

선형예측부호화 스펙트럼을 이용한 유발이음향 방사파 잠시의 측정

안정일, 최진영, *조진호, 이진일
 경북대학교 공과대학 전자공학과
 *경북대학교병원 의공학과 및 경북대학교 전자공학과

Measurement of Evoked Otoacoustic Emission Latency Using Linear prediction Coding Spectrum

°Jung-Il An, Jin-Young Choi, *Jin-Ho Cho, Kuhn-Il Lee
 Dept. of Electronics, Kyungpook National University
 *Dept. of Biomedical Eng. Kyungpook Nat. Uni. Hospital
 and Dept. of Electronics, Kyungpook Nat. Uni.

Abstract

An automatized latency calculation method of evoked otoacoustic emission is proposed. Averaged e-OAE signal is measured from normal adult and it is processed by IBM-AT computer for latency calculation. After partition of stimulated and emitted signal on the time axis by converted linear prediction coding spectrum, latency is calculated by cross correlation method. The output is also compared with those of conventional autocorrelation and pure cross correlation methods. The result show that proposed method has better performance than those of conventional ones.

I. 서 론

인간의 청각의 전달은 귓바퀴에 의하여 모여진 음파가 고막을 진동시키고 이 진동은 추골(malleus), 침골(incus) 및 등골(stapes)을 통해 와우각(cochlea)에 전달된다. 잠시(latency)란 외이에 자극음을 준 시각부터 와우각의 방사음이 나타날 시각 까지의 시간을 뜻한다. 이는 귀의 유발이음향 방사(evoked otoacoustic emission : e-OAE)현상의 중요한 변수이며 정상인의 경우 잠시는 5(ms)에서 15(ms)사이에서 나타나며 이는 귀의 모델화와 진단에 중요한 요소라 할 수 있다. 유발이음향 방사현상은 1978년 Kemp¹⁾가 처음 소개한 이후 이에 대한 많은 연구^{2)~4)}가 진행되어 왔다.

잠시를 측정하는데 있어 자극음에 따라서는 잔향과 유발이음향 방사파가 겹쳐서 나타날 때가 있어 이 경우 이들을 정확히 구별하여 잠시를 측정하기란 쉽지 않다. 자극음에서 유발이음향 파형을 구별해내기 위하여 뿔셈법과 역상승변환(deconvolution)법이 제안되었다⁵⁾. 후자는 시스템 전달함수의 역관계를 사용하여 자극음을 소거함으로써 유발이음향 파형을 얻는 방법이며, 전자는 이미 알고 있는 자극음에서 유발이음향 파형을 빼는 방법이다. 그러나 이의 두가지 방법 모두 시점과 종점을 구하는데 있어서 곤란한 점이 있고, 측정기기의 위상 지연이 문제도 남는다. Fukazawa⁶⁾는 위의 결점들을 해결하기 위하여 자극음의 파형전체의 자기상관성을 이용하여 구한 두번째 점두값을 유발이음향의 잠시로 측정하였다. 이 방법의 특징은 수학적 의미가 명확하며, 측정기기의 위상지연은 자극음과 유발이음향 방사파에 대해서 같기 때문에 양자는 자기상관을 얻는 과정에서 상쇄되어 시점과 종점을 따로 정하지 않아도 되는 장점이 있다. 즉, 자극음에서 응답파형을 완전히 분리할 필요가 없다. 그러나 자기상관법에 의한 잠시의 측정은 두번째 점두치로 잠시를 측정하므로 이의 검출에 어려움이 생긴다. 이를 개선 하기 위하여 최등⁷⁾은 상호상관법을 사용하여 극대점 검출이 더욱 용이한 잠시측정법을 제시하였다. 그러나 귀측에 의하여 자극음이 끝나는 임의의 점을 전후로 자극신호와 응답신호를 구분하여 상호상관법을 행함으로써 관측의 불편함이 존재한다.

본 논문에서는 이를 개선하기 위하여 음성신호의 주파수 스펙트럼 추정(Linear prediction coding)방법을 변형하여 시간축의 신호를 추정하는 스펙트럼을 구함으로써 자극신호와 응답신호를 관측에 의하지 않고 양분한 후 상호상관법을 행하므로 잠시계산의 자동화를 할 수 있는 방법을 제시하였다.

II. 이 론

본 논문에서 귀의 유발이음향방사를 측정하기 위한 실험 장치의 구성은 그림 1과 같다. 자극 발생기에서 출력된 1kHz의 신호의 자극음이 감쇄기를 통하여 이어폰에서 외이도에 음향신호를 발생 시킨다. 이 음향 신호가 와우각을 자극하고 이에 의한 와우각에서의 방사음을 마이크로폰으로써 감지한다. 이를 증폭기로 증폭한 후 가산평균하여 관측한다. 정상 성인의 경우 방사음은 자극음이 시작된 후 5(ms)에서 15(ms)사이에 나타나게 된다⁸⁾.

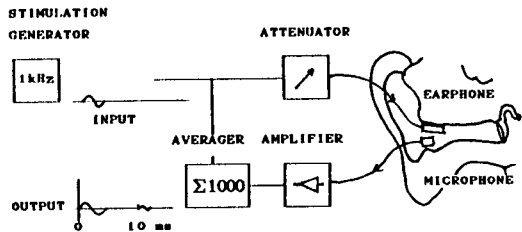


그림 1. 자극에 대한 유발이음향 방사파를 측정하기 위한 실험 장치.

Fig. 1. Schematic representation of the experiment to detect the e-OAE for transient stimulation.

유발 이음향 방사현상에 의한 잠시를 측정할 경우, 외이의 자극신호 $x(n)$ 에 대한 와우각에서의 응답신호 $y(n)$ 은

$$y(n) = H(x(n)) \quad (1)$$

로서 와우각을 통과한 유발이음향 방사신호이다. 상호상관법을 사용하기 위해서는 $x(n)$ 과 $y(n)$ 을 정확히 구분해야 한다. 선형예측부호화 스펙트럼법을 이용해 시간축 상의 신호본리를 위해서 자극과 응답의 신호 $f(n)$ ($n = 0, 1, \dots, N-1$)을, 주파수 상의 계수 F_r ($r = 0, 1, \dots, N-1$)라 가정하고, 푸리에 역변환 하면

$$f(k) = 1/N \sum_{r=0}^{N-1} F_r \exp(j2\pi rk/N)$$

$$= 1/N \sum_{r=0}^{N-1} F_r (\cos 2\pi rk/N + j \sin 2\pi rk/N)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (2)$$

이다. 여기서 실수부만 취한 신호 $s(n)$ 은

$$s(n) = 1/N \sum_{r=0}^{N-1} f(n) \cos 2\pi rk/N \quad (3)$$

이다. $s(n)$ 의 추정계수 a_k 를 가진 선형모델을

$$s(n) = \sum_{k=1}^p a_k s(n-k) \quad (4)$$

로 추정할때 p 차의 선형추정의 시스템 함수 $P(z)$ 는

$$P(z) = \sum_{k=1}^p a_k z^{-k} \quad (5)$$

이고 시스템 응답함수 $A(z)$ 는

$$A(z) = 1 + P(z) \quad (6)$$

이다. 이때 추정 오차 $e(n)$ 은

$$e(n) = s(n) - \hat{s}(n) \\ = s(n) - \sum_{k=1}^p a_k s(n-k) \quad (7)$$

이다. 평균자승오차(mean-squared error) $E^{(n)}$ 은

$$E^{(n)} = \sum_n e^2(n) \\ = \sum_n [s(n) - \sum_{k=1}^p a_k s(n-k)]^2 \\ = \sum_n [\sum_{k=0}^p a_k s(n-k)]^2 \quad (8)$$

와 같으며

$$dE/da = 0 \quad (9)$$

즉,

$$\sum_{k=1}^p a_k R(|1-k|) = R(1) \quad (10)$$

를 만족하는 최적의 계수 a_k 를 구한다. 여기서 $l = 1, 2, \dots, p$ 이고 $k = 0, 1, \dots, p$ 이며, 이때

$$R(|1-k|) = \sum_n s(n-1) s(n-j) \\ = \sum_n s(n) s(n+|n-j|) \quad (11)$$

이다. 식(10)에서 추정계수 a_k 는 Durbin 알고리즘을 이용하여 구할 수 있으며 이는 다음과 같다. 평균자승오차의 초기화는

$$E^{(0)} = R^{(0)} \quad (12)$$

로 하며, 반사계수 k_i 는

$$k_i = [R(i) - \sum_{j=1}^{i-1} a_j^{(i-1)} R(i-j)] / E^{(i-1)} \quad (13)$$

와 같다. 여기서 $i = 1, 2, \dots, p$ 이다. i 차의 계수 $a_i^{(i)}$ 는

$$a_i^{(i)} = k_i \quad (14)$$

이다. 이때

$$a_i^{(i)} = a_j^{(i-1)} - k_i a_{i-j}^{(i-1)} \quad (15)$$

이고 $j = 1, 2, \dots, i-1$ 이다. 평균자승오차 $E^{(i)}$ 는

$$E^{(i)} = (1 - k_i^2) E^{(i-1)} \quad (16)$$

이다. 식(13)에서 식(15)의 선형예측부호화 계수는

$$a_j = a_j^{(p)} \quad (17)$$

를 만족한다. 위와같이 구한값으로부터 선형예측부호화 스펙트럼은, p 차의 평균자승오차가 R_{∞} 이므로,

$$S(z) = R_{\infty} / |A(z)|^2 \quad (18)$$

다. 얻어진 스펙트럼을 통해서 기울기가 음에서 양으로 바뀌는 점을 전후로 자극신호와 응답신호를 구분할 수 있다. 구분된 자극신호와 응답신호의 상호상관함수 R_{xy}

$$R_{xy} = \sum_{k=0}^{N-1} x(n+k) y(n) \quad (19)$$

로써 잡시를 측정한다.

III. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서 사용한 잡시 측정 시스템은 그림 2와 같다. 자극과 동시에 방사음을 수신할 수 있도록 이어폰의 개구 부위를 이등분하고 수신용 음향통을 아래 부위에 초소형 마이크로폰소자(Eu-08)를 부착하여 보청기형의 이어폰-마이크로폰을 제작하여 사용하였다. 자극음은 주파수가 1000(Hz), 크기가 50(dB)인 버스트 음(tone burst)을 사용하였으며, 자극 지속시간은 1(ms), 자극의 상승 및 하강 시간은 모두 0.2(ms)였다. 외이도에 인가한 다음 좌우각에서의 방사파를 수신 하였다. 자극 및 수신의 과정을 1000회 반복하였으며, 수신 신호의 가산 평균값을 A/D변환보드(DT 2821)를 이용하여 12(kHz)로 샘플링 한 후 IBM-AT 컴퓨터로 선형예측부호화 스펙트럼을 구하고 상호상관법으로 잡시를 계산하였다.

자극음이 포함된 유발이음향 파형으로부터 잡시를 측정하기 위하여 기존의 자기상관법과 상호상관법을 이용한 결과와 본 논문에서 제안한 선형예측부호화 스펙트럼을 이용한 상호상관법의 결과를 비교, 검토하였다. 그림 3은 마이크로폰으로부터 얻어진 신호를 1000회 가산평균하여 얻은 유발이음향 파형이다. 여기서 약 8(ms)에서 방사파가 나타남을 알 수 있다. 또한 그림 4는 마이크로폰의 신호를 자기상관법으로 처리하여 얻은 결과이다. 여기에서도 약 8(ms)에서 두번째 첨두치가 나타나서 앞에서 관측한 결과와 일치함을 알 수 있다. 그림 5는 상호상관법을 이용한 결과로서 최초의 첨두치가 잡시를 나타낸다. 두번째의 첨두치로 결정하는 자기상관법보다 첫번째의 첨두치로 결정하는 상호상관법이 더욱 편리함을 알 수 있지만 자극신호와 응답신호를 관측에 의하여 분리해야하는 단점이 있다. 본 논문에서는 그림 6과 같이 선형예측부호화 스펙트럼을 이용하여 자극신호와 응답신호를 분리한 뒤 상호상관법을 행한 결과를 그림 7에 나타내었다. 이 결과로부터 선형예측부호화를 이용한 상호상관법이 잡시측정에 더욱 편리함을 알 수 있다.

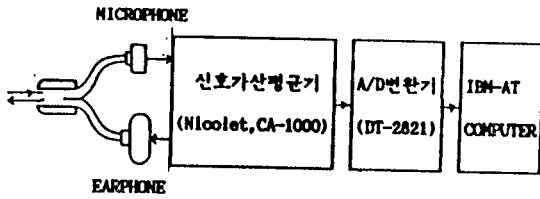


그림 2. 유발이음향 방사 측정 및 처리 시스템 블록도.
Fig. 2. Block diagram of e-OAE measurement and processing system.

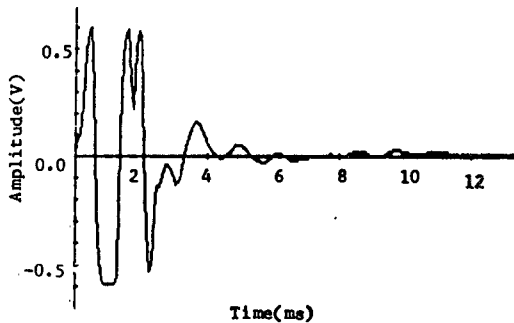


그림 3. 유발이음향 신호.
Fig. 3. e-OAE signal.

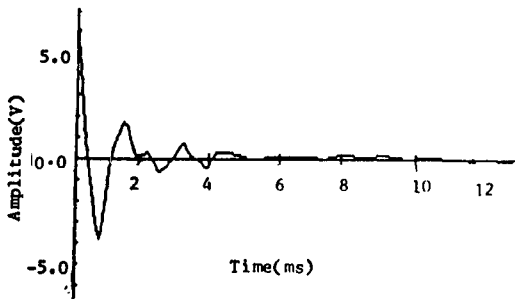


그림 4. 유발이음향 신호를 자기상관법으로 처리한 신호.
Fig. 4. autocorrelation signal of e-OAE.

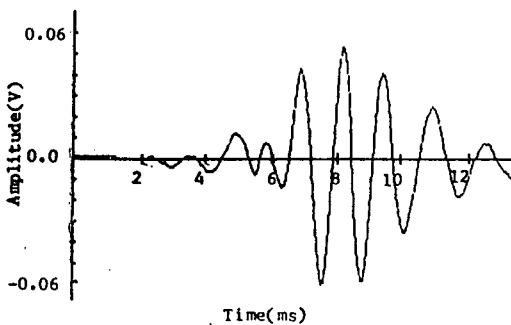


그림 5. 유발이음향 신호를 상호상관법으로 처리한 신호.
Fig. 5. cross correlation signal of e-OAE.

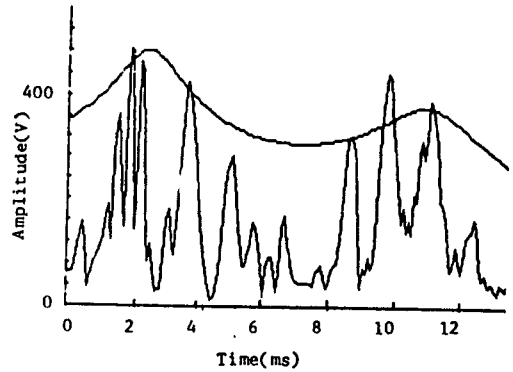


그림 6. 유발이음향 신호와 선형예측부호화 스펙트럼.
Fig. 6. e-OAE signal and LPC spectrum.

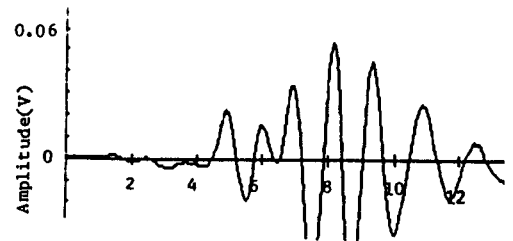


그림 7. 선형예측부호화 스펙트럼에 의해 분리된 신호를 상호상관법으로 처리한 신호.
Fig. 7. cross correlation signal of e-OAE using LPC spectrum.

IV. 결론

본 논문에서는 기존의 관측에 의한 상호상관법을 개선하기 위하여 음성신호의 주파수 스펙트럼을 추정하는 선형예측부호화 방법을 변형하여 시간축의 신호를 추정하는 스펙트럼을 구함으로써 자극신호와 응답신호를 관측에 의하지 않고 양분한 후 상호상관법을 행한 측정의 자동화를 할 수 있는 방법을 제시하였다. 정답이 정당한 성인을 대상으로 하여 유발이음향 파형을 1000회 가산평균하여 잡음을 제거한 신호를 A/D 변환하여 자료를 취득하여 IBM-AT 컴퓨터로 잡음을 계산하였다. 취득된 신호를 선형예측변환 스펙트럼을 이용하여 자극신호와 응답신호를 분리한 후 두신호를 상호상관법을 행함으로써 기존의 관측에 의하여 자극신호와 응답신호를 분리하는 것과는 달리 잡음추정을 자동화 하였다. 그 결과 기존의 자기상관법 및 상호상관법에 의한 것보다 선형예측부호화 스펙트럼을 이용한 방법이 관측에 의한 오차를 줄일수 있고 잡음제거에도 편리함을 보였다.

참 고 문 헌

- 1) D. T. Kemp, "Stimulated acoustic emission from within the human auditory system", *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 64, no. 5, pp. 1386-1391, 1987
- 2) J. P. Wilson, "Evidence for a cochlea origin for acoustic re-emission, threshold fine structure and tonal tinnitus", *Hear. Res.*, vol. 2, pp. 233-252, 1980.
- 3) E. Zelcker, E. Scholoth, "Interrelation of different otoacoustical emissions", *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 75, no. 4, pp. 1148-1154, 1984.
- 4) E. Zelcker, "Otoacoustic emission in a nonlinear cochlear hardware model with feedback", *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 80, no. 1, pp. 154-162, 1986
- 5) S. J. Norton, S. T. Neely, "Tone-burst-evoked otoacoustic emission from normal-hearing subjects", *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 81, no. 6, pp. 1860-1872, 1987.
- 6) T. Fukazawz, "On latency of evoked otoacoustic emission", *Audiology Japan*, vol. 33, pp. 151-155, 1990.
- 7) 최진영, 조진호, 이상훈, 이진일, "상호상간법을 이용한 유발이음향 방사파 잡시의 측정", *대한의용생체공학 추계 학술대회 논문집*, pp. 99-102, 1990.
- 8) D. T. Kemp, "Evidence of Mechanical Nonlinearity and Frequency Selective Wave Amplification in the Cochlea", *Arch*, vol. 224, pp. 37-45, 1979.