

상호상관법을 이용한 유발이음향
방사파 잠시의 측정

○최진영, *조진호, **이상훈, 이견일

경북대학교 공과대학 전자공학과
*경북대학교병원 의공학과 및 경북대학교 전자공학과
**경북대학교 의과대학 이비인후과학교실

Measurement of Evoked Otoacoustic Emission
Latency Using Cross Correlation

Jin-Young Choi, *Jin-Ho Cho, **Sang-Heun Lee, Kuhn-Il Lee

Dept. of Electronics, Kyungpook National University
*Dept. of Biomedical Eng. Kyungpook National University Hospital
and Dept. of Electronics, Kyungpook National University
**Dept. of ENT, College of Medicine, Kyungpook National University

abstract

Cross correlation method was newly applied for the calculation of latency of evoked otoacoustic emission. The latency was calculated from the main peak of cross correlation function, which is one of possible definition of latency. The output was also compared with those of conventional autocorrelation method. The results show that cross correlation method has better performance than that of conventional method.

I. 서론

유발이음향방사(evoked otoacoustic emission; e-OAE)란 외이에 짧은 음을 자극한 후 일정시간이 경과한 후에 와우각으로부터 반향되어 나오는 미약한 음파의 방사를 뜻한다. 이 유발이음향방사에 대하여 Kemp¹⁾가 처음 보고한 이래로 많은 연구²⁾⁻⁵⁾가 진행됨으로써 이 현상은 이제 와우각의 생리에 있어서 하나의 보편적 현상으로 알려지고 있다. 유발이음향방사 현상에 대한 연구는 이명현상의 객관적 진단을 하기위한 연구와 밀접한 관계를 가지고 있어 최근 이에 대한 관심이 고조되고 있다. 이 현상에 대한 연구에서 중요한 진단변수는 자극음을 준 시각으로부터 반응음이 관찰될 때까지의 시간 즉, 잠시(latency)이다. 자극음에 따라서서는 잔향과 유발이음향 방사파가 겹쳐서 나타날 때가 있

어 이경우 이들을 정확히 구별하여 잠시를 측정하기란 쉽지 않다. 만일 자극 개시 시각부터 방사 시작 시각까지를 잠시로서 측정하면 이에는 여파기나 증폭기의 위상지연 및 목록에 의한 판단의 오차가 포함되어 그 구별이 곤란해진다. 이에 따라 자극음에서 유발이음향 파형을 구별해 내기 위하여 뺄셈(subtraction)법과 역상승적분(deconvolution)법⁶⁾이 제안되었다. 전자는 이미 알고 있는 자극음에서 유발이음향 파형을 빼는 방법이며, 후자의 방법은 시스템 전달함수의 역관계를 사용하여 자극음만을 소거함으로써 유발이음향 파형을 얻는 방법이다. 그러나 위의 두가지 방법 모두 시점과 종점을 정하는데 있어서 곤란한 점이있고 측정기기에서 위상지연은 여전히 문제로 남는다. Tatsuya⁷⁾는 위의 결점을 해결하기 위해서 자극음의 파형을 포함한 유발이음향 파형 전체의 자기상관을 이용하여 구한 두번째 첨두값을 유발이음향의 잠시로 측정하였다. 이 방법의 특징은 수학적 의미가 명확하며 자극음에서 유발이음향 파형을 완전히 분리할 필요가 없는 것이 측정기기에서 위상지연은 자극음과 유발이음향에 대해서 같기 때문에 양자는 자기상관을 얻는 과정에서 상쇄되어 시점과 종점을 따로 정하지 않아도 된다. 그러나 자기상관법에 의한 잠시의 측정은 자극의 잔향과 유발이음향이 다소 겹쳐질 경우 근대점 검출에 이 곤란한 경우가 존재한다.

본 논문에서는 상호상관법을 사용하여 자기상관법이 가지는 장점을 유지하면서 근대점 검출이 더욱 용이한 유발이음향파형의 잠시 측정방법을 제시하였다. 자극음이 포함된 유발이음향파형에서 자극음이 끝나는 임의의 점을 전후로 입력과 출력을 분리한 두개의 신호를 상호상관법으로 계산

하여 자기 상관법보다 명확한 극대점을 얻음으로써 잠시 속정에 있어서 용이함을 보였다.

