

변곡점 및 단구간 에너지평가에 의한 음성의 천이구간 특징분석

Analysis of Transient Features in Speech Signal by Estimating
the Short-term Energy and Inflection points

최일홍* · 장승관** · 차태호*** · 최응세** · 김창석****
(I.-H. Choi · S.-K. Jang · T.-H. Cha · U.-S. Choi · C.-S. Kim)

ABSTRACT

In this paper, I would like to propose a dividing method by estimating the inflection points and the average magnitude energy in speech signals. The method proposed in this paper gave not only a satisfactory solution for the problems on dividing method by zero-crossing rate, but could estimate the feature of the transient period after dividing the starting point and transient period in speech signals before steady state.

In the results of the experiment carried out with monosyllabic speech, it was found that even through speech samples indicated in D.C. level, the starting and ending point of the speech signals were exactly divided by the method. In addition to the results, I could compare with the features, such as the length of transient period, the short term energy, the frequency characteristics, in each speech signal.

Keywords: inflection points, speech signal, transient period, short-term energy

1. 서 론

음성은 인간이 기계와 의사전달을 위한 가장 편리한 수단으로서, 선진국에서는 1970년 이전부터 국가가 주도하는 대규모 프로젝트로 추진되어서 많은 성과를 거두고 있다. 최근에는 불특정화자의 경우 수십 단어정도의 어휘를 대상으로 인식 가능한 시스템이 개발되었고, 특정화자의 경우 수십만 단어를 인식할 수 있는 시스템이 발표되고 있다. 국내에서도 특정화자의 경우 개인 휴대폰에서 음성에 의한 자동 다이얼링이나 컴퓨터에 있어서 음성으로 간단한 명령어들을 사용할 수 있는 제품이 발표되고 있다.

최근 음성인식의 연구분야에서는 연속음성인식에 중점을 두고 있으며, 이러한 경우 음성학적 모델링과 연속음성에 적용 가능한 언어모델의 개발 및 운율정보의 효과적인 사용 등이 관건이다. 이와 같은 연속음성의 경우 대용량의 음소분할 및 레이블링(labeling) 음성데이터 베이스를

* 진주전문대학 전자과

** 한국산업기술대학교 전기전자공학과

*** 한국생산기술연구원 산업기술교육센터 계측제어과

**** 명지대학교 전자정보통신공학부

구축하고자 하는 연구가 국내외적으로 많이 진행되고 있다. [1]~[3]

이러한 음소분할 및 레이블링을 위한 연구가 아직까지도 수작업에 의해 이루어지는 경우가 많으며, 이러한 경우 많은 시간이 소요되고, 높은 수준의 음성학적 지식을 가지고 있는 사람이 수행하여야 하며, 음성경계선을 선정하는 구체적인 기준이 모호하다는 등의 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 자동으로 음성의 분할 및 레이블링 작업을 하기 위한 여러 가지 방법들이 연구되고 있다. 그러나 아직까지도 자동으로 음성분할 및 레이블링을 수행하는 데는 성능면에서 한계가 있으므로 수작업에 의한 음성경계 오류를 수정하는 작업이 필수적으로 요청된다.[4]~[6]

음성신호처리에 있어서 현재 진행되고 있는 또 다른 연구분야가 음성신호의 발생시 발음의 시작부분과 정상상태가 되기 전인 천이구간에서의 성도파라미터 추정에 관한 연구이다.[7]~[10] 이러한 연구방법들은 성도를 AR(auto-regressive)모델로 표시한 후 천이구간에서 LPC(linear predictive coding)계수에 의한 특징분석을 수행한다.

본 논문에서는 더욱 더 효율적으로 음성신호처리를 할 수 있는 변곡점과 단구간 에너지평가에 의한 음성신호의 분할방법을 제안하고, 제안한 방법은 영교차율에 의한 분할방법의 단점을 해결하며, 음성신호에서 천이구간을 검출한 후 천이구간별 특징을 비교분석 하고자 한다.

2. 음성신호의 분할방법

일반적으로 음성신호분석은 신호의 시작점과 끝점검출로부터 시작이 되며 이때 사용하는 방법으로는 영교차율과 단구간 에너지평가방법이 있다.

2.1 영교차율에 의한 평가

음성성도모델에서 유성음의 에너지는 성문에 의하여 유기되는 에너지의 감소로 약 3 kHz 이하에 집중되고, 무성음의 경우는 대부분 높은 주파수성분을 가지고 있다. 따라서 영교차율이 높은 경우는 무성음이고, 영교차율이 낮은 경우는 유성음이다. 즉 10 ms 당 평균 영교차율이 무성음에서는 약 49개, 유성음의 경우는 14개 정도이다.[11]

따라서 영교차율은 신호의 주파수특성을 분석하거나 신호의 시작점 및 끝점검출 등에 적용되며 데이터가 N 개인 음성신호 $x(n)$ 에서 단구간 영교차율을 구하는 식은 다음과 같다.

$$Z(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=m}^{N+1} \frac{|sgn[x(n)] - sgn[x(n-1)]|}{2} w(m-n) \quad (1)$$

$$\begin{cases} sgn[x(n)] = 1 & ; x(n) \geq 0 \\ sgn[x(n)] = -1 & ; x(n) < 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} w(n) = 1/2N & ; 0 \leq n \leq N-1 \\ = 0 & ; otherwise \end{cases}$$

여기서 $w(n)$ 은 단구간 창함수이다.

영교차율을 이용한 음성 분석은 음성신호처리의 여러 분야에서 넓게 사용하고 있으나, 음성신호에 직류성분이나 저주파 및 고주파신호가 혼합된 경우에는 정확한 평가가 어렵다.

2.2 변곡점에 의한 평가

본 연구에서는 음성신호에 직류성분이 혼합되어 있는 경우 정확한 평가가 어렵다는 문제점을 해결하고, 음성신호에 저주파 및 고주파가 혼합된 경우라도 음성신호의 주파수특성을 정확하게 평가할 수 있는 변곡점에 의한 평가방법을 다음과 같이 제안한다.

데이터 개수가 N 개인 신호 $x(n)$ 에서 단구간 변곡점을 평가하는 식은 다음과 같이 표현한다.

$$T(n) = \frac{1}{N} \sum_{m=N+1}^m \text{sgn}[x(n)] w(n-m) \tag{2}$$

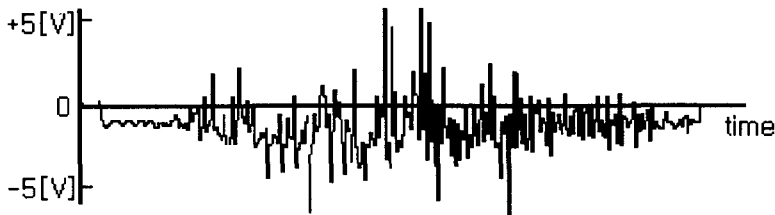
$$\begin{cases} \text{sgn}[x(n)] = 1 & \text{if } x(n) \text{과 } x(n-1) \text{의 기울기 극성이 다른 경우} \\ \text{sgn}[x(n)] = 0 & \text{if } x(n) \text{과 } x(n-1) \text{의 기울기 극성이 같은 경우} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} w(n) &= 1/2N & ; & \quad 0 \leq n \leq N-1 \\ &= 0 & ; & \quad \text{otherwise} \end{aligned}$$

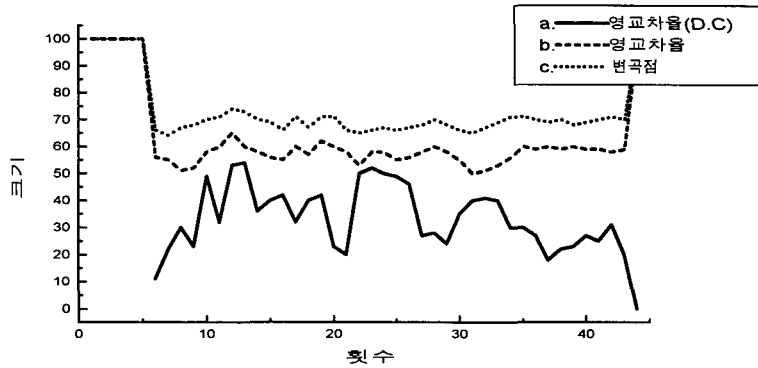
즉 식(2)는 $x(n)$ 의 기울기가 양의 값에서 음의 값으로 또는 그 반대의 경우로 변하는 변곡점의 개수를 평가하는 방법이다. 이와 같은 평가방법은 영교차율의 평가와는 달리 음성신호에 직류성분이 포함되어 있어도 직류성분에 의한 영향을 받지 않고 음성신호의 주파수특성을 정확하게 평가할 수 있다는 장점이 있다.

그림 1은 10 kHz로 샘플링한 음성신호 “이”에 대하여 100개씩 데이터를 구간단위로 분할시켜서 영교차율과 변곡점에 의해 평가한 결과이다. 그림 1의 (b)에서 b는 직류성분을 제거한 후 평가한 경우이고, a는 직류성분이 존재하는 상태에서 평가한 경우로서 직류성분을 제거한 후 평가한 데이터에 비하여 오차가 크게 됨을 알 수 있다. c의 경우는 직류성분이 존재하는 음성신호에서 변곡점에 의하여 평가한 데이터로서 b의 경우와 비교하여 조금씩 크게 평가됨을 알 수 있다. 이렇게 평가된 이유는 영교차율의 평가에 비하여 변곡점에 의한 평가가 고주파성분까지 정확하게 평가한 결과이다. 이와 같은 결과에서 볼 수 있는 것처럼 영교차율의 평가기준인 0[V] 이하에 신호성분이 존재하는 경우에는 이 직류성분 때문에 영교차율에 의한 평가가 정확하지 않음을 알 수가 있으며, 이에 비하여 변곡점평가에서는 직류성분이 있는 경우라도 정확하게 평가됨을 알 수 있고 또한 고주파특성까지도 평가됨을 알 수 있다.

그림 1. 직류성분이 있는 음성신호 “이”에서 영교차율의 평가



(a) 음성 신호



(b) 영교차율 및 변곡점 평가에 의한 데이터

2.3 단구간 크기 함수에 의한 에너지평가

음성신호의 분석시 음절이나 음소분할 등을 위하여 영교율의 평가와 같이 사용되는 또 다른 평가방법이 에너지에 의한 평가이다. 일반적으로 음성신호에 있어서 무성음의 신호크기는 유성음의 신호크기에 비하여 낮게 나타난다. 이와 같은 음성신호의 크기는 에너지와 밀접한 관계를 가지며, 영교차율의 분석과 함께 음성신호처리분야에 필수적인 분석방법이다.[12]

음성신호에 있어서 데이터의 개수가 N 인 프레임에서 단구간 에너지를 평가하기 위한 식은 다음과 같다.[13]

$$E(n) = \sum_{m=n-N+1}^n x^2(m) \tag{3}$$

여기서, $x(m)$ 는 m 번째 음성데이터이고, n 은 전체 음성데이터수를 나타낸다. 일반적으로 식 (3)은 음성신호의 크기에 너무 민감하기 때문에 평가하는데 어려운 점이 있다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 식 (4)과 같은 평균크기함수(average magnitude function)를 적용한다.

$$M(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} |x(n)| w(n-m) \tag{4}$$

단구간프레임의 크기를 N 으로 한정하면 식 (4)는 다음과 같은 단구간 평균크기함수(short-term average magnitude function)로 표현된다.

$$M(n) = \sum_{m=n-N+1}^n |x(n)| w(n-m) \tag{5}$$

여기서, $x(n)$ 은 평가하고자 하는 음성신호이고, $w(n)$ 은 단구간창함수이다. 그러나 식 (5) 역시 평가된 음성신호에 직류성분이 있는 경우 음성신호만의 에너지를 평가할 수 없으므로 식 (6)과 같은 변형된 단구간 에너지평가함수를 적용하였다.

$$M(n) = \frac{1}{N} \sum_{m=n-N+1}^n |x_p(n)| w(n-m) \quad (6)$$

$$x_p(n) = |x(n) - x(n-1)|$$

여기서 $x_p(n)$ 은 이웃한 두 음성신호차의 절대값 크기를 나타낸다. 즉, 식 (6)을 직류성분이 포함된 음성신호에 적용함으로써 직류성분에 의한 에너지를 제거하고 음성신호만의 단구간 에너지를 평가할 수 있다.

본 논문에서는 식 (6)에 의한 단구간 에너지평가와 식 (2)에 의한 변곡점평가에 의한 음성의 시작점 및 끝점검출과 음절분할을 수행하였다.

3. 실험 및 고찰

제안한 방법의 실효성을 평가하기 위하여 본 논문에서는 밀폐된 실내에서 3인이 발성한 66개의 단음절 음성신호를 대상으로 실험을 수행하였으며, 음성데이터는 12비트 A/D변환기에서 10 [kHz] 샘플링을 시켜서 얻은 후 IBM PC(pentium) 계열을 사용하여 수행하였다. 또한 음성신호의 시작점 및 끝점검출과 천이구간의 특징을 평가하기 위하여 음성신호를 약 100개 단위의 구간으로 분할한 후 단구간별로 수행하였고, 천이구간의 특징추출은 분할된 음성데이터에 FFT(fast Fourier transform)를 적용하여 주파수분석을 수행하였다.

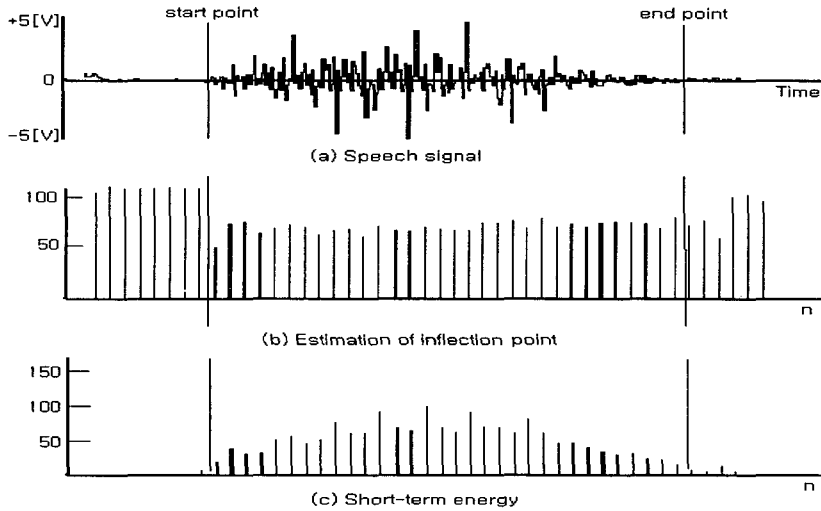
3.1. 변곡점 평가에 의한 음성신호의 시작점 및 끝점검출

본 논문에서는 음성신호의 음절분할시 변곡점평가를 위한 기준값을 구하기 위해서 동일한 음성에 대하여 영교차율과 단구간에너지에 의한 분할구간을 찾은 후 같은 구간에 대한 변곡점 평가값을 구했다.

이와 같은 절차에 의한 방법을 직류성분이 없는 음성신호 “이”에 적용한 후 평가결과는 그림 2에 나타내었다. 먼저 변곡점평가와 영교차율에 의한 평가를 위하여 음성신호 “이”를 100개의 데이터씩 프레임분할을 하였고, 각 프레임별로 영교차율과 변곡점 및 단구간에너지를 평가하였으며, 그 결과는 그림 2와 같다. 그림으로부터 알 수 있듯이 음성신호 “이”는 발생되기 전과 발생 후의 변곡점 평가값은 영교차율의 평가에 의한 결과와 마찬가지로 100개 이상으로 나타났으며, 음성신호가 발생되고 나서부터 마지막부분까지는 변곡점에 의한 평가값이 영교차율에 의한 평가값보다 약 10개에서 20개 이상 높은 값인 60개에서 80개 사이의 값으로 평가되었다. 또한 식 (6)에 의한 단구간에너지는 신호의 중간부분이 가장 크게 평가되었다.

변곡점평가의 기준값을 실험적으로 구하기 위하여 먼저 영교차율 평가에 의한 시작점 및 끝점의 기준점을 검출한 후 동일한 구간에서 변곡점의 평가와 단구간에너지의 평가를 수행한 결과, 시작점에서는 단구간에너지가 5미만에서 19로 크게 되었고, 변곡점평가에서는 100개 이상에서 41개 이하로 급격하게 줄어들었다. 또한 끝점에서의 평가는 단구간에너지가 18로 줄어들었고, 변곡점은 39개 정도로 상승하기 시작하였다.

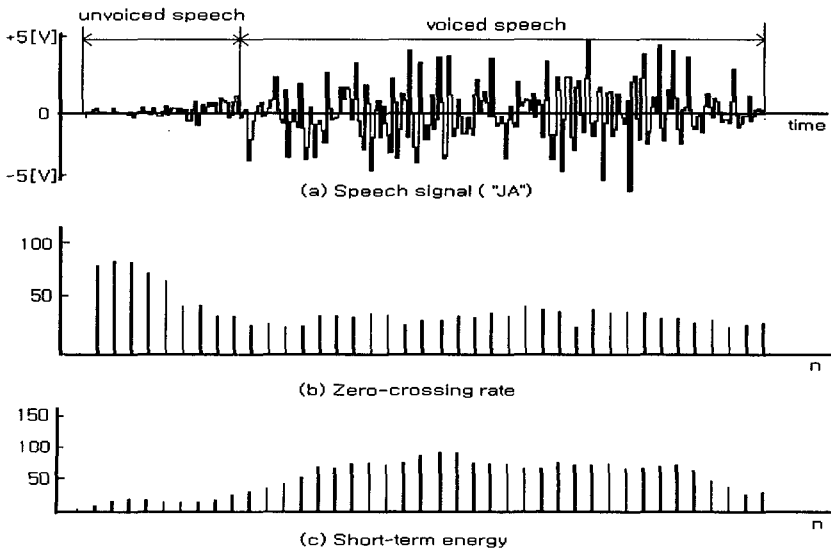
그림 2. 변곡점 및 단구간 에너지평가에 의한 시작점 및 끝점 검출(단음절 “이”)



또 다른 실험으로 무성음과 유성음의 분할을 위하여 영교차율의 기준치인 무성음에서는 49회, 유성음의 경우는 14회를 기준으로 영교차율 평가에 의한 음절을 분할한 후, 동일한 구간에서 변곡점평가를 수행한 결과값을 변곡점 평가값의 기준값으로 하였다.

그림 3은 음성신호 “자”에 대하여 유성음과 무성음분할을 위한 영교차율과 변곡점을 평가한 결과를 나타내었다. 먼저 영교차율의 평가기준인 무성음에서 49개, 유성음에서 14개를 기준으로 하여 음성신호에서 유·무성음을 분할한 후 동일한 구간에서 변곡점 평가를 수행하였다. 이 실험에서 얻어진 결과는 그림 3의 (a)에 나타난 것과 같이 무성음과 유성음의 분할구간에서 변곡점에 의한 평가값이 40개 이상이고 단구간에너지가 20이하가 됨을 확인 할 수 있었다.

그림 3. 변곡점 및 단구간 에너지평가에 의한 시작점 및 끝점검출 (단음절 “자”)



본 논문에서는 3인이 밀폐된 실내에서 발음한 전체 음성신호에 변곡점과 단구간에너지 평가 함수를 적용한 결과 시작점 및 끝점을 검출하였으며, 시작점 및 끝점검출에는 표 1과 같은 기준치가 적합한 값을 확인하였다. 또한 시작점 및 끝점검출에 주된 인자는 변곡점평가보다 단구간에너지평가임을 확인하였다.

표 1. 시작점과 끝점검출을 위한 기준치

	시작점의 검출	끝점의 검출
변곡점 수	80개 미만	60개 이상
단구간에너지	20 이상	20 미만

3.2 음성신호의 천이구간 분할검출

음성신호처리에 있어서 발음이 시작되는 시작점부터 정상상태에 도달하기 직전인 천이구간의 평가는 매우 중요하다. 이와 같은 천이구간의 분석을 위한 실험에서는 표 1에 있는 변곡점과 단구간에너지 평가값을 이용하여 천이구간의 시작점을 검출하였다.

그림 4. 음성신호에서 천이구간의 검출 (단음절 “다”)

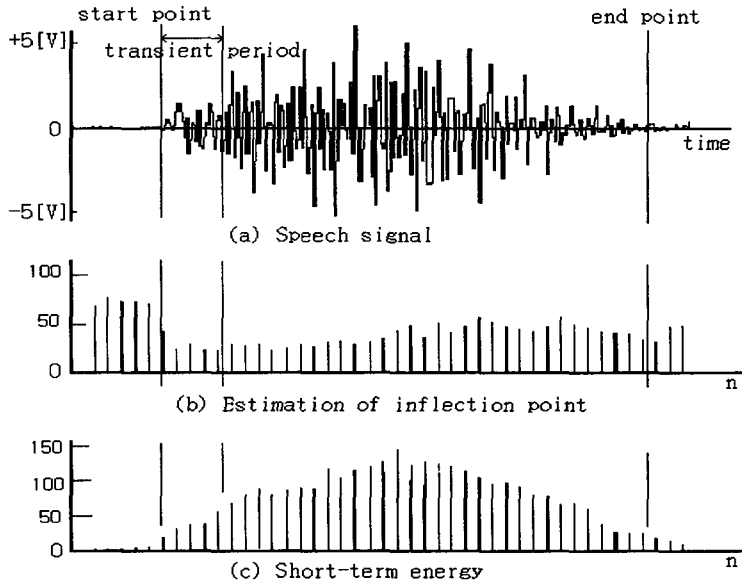
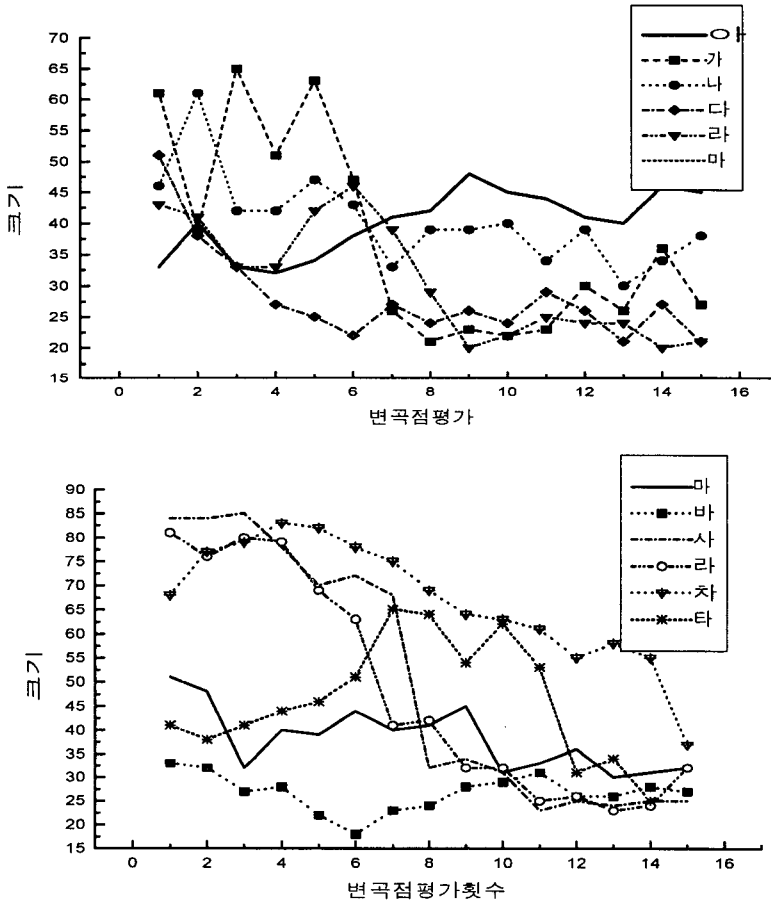


그림 4는 음성신호 “다”에 표 2의 기준치를 적용하여 천이구간을 검출한 결과로서 음성신호의 발생 전 즉, 단구간에너지 매우 작은 구간에는 변곡점의 평가값이 음성신호가 존재하는 구간보다 크게 평가되었으며, 그 이유는 음성이 발생되기 전에 잡음이 포함되었음을 확인할 수 있었다. 또한 이 천이구간의 음성신호를 D/A변환을 통하여 청취한 결과 “ㄷ”의 발음을 위한 혀의 천이가 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 천이구간 이후의 음성신호에서는 후반부로 갈수록 “아”에 가까운 상태가 됨을 알 수 있었고, 단구간에너지의 경우 천이구간보다 중간부분의 신호가 최대가 됨을 확인할 수 있었다.

대표적인 음성신호에 대하여 실험한 결과는 그림 5와 같다. 그림 5는 대표적인 음성신호에서 변곡점에 의한 평가값의 결과로서, “마”, “차”, “타”의 음성신호에서는 천이구간의 길이가 길고 변곡점의 평가값도 크게 됨을 알 수 있고, “다”, “바”, “아”의 경우는 천이구간의 길이가 짧고 변곡점의 평가값도 작음을 알 수 있었다. 단구간에너지 경우도 변곡점에 의한 평가에서와 유사하게 천이구간이 짧은 경우 에너지값도 작고 짧으며, 천이구간이 긴 경우 에너지 값도 크고 긴 구간에 걸쳐 평가됨을 알 수 있다.

그림 5. 대표음성의 변곡점평가



위의 실험을 전체 음성데이터에 적용한 결과 천이구간의 검출을 위한 그 기준값으로는 표 2의 기준치가 적합함을 확인할 수 있었다.

표 2. 천이구간 검출을 위한 기준치

	시작점의 검출	끝점의 검출
변곡점 수	80개 미만	40개 미만
단구간에너지	20 이상	20 미만

3.3 천이구간의 특징 분석

본 절에서는 제안한 방법을 이용하여 천이구간을 분할한 후 분할된 음성데이터에 FFT를 적용하여 주파수평면에서 분석을 하였다. 주파수평면에서의 분석은 일반적인 방법에서 사용하는 것처럼 포먼트분석을 수행하였다.

그림 6은 대표적인 음성신호에서 3.2절의 절차에 의하여 천이구간을 검출한 후 검출된 음성데이터에 FFT를 적용하여 포먼트주파수를 나타낸 것이다.

그림 6에서 음성신호 “가”의 천이구간 데이터에 대한 주파수특성은 F_1 은 0.8 kHz, F_2 는 2.8 kHz, F_3 은 3.1 kHz, F_4 는 3.7 kHz이었고, 음성신호 “사”의 천이구간분석에서는 F_1 은 0.8 kHz, F_2 는 2.8 kHz, F_3 은 3.1 kHz, F_4 는 3.7 kHz이었다.

천이구간의 길이에 대한 특징분석은 초성에 자음이 있는 단음절 음성신호를 주로 대상으로 하였으며, 각 음성신호별로 본 실험에서 수행한 100개 단위의 단구간의 수에 비례하며, 대표 음성신호에 있어서 천이구간의 단구간 개수는 표 3과 같은 결과를 얻었다. 즉 음성신호 “가”의 실제 천이구간의 길이는 600개의 음성데이터로 구성되며, 10 kHz 샘플링으로 음성데이터를 변환시켰으므로 60 ms이다. 음성신호 “차”의 천이구간은 약 140 ms로서 다른 음성데이터에 비하여 길게 천이가 이루어짐을 알 수 있었다. 그리고 표 3으로부터 알 수 있듯이 음성 “마”, “차”, “타”가 길게 천이됨을 확인하였다.

그림. 6 천이구간 음성데이터의 주파수특성

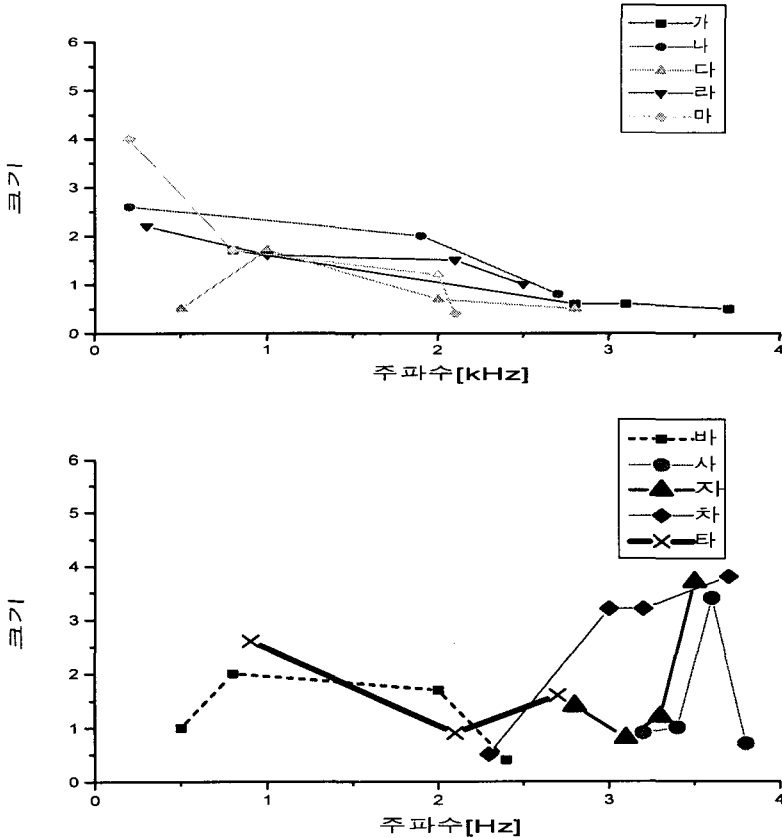


표 3. 천이구간 음성데이터의 길이에 대한 특성

음 성	가	나	다	라	마	바	사	자	차	타	파	하
천이구간길이 (ms)	60	60	10	40	90	20	70	80	140	100	60	80

4. 결 론

본 논문에서는 변곡점과 단구간 에너지평가에 의한 음성신호의 분할방법을 제안하였다. 또한 제안한 방법으로 음성신호의 천이구간을 분할한 후 천이구간의 특징들을 평가하였다. 본 논문의 실험결과 제안한 평가방법이 영교차율에 의한 평가의 문제점인 직류성분이 있는 음성신호에서도 정확하게 시작점과 끝점 및 천이구간의 분할이 가능함을 확인할 수 있었고, 음성신호에 있어서 시작점과 끝점검출을 위한 기준은 시작점검출시 변곡점 평가값이 80개 미만, 단구간에너지 20이상이고, 끝점검출은 변곡점 평가값이 60개 이상, 단구간에너지 20미만이였다. 또한 천이구간의 검출을 위한 기준점도 시작점은 위의 기준점과 동일하며, 천이구간의 끝점은 변곡점 평가값이 60개 이상, 단구간에너지 20미만을 확인할 수 있었다.

천이구간의 특징분석에서는 음성신호 중 “가”, “다”, “마”의 천이구간 음성데이터는 대부분 1 kHz 부근의 낮은 주파수성분을 갖고 있고, “사”, “자”, “차”는 대부분 3.5 kHz 부근의 높은 주파수성분을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 천이구간의 길이분석에서 천이가 비교적 길게 되는 음성신호는 “마”, “차”, “타”이고, 이와 반대로 짧게 되는 음성신호는 “다”, “라”, “바”이였다.

본 논문에서 제안한 변곡점평가에 의한 천이구간의 분할과 천이구간의 특징분석 결과는 음성신호분석과 연속음성인식을 위한 음소분할 등에 활용할 수 있을 것이며, 향후 천이구간의 LPC계수 추출에 의한 분석이 더 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] T. Svendsen and F. K. Soong. 1977. "Oh the automatic segmentation of speech signals." in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Processing, 77-80.
- [2] A. Ljolie and M. D. Riley. 1991. "Automatic segmentation and labeling of speech." in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Processing, 473-476.
- [3] 성평모 외 1인. 1998. "자동 음성분할 및 레이블링 시스템 구현." 한국음향학회논문지, 16(5), 50-59.
- [4] H. C. Leung and V. Zeu. 1984. "A procedure for automatic alignment of phonetic transcription with continuous speech." in Proc. IEEE. Int. Conf. Acoust., Speech Signal Processing, 429-432.
- [5] F. Brugnara, D. Falavigna and M. Omologo. 1993. "Automatic segmentation and labeling of speech based on hidden Markov models." Speech Communication, 12(4), 357-370.
- [6] F. Bimbot, G. Chollet, P. Deleclise and C. Montacie. 1988. "Temporal decomposition and acoustic-phonetic decoding of speech", in Pro. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Processing, 445-448.
- [7] Y. T. Ting, D. G. Childers. 1990. "Speech analysis using the weighted recursive least squares algorithm with a variable forgetting factor", Proc. ICASSP, 389-392.

- [8] Y. S. Cho, S. B. Kim, and E. J. Power. 1991. "Time-varying spectral estimation using AR models with variable forgetting factors", *IEEE Trans. Signal Processing*, SP-39, 1422-1426.
- [9] 최홍섭. 1997. "음성천이구간에서의 성도 파라미터 시변추정에 관한 연구." *한국음향학회논문지*, 16(2), 101-106.
- [10] 김선일 외 2인. 1994. "한국어 음성파형의 편집에 의한 한국어 음운 변화에 관한 연구." *한국음향학회논문지*, 13(6), 60-64.
- [11] L. R. Rabiner/R. W. Schafer. 1987. *Digital Processing of Speech Signal*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 116~164.
- [12] J. R. Deller, Jr. et al.. 1993. *Discrete-Time Processing of Speech Signals*, Macmillan Publishing Company, 266~343.
- [13] 김창석 외 3인. 1992. "음성신호의 최적특징을 적응적으로 추출하는 방법에 관한 연구." *한국통신학회논문지*, 19(2), 373-380

접수일자 : '98. 3. 2.
 게재결정 ; '98. 3. 31.

▲ 최일홍

경남 진주시 문산읍 상문리 산270
 진주전문대학 전자과(우 : 660-759)
 Tel : (0591) 751-8193 (O) Fax : (0591) 761-7407
 e-mail : ihchoi@namgang.chinju-c.ac.kr

▲ 장승관

경기도 시흥시 정왕동 3가 101
 한국산업기술대학교 전기전자공학과(우 : 429-450)
 Tel : (0345) 4968-262 (O) Fax : (0345) 4968-279
 e-mail : skjang@kpu.ac.kr

▲ 차태호

서울 금천구 가산동 219-5
 생산기술연구원 부설 산업기술교육센터 계측제어과(우 : 152-020)
 Tel : (02) 8603-471 (O) Fax : (02) 8603-456

▲ 최응세

경기도 시흥시 정왕동 3가 101
 한국산업기술대학교 전기전자공학과(우 : 429-450)
 Tel : (0345) 4968-261 (O) Fax : (0345) 4968-279
 e-mail : uschoi@kpu.ac.kr

▲ 김창석

경기도 용인시 남동 산38-2
 명지대학교 전자정보통신공학부(우 : 449-728)
 Tel : (0335) 37-2300 (O) Fax : (0335) 30-6374
 e-mail : kimcs@wh.myongji.ac.kr