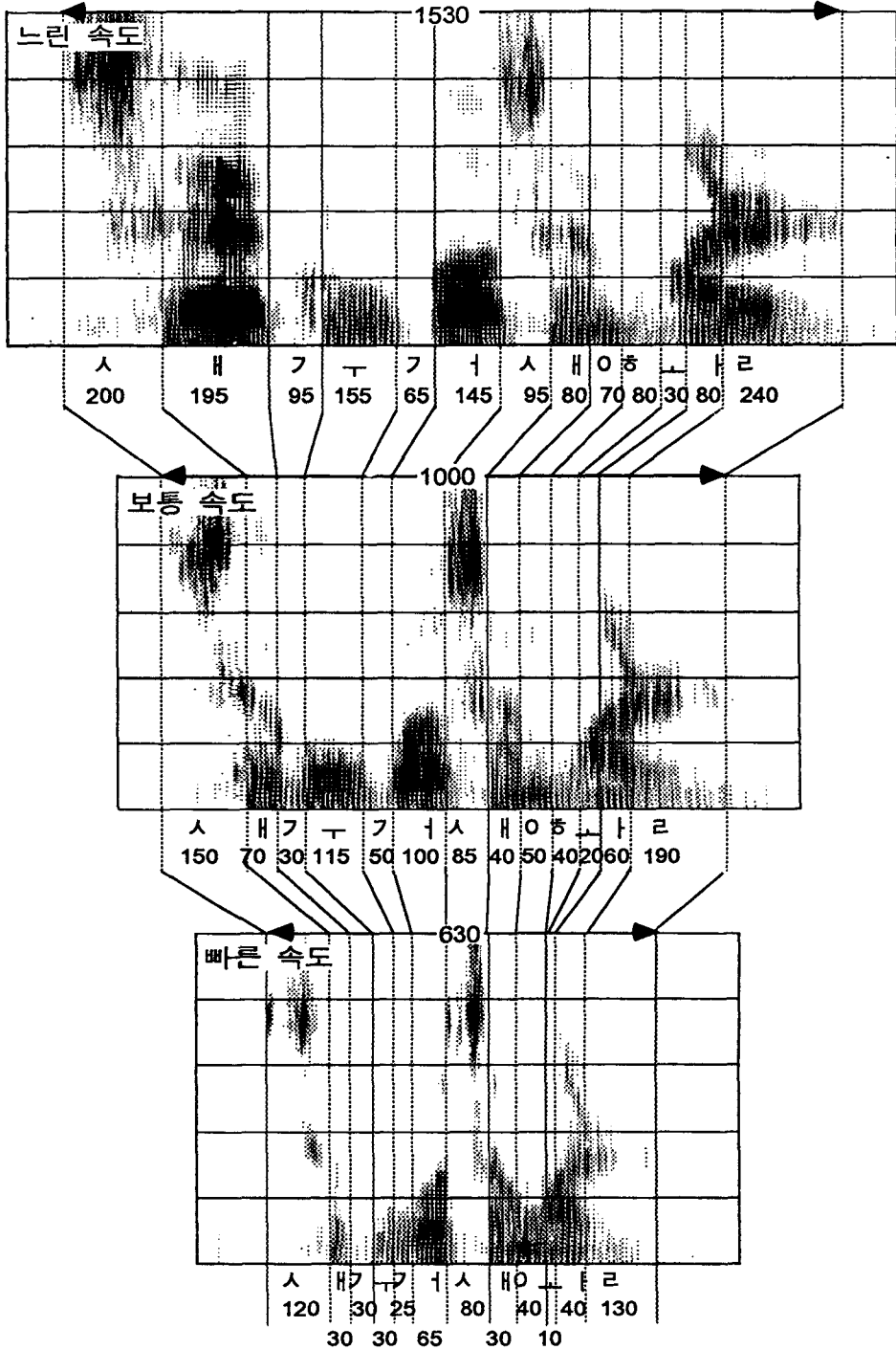


그림 8. 발화 속도에 따른 말소리의 길이 변화

#### 4. 맺음말

지금까지 소리의 길이는 여러 음성언어학적 요소의 영향을 받아 나타나는 것을 보았다. 우리말의 표준말에는 모음의 장단이 언어학적인 역할, 즉 변별력있으며, 장모음과 단모음은 길이의 차로 대비된다. 그리고, 각 낱소리는 조음적 제약에 의해 각기 다른 고유 지속시간을 갖는다. 이 고유지속시간은 앞뒤에 오는 소리, 악센트, 위치, 속도 등의 영향을 받아 길이가 결정되어 우리말 고유의 리듬을 이룬다.

우리말의 소리의 길이에 관한 연구는 그리 많지 않고, 특히 실험적 연구는 그 수가 매우 적다. 따라서, 소리의 길이와 관련하여 아직도 다루어야 할 문제들이 많이 있다. 그 동안 실험적 연구가 미흡했던 것은 실험기기를 갖춘 실험실이 적었기 때문이기도 하다.

근래에 와서 음성합성과 인식 등 음성공학의 발달로 우리말의 소리에 관한 관심과 연구열이 높아져, 실험음성학적 연구도 활발해 지고 있다. 이러한 연구의 결과로 쌓이는 우리말 소리에 대한 더 깊은 지식은 언어교육, 언어치료, 음성공학 등 관련 분야에 중요한 기반이 될 것이다.

#### 참 고 문 헌

- 지민제(1993), 방송언어의 억양에 관한 실험음성학적 연구, 한국어 연구논문 제35집, KBS 한국어연구회.
- 지민제(1993), 소리의 길이, 새국어생활, 제3권 1호, 국립국어연구원.
- 지민제 · 이용주(1990), 한국어 Pause Pattern의 음향음성학적 분석, 한국음향학회 음성통신 및 신호처리 워크샵 논문집.
- 지민제 외(1990), 한국어 리듬패턴의 실험적 분석, 통신학회 하계발표논문집.
- 지민제 · 성철재 · 전은주(1992), 한국어 돌돌림의 실험음성학적 연구, 한국음향학회 음성통신 및 신호처리 워크샵 논문집.
- Zhi, M.(1982), Studies on the Phonetic Properties of Korean Obstruents, Essay No. 10, Dept. of Phonetics, Umea Univ.
- (1985), Studies on Prosodic Features of Korean: Phonetic Properties of Quantity in Seoul and Tone in Busan, Publication 23, Dep. of Phonetics, Umea Univ.
- Zhi, M. & Lee, H. B.(1987), A Spectrographical Study of Korean Vowel, Korea Journal 27-2, Korean National Commission for UNESCO.
- Zhi, M. & Lee, Y. J.(1990), Vowel Quantity Contrast in Korean: Production and Perception, Proceedings of ICSLP '90, Kobe.
- Zhi, M., Lee, Y. J. & Lee, H. B.(1990), Temporal Structure of Korean Plosives in /VCV/, Proceedings of SICONLP '90, Seoul.