

QMF를 이용한 유발 이음향 방사신호의 잠시 검출에 관한 연구

*정우현 명지대학교 전기 정보제어 공학부
 백승화 명지대학교 전기 정보제어 공학부

A Study on Detection of Latency of EOAE Signal using QMF

*Woohyun Chung, Myongji univ.
 Seunghwa Beack, Myongji univ.

Abstract - OAEs are low-level sounds produced by cochlea as part of the normal hearing process. OAEs can be measured with a microphone placed in the outer ear-cannel.

We can diagnose cochlea's condition by using OAEs. To diagnose it's condition, however, is difficult by reason of OAEs' tiny. Thus, It need to a method using latency which essential diagnosing a time-element of OAEs.

This study proposes a latency detection algorithm using 7-QMF for more effective detection of latency. 7-QMF designed by wavelet theory can process signal without a losses of information. The latency-detector based on 7-QMF is superior to former method.

1. 서 론

귀 내부로부터 음파가 발생되어 나오는 현상을 이음향 방사(Otoacoustic Emission : OAE)라고 하며, 이를 이용하여 내이의 이상을 비침습적으로 진단할 수 있다.

이음향 방사신호를 이용한 청각 검사는 기존의 유발전위(Evoked Potential : EP)에 의한 청각 검사에 비해 장비와 비용이 적게 들며, 보다 객관적이며 빠르다. 그러나 이음향 방사음은 크기가 미약하여 검출이 힘들고 크기 요소를 사용한 진단이 어렵다.

본 논문은 이음향 방사신호의 시간 요소를 이용한 진단을 위한 잠시의 검출법을 제안한다. 웨이브렛 변환을 이용하여 7차의 QMF를 설계하여 정보의 손실 없이 이음향 방사신호를 검출하고 2차 차분을 이용하여 잠시를 보다 정확하고 간편하게 검출한다.

2. 본 론

2.1 이음향 방사

이음향 방사신호는 와우(cochlea)에서 방사되고 외이도에서 기록되는 음향 에너지이며 자극(Stimulus)의 존재 여부에 의해 자발 이음향 방사(Spontaneous Otoacoustic Emissions : SOAE) 신호와 유발 이음향 방사(Evoked Otoacoustic Emissions : EOAE) 신호로 분류된다. 일반적으로 진단에 사용되는 것은 유발 이음향 방사 신호이며 진단 요소로는 잠시, 이음향 방사음의 크기 등이 있다. 특히 잠시는 자극음의 생성부터 이음향 방사음의 출현까지의 시간으로 내이의 진단을 위한 가장 객관적인 진단 요소이다. 그림1은 유발 이음향 방사신호의 패턴을 보여준다.

2.2 가산 평균법

이음향 방사신호는 매우 미약하기 때문에 정확한 측정을 위해서는 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)를 향상시키는 방법이 필요하다.

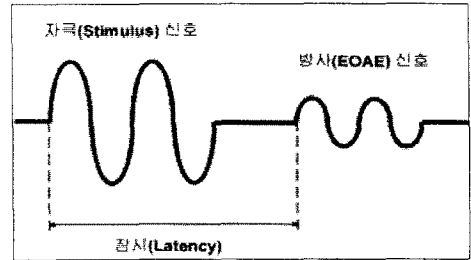


그림1 유발 이음향 방사신호의 패턴

본 논문에서는 저주파 대역에서 우수한 신호 대 잡음비의 향상을 보이는 가산 평균법을 사용하여 신호 대 잡음비를 향상시켰다.

가산 평균법은 원신호의 왜곡 없이 잡음으로부터 신호를 분리하는 방법으로, 특히 생체신호의 처리에 효과가 있다. 구성된 시스템의 마이크로폰의 출력신호를 $f(t)$ 라고 하고 $f(t)$ 의 신호 성분과 잡음 성분을 각각 $s(t)$, $n(t)$ 라고 정의하면 식(1)과 같이 쓸 수 있다.

$$f(t) = s(t) + n(t) \tag{1}$$

식(1)을 샘플링 하면 식(2)와 같이 쓸 수 있으며 가산평균은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(iT) = s(iT) + n(iT) \tag{2}$$

$$\overline{f(iT)} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m f(iT) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s(iT) + \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m n(iT) \tag{3}$$

$$i = 1, 2, 3$$

식(3)의 우변의 각 항은 다음과 같이 쓸 수 있으며 신호 대 잡음비는 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s(iT) = s(iT)$$

$$\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m n(iT) = \frac{\sqrt{m}}{m} \delta_n$$

$$SNR_m = \frac{s(iT)}{\frac{\delta_n}{\sqrt{m}}} = \sqrt{m} \frac{s(iT)}{\delta_n} = \sqrt{m} SNR \tag{4}$$

식(4)는 m 이 증가함에 따라 높은 신호 대 잡음비의 향상을 보인다. 즉 가산 평균법은 반복횟수를 증가시킬수록 효과가 크다. 가산 평균법을 이용한 신호 대 잡음

*본 논문은 정보통신 우수학교 지원에 의해 수행되었음

비의 향상을 위해서는 반복횟수가 최소 1000회 이상이 되어야 한다.

2.3 웨이브렛 변환

2.3.1 웨이브렛 변환

신호 변환의 목적은 신호에 관계되는 정보를 추출하여 정확히 신호를 분석하는 것이다. 신호의 주파수 특성을 알 수 있는 변환은 여러 가지가 있으며 가장 대표적인 것이 푸리에 변환(Fourier Transform)이다. 그러나 입력신호가 시간에 따라 갑작스럽게 변화하는 비정상 신호이면 푸리에 변환으로 신호를 해석하는 것은 적합하지 않다.

비정상적인 입력신호를 해석하기 위한 대표적인 변환은 STFT(Short Time Fourier Transform)이다. STFT는 일정한 윈도우를 사용하여 비정상 신호를 정상 신호에 근사화한 후 푸리에 변환을 하는 것으로 식(5)와 같이 쓸 수 있다.

$$X_{STFT} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega t} \omega(t-\tau)x(t)dt \quad (5)$$

그러나 모든 주파수에 같은 크기의 윈도우를 사용하기 때문에 신호의 해상도가 시간-주파수 평면에서 모두 같게 되어 어느 정도의 정보의 손실을 감수하여야 한다.

웨이브렛 변환은 고주파 대역에서 작은 윈도우를 사용하고 저주파 대역에서 큰 윈도우를 사용하여 정보의 손실 없이 신호를 해석할 수 있다. 웨이브렛 변환은 식(6)과 같이 나타내어지며 식(6)을 이산화 하면 식(7)과 같이 쓸 수 있다.

$$WT_x(a, \tau) = \int x(t) \cdot h_{a, \tau}^*(t)dt$$

$$h_{a, \tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} h^*\left(\frac{t-\tau}{a}\right) \quad (6)$$

a : 스케일링 변수, τ : 병진 변수

$$W_{a, \tau}(n) = \sum x(n) h_{a, \tau}^*(n)$$

$$h_{a, \tau}(n) = a_0^{-\frac{n}{a}} h(a_0^{-n/a}t - \tau T) \quad (7)$$

그림2는 STFT와 웨이브렛 변환의 시간-주파수 해상도를 보여준다.

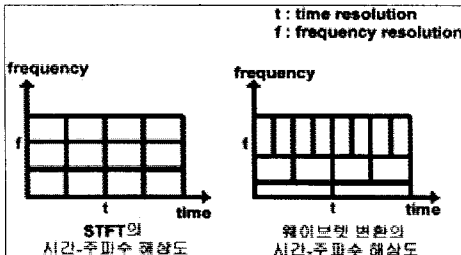


그림2 STFT와 웨이브렛 변환의 시간, 주파수 해상도

2.3.2 웨이브렛 필터뱅크

웨이브렛 필터는 마더 웨이브렛(mother wavelet)이라는 단일 윈도우 함수를 병진(translation) 변수 τ 와 스케일링(scaling) 변수 a 에 의해 변형시킨 웨이브렛을 이용하여 주파수 대역에 따라 서로 다른 분해능을 갖는 윈도우 함수를 제공하여 시평면 신호에 대해 다중분해능 해석(multiresolution analysis)이 가능하게 구현된 필터로서, 시평면 신호 $x(t)$ 의 웨이브렛 필터를 통과한 출력은 식(6)에서와 같이 병진 변수 τ 와 스케일

링 변수 a 의 2차원 평면상에 나타낼 수 있다.

이 때, 스케일링 변수 a 가 커지면, 이에 해당하는 웨이브렛 필터의 전달 함수 $h_{a, \tau}$ 는 주파수 평면에서는 폭 넓고 시평면에서는 좁은 임펄스 응답을 얻을 수 있기 때문에 시평면 분해능이 좋은 출력을 얻을 수 있다.

그러므로 식(6)의 웨이브렛 필터는 시평면 신호의 주어진 대역폭에 대하여 서로 다른 분해능을 갖는 출력을 발생시키기 때문에 시간과 주파수의 2차원 평면에서 다중분해능 해석을 가능하게 한다. 이산화된 식(7)으로부터 이산 시평면 신호를 서로 직교하면서 저역 신호성분과 고역 신호성분으로 분리하는 1쌍의 저역 통과 및 고역 통과 웨이브렛 필터는 그림3과 같이 구성된다.

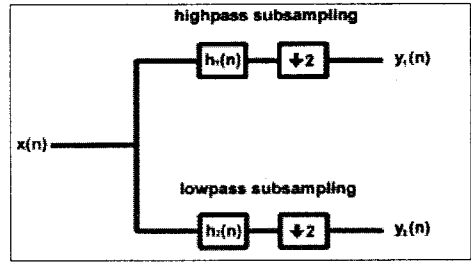


그림3 웨이브렛 필터뱅크의 구성

이와 같은 웨이브렛 필터에 의해 분리된 고주파 신호 성분과 저주파 신호 성분들은 웨이브렛 필터를 반복적으로 사용함에 따라 더욱 정밀한 필터 뱅크로 구성된다. 이 때, 필터가 반복될 때마다 샘플의 수는 2^{-1} 씩 감소하게 되며 이를 이용하여 QMF를 구성할 수 있다.

본 논문에서는 7차의 QMF를 설계하여 이음향 방사 신호를 분석하였다.

2.4 2차 차분에 의한 잠시의 검출

이음향 방사신호는 자극신호와 동일한 주파수 대역에서 자극신호 후에 출현한다. 잠시는 자극신호의 발생부터 방사신호의 출현까지의 시간이며 지연이 없이 자극신호를 발생할 경우에는 이음향 방사음의 출현 시각이 잠시이다. 그러나 측정된 신호는 측정기기의 위상지연과 스피커나 마이크의 특성 때문에 자극신호와 방사신호의 구분이 모호하다. 또한 이음향 방사신호는 매우 미약하여 혈관의 수축에 의한 잡음에도 큰 영향을 받는다.

본 논문에서는 유발 이음향 방사신호의 전형적인 형태에 착안하여 잠시의 검출법을 제안한다.

이음향 방사신호는 자극신호가 상승·하강한 후 얼마간의 평탄 구간을 지난 후에 출현한다. 이 때, 평탄 구간의 신호는 다른 어떤 부분보다도 변화율이 적다. 변화율은 차분 방정식을 이용하여 구할 수 있다. 2차 차분을 하면 변화율이 최소인 부분이 첨두치로 나타나므로 본 논문에서는 2차 차분을 이용하여 잠시를 검출한다. 이때의 첨두치는 원신호에서 가장 변화율이 작은 부분으로 이 점에서 방사신호가 시작한다.

7차의 QMF를 통과하여 2차 차분된 신호의 첨두치는 2^7 만큼 다운 샘플링 되었으므로 정확한 잠시를 얻기 위해서는 첨두치의 값에 2^7 을 곱하여 원신호에서의 샘플의 수를 구하고 시간으로 환산한다. 식(8)은 2차 차분에 대한 방정식이다.

$$f_{output} = f_{input}(n+1) - 2f_{input}(n) + f_{input}(n-1) \quad (8)$$

2.5 전체 시스템의 구성

본 논문에서 구성한 이음향 방사신호의 취득과 잠시의 검출 및 진단을 위한 시스템은 기능상 자극 발생부, 신

호 수집부, 전처리기, 그리고 잠시 검출기로 구성된다.

자극 발생부는 STM100(Biopac system Inc.)을 이용하여 500~2000 Hz의 회화음역의 자극을 발생시키며 의도에 위치한 스피커를 통하여 자극을 내이에 전달한다.

신호 수집부는 자극 이후에 발생하는 방사신호를 의도에 위치한 마이크로폰을 통하여 증폭하여 원격 감시장비인 TEL100(Biopac system Inc.)에 전달한다. TEL100은 0.5 Hz의 기저선 필터링과 50 K의 증폭 후 생체 신호 수집기인 MP100(Biopac system Inc.)에 전달한다. MP100은 수집되어진 신호를 1 KHz로 샘플링 하여 PC에 저장한다.

전처리기는 수집된 신호의 신호 대 잡음비를 향상시키기 위하여 가산평균을 한다.

잠시검출기는 웨이브렛 변환을 이용하여 구성된 7차 QMF를 통하여 자극신호와 동일한 주파수 영역만을 검출하여 2차 차분과 간단한 연산을 통하여 잠시를 검출한다. 그림4는 전체 시스템의 구성도이다.

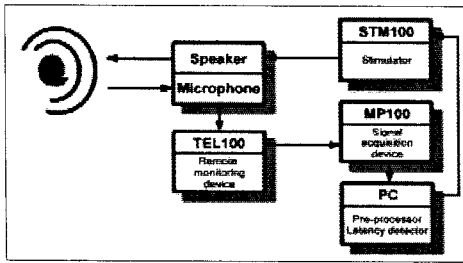


그림4 유발 이음향 방사신호의 잠시 검출 시스템 구성도

3. 실험 및 결과 고찰

실험은 청력이 정상인 성인 10명을 대상으로 시행하였다. 자극은 STM100에서 생성된 버스트 순음을 의도에 삽입할 수 있도록 제작된 프로브를 통하여 전달하였다. 자극신호의 주파수는 일상 회화에 사용되는 회화음역인 500~2000 Hz로 하였으며 자극음의 크기는 경미한 청력손실 정도 판별의 기준이 되는 30 dB로 하였다. 이 때, 자극신호의 상승, 평탄 및 하강 시간은 2 ms이며 400 ms마다 반복하였으며, 1000회 반복을 통하여 유발 이음향 방사신호의 전체길이는 400초로 만들었다. 자극이 내이에 전달된 후에 방사되어 나오는 신호를 의도에 삽입된 프로브에 의해 취득하여 TEL100에서 필터링과 증폭을 하고 MP100을 이용하여 10000 sample/sec로 디지털 샘플링 하여 저장하였다. 저장된 신호는 PC에서 가산평균을 하여 400 ms의 길이의 신호로 처리하였다. 가산 평균된 신호는 각각의 대역폭이 78 Hz인 7차의 QMF를 통하여 이음향 방사신호의 성분만을 검출하였으며 잠시의 검출을 위하여 2차 차분을 하여 평탄구간까지의 샘플 수를 구하여 시간으로 변환하였다.

그림5는 자극 주파수가 500 Hz일 때의 이음향 방사신호를 분석한 것이다. 그림 (a)에서 첨두치는 11번째 샘플에서 나타난다. 따라서, 잠시의 계산은 다음과 같다.

$$11\text{Samples} \times 2^7 = 14.08 \text{ ms}$$

4. 결 론

본 논문에서는 유발 이음향 방사신호의 잠시의 검출을 위하여 웨이브렛 변환을 이용한 7차 QMF와 2차 차분을 이용하였으며 다음과 같은 효과를 보였다.

1. 측정기기 또는 인체 내부의 잡음에 강인하다.
2. 검출과정이 간단하여 메모리 및 시간 효율이 좋다.
3. 2차 차분의 첨두치를 이용하므로 쉽게 확인이 가능하여 이를 통한 자동화가 가능하다.

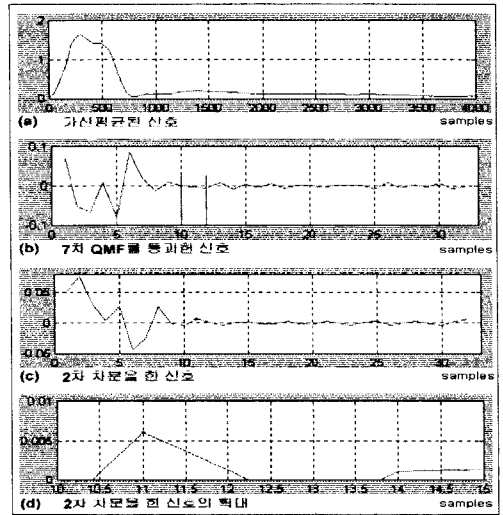


그림5 500Hz의 자극에 대한 이음향 방사신호의 분석

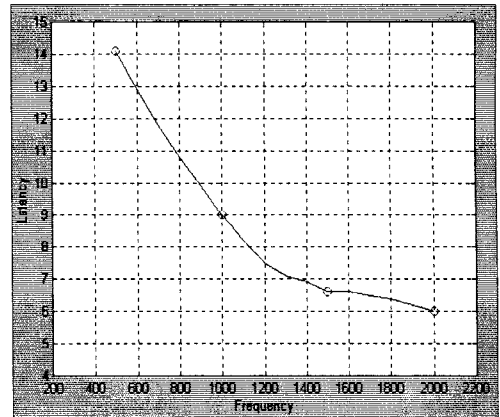


그림6 자극신호의 주파수에 따른 잠시의 변화

(참 고 문 헌)

- (1) D.T. Kemp, "Stimulated acoustic emissions from the human auditory system", J.Acoust Soc Am, vol. 64, pp1386-1391, 1978
- (2) 최진영, 조진호, 이상훈, "상호상관법을 이용한 가변 자극 유발이음향 방사와 잠시의 측정", 의공학회지, 제12권, 제1호, pp19-22, 1991
- (3) 손준일, 최동우, 백승화, "청각 방사음향의 측정에 관한 연구", 대한전기학회, 하계학술대회 논문집, pp 1333-1335, 1996
- (4) 이민우, 손준일, 최동우, 백승화, "웨이브렛 변환을 이용한 음성 신호 피치 검출", 대한전기학회, 추계학술대회 논문집, pp149-153, 1995
- (5) 정우현, 백승화, "Adaptive algorithm을 이용한 이음향 방사음의 잠시의 변화 검출", 대한전기학회, 하계학술대회 논문집(G), pp2483-2485, 1998