II. 이론

잠시 계산을 위해 자극 신호를 $x(n)$, 응답신호를 $y(n)$ 이라 두고, 이 두 신호가 선형결합되어 있다면 이들 신호는

$$ax(n)+by(n-d) \quad (1)$$

로 표시된다. 여기서 a 및 b 는 임의의 상수이고

d 는 시간 지연이다. 이 신호의 에너지는

$$\begin{aligned} \sum_{n=-\infty}^{\infty} [ax(n)+by(n-d)]^2 &= a^2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} x^2(n) \\ &+ b^2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} y^2(n-d) + 2ab \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)y(n-d) \\ &= a^2 r_{xx}(0) + b^2 r_{yy}(0) + 2abr_{xy}(d) \quad (2) \end{aligned}$$

이다. 여기서 $r_{xx}(0) = E_x$ 와 $r_{yy}(0) = E_y$ 로서 각각 신호 $x(n)$ 과 $y(n)$ 의 에너지 함수이다. 식(2)에서

$$a^2 r_{xx}(0) + b^2 r_{yy}(0) + 2abr_{xy}(d) \geq 0 \quad (3)$$

로 표시할 수 있다. $b \neq 0$ 이라 가정하고 식(3)을 b^2 으로 나누면

$$r_{xx}(0)(a/b)^2 + 2r_{xy}(d)(a/b) + r_{yy}(0) \geq 0 \quad (4)$$

로 된다. 여기서 식(4)의 조건을 만족하기 위한 판별식은

$$4[r_{xy}(d)]^2 - r_{xx}(0)r_{yy}(0) \leq 0 \quad (5)$$

이며 상호상관함수는

$$|r_{xy}(d)| \leq \sqrt{r_{xx}(0)r_{yy}(0)} = \sqrt{E_x E_y} \quad (6)$$

의 조건을 만족하여야 한다. 또한 $y(n)=x(n)$ 인

경우에 식(6)은

$$|r_{xx}(d)| \leq r_{xx}(0) = E_x \quad (7)$$

이 성립된다. 이 식의 의미는 신호의 자기상관함수는 지연이 없을 때 최대값을 가지게 되며 d 가 무한대로 갈수록 자기상관함수 $r_{xx}(d)$ 은 0에 접근한다. 따라서 자극에 대한 유발이음향 파형의 잠시는 자기상관함수의 두번째 첨두치로 나타나게 된다. 상호상관의 경우

$$y(n) = \pm cx(n-d) \quad (8)$$

이며, 여기서 c 는 임의의 상수이고 d 는 시간 지연

이다. 상호상관함수 $r_{xy}(n)$ 은

$$r_{xy}(n) = \pm cr_{xx}(n-d) \quad (9)$$

이며 $n=0$ 에서 자기상관함수 $y(n)$ 은

$$r_{yy}(0) = c^2 r_{xx}(0) \quad (10)$$

이다. 식(9)와 식(10)을 식(6)에 대입하면

$$|r_{xy}(n)| = | \pm cr_{xx}(n-d) | \leq cr_{xx}(0) \quad (11)$$

이고, $r_{xy}(n)$ 의 범위는

$$-cr_{xx}(0) \leq r_{xy}(n) \leq cr_{xx}(0) \quad (12)$$

이다. 또한 식(11)에서 처럼 $n = d$ 에서 첨두치로 나타나게 된다. 즉 자극에 대한 유발이음향 파형의 잠시는 상호상관함수의 첨두치로 계산 된다.

III. 실험 결과 및 고찰

상호상관법을 이용한 유발이음향 파형의 잠시 측정 시스템은 그림 1과 같다. 청력이 정상인 성인을 검사대상으로 하였다. 신호가산평균 시스템을 사용하여 실험하였다. 본 실험에서 마이크로폰 및 이어폰으로는 자극과 동시에 방사를 수신할 수 있도록 보청기용 이어폰(RK-63B)을 이용하였다. 귀에서 방사되는 신호를 감지하기 위하여 보청기용 이어폰에서 외이에 삽입하는 개구 부위를 이등본하고 길이가 9mm인 삽입용 깔대기를 제작하여 삽입하였다. 수신용 음향 통로 아래 부위에 압전형 변환기 및 전치 증폭기가 동시에 갖추어진 초소형 마이크로소자(Eu-08)를 부착하여 가는 출력용 도선을 바깥으로 인출하였다. 마이크로폰으로부터 가산 평균 시스템(Nicolet, CA-1000)에 입력되는 신호의 대역폭은 S/N비를 높이기 위하여 150Hz에서 3 kHz로 사이로 제한하였다. 일반적으로 유발이음향 파형은 자극음의 주파수와 동일한 신호를 방사하기 때문에 대역폭을 필요이상으로 크게할 필요가 없다. 자극음은 주파수가 1000Hz, 크기가

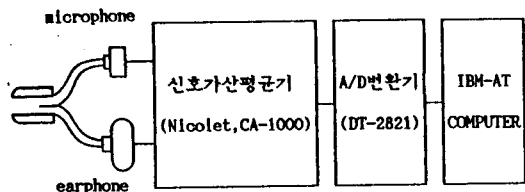


그림 1. 유발이음향 방사 측정 및 처리 시스템.
Fig. 1. e-OAE measurement and processing system.

50dB인 비스트 음(tone burst)를 사용하였으며, 자극 지속 시간을 1ms, 자극의 상승 및 하강 시간을 모두 0.2ms로 하여 외이에 인가한 다음 내이에서 반향되는 방사파를 수신하였다. 자극 및 수신의 과정을 1000회 반복하면서 수신신호의 가산 평균을 구하여 기억시켰다. 저장된 결과를 A/D 변환보드(DT 2821)를 이용하여 12kHz로 샘플링 한 후 IBM-AT 컴퓨터로 처리하였다.

자극음이 포함된 유발이음향 파형으로부터 잠시를 측정하기 위하여 기존의 자기상관법을 이용한 결과와 본 논문에서 제안한 상호상관법을 이용한 결과는 그림 2에서와 같았다. 그림 2(a)는 자극음이 포함된 유발이음향 파형이다. 여기서 최초 2.4ms이내에서 자극음을 관찰할 수 있으며, 방사파의 부분을 확대한 그림 2(b)에서 약 7ms에서 방사파가 나타남을 관측할 수 있다. 그림 2(c)는 전체 파형을 자기 상관법을 이용한 결과로서 잠시를 나타내는 2번째 첨두치 부분을 확대한 것이 그림 2(d)이다. 이 결과를 보면 약 7ms에 두번째 첨두치가 나타나서 앞에서 관측한 결과와 일치함을 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 상호상관법을 이용한 결과는 그림 2(e)와 같았다. 여기서, 잠시를 정해주는 최초의 첨두치가 약 7ms에 명확히 나타남을 알 수 있다. 위 결과를 볼 때 잠시의 측정을 두번째의 첨두치로 결정하는 자기상관법보다 첫번째의 첨두치로 결정하는 상호상관법이 더욱 편리하고 용이함을 알 수 있다.

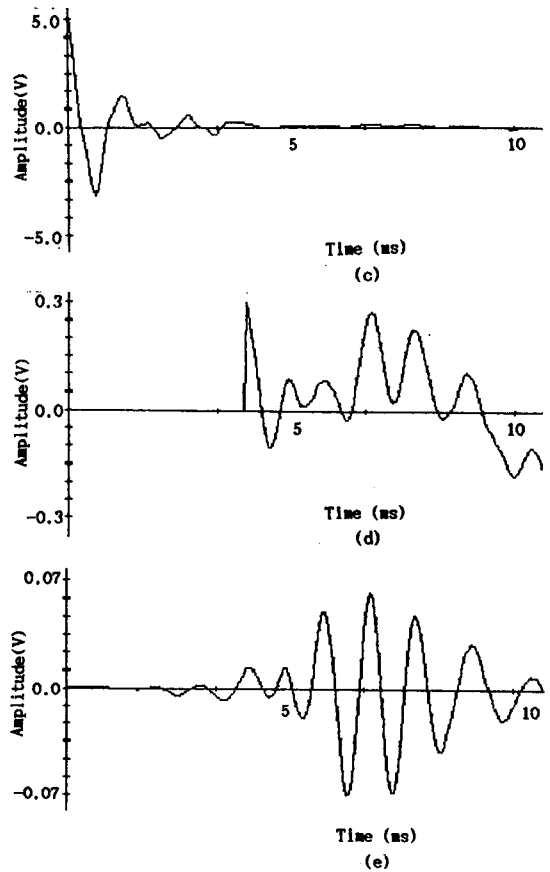
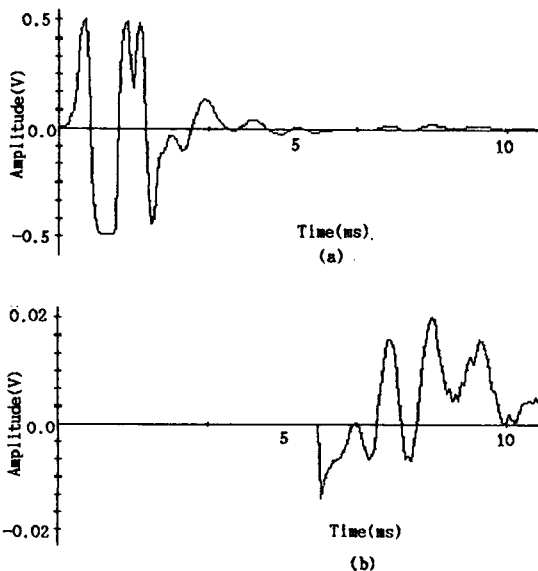


그림 2. (a) 자극음이 포함된 유발이음향 신호, (b) 유발이음향방사 신호만을 확대한 신호, (c) 유발이음향방사신호를 자기상관법으로 처리한 신호, (d) 자기상관법으로 처리한 신호중 첨두치가 나타나는 부분을 확대한 신호, 및 (e) 유발이음향방사신호를 상호상관법으로 처리한 신호.

Fig. 2. (a) e-OAE signal including stimulus, (b) magnified e-OAE signal, (c) autocorrelation signal of e-OAE, (d) magnified autocorrelation signal of e-OAE, and (e) cross correlation signal of e-OAE.

IV. 결 론

본 논문에서는 상호상관법을 이용하여 자극음이 포함된 유발이음향 파형에서 잠시를 정확하게 검출하는 방법을 제시하였다. 유발이음향 파형의 휘두는 잡음을 제거하기 위하여 청력이 정상인 성인의 유발이음향 파형을 1000회 가산하여 평균한 후 상호상관법을 이용하여 나타나는 첫번째 첨두치로 잠시를 구하였다. 그 결과 두번째의 첨두치를 잠시로 구하는 기존의 자기상관의 결과와 비교할 때에 첫번째의 첨두치를 구하는 상호상관법이 잠시를 검출 하는데 있어서 편리하고 명확함을 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, 1978.
- 2) J.P. Wilson, "Evidence for a cochlear origin for acoustic re-emission, threshold fine structure and tonal tinnitus," Hear. Res., vol. 2, pp. 233-252, 1980.
- 3) J.P. Wilson, "Model for cochlear echoes and tinnitus based on an observed electrical correlate," Hear. Res., vol. 2, pp. 527-532, 1980.
- 4) E. Zwicker, E. Schloth, "Interrelation of different otoacoustical emissions," J. Acoust. Soc. Am., vol. 75, no. 4, pp. 1148-1154, 1984.
- 5) E. Zeicker, "Otoacoustic emission in a non-linear cochlear hardware model with feedback," J. Acoust. Soc. Am., vol. 80, no. 1, pp. 154-162, 1986.
- 6) S. J. Norton, S.T. Neely, "Tone-burst-evoked otoacoustic emission from normal-hearing subjects," J. Acoustic. Soc. Am., vol. 81, no. 6, pp. 1860-1872, 1987.
- 7) Tatsuya Fukazawz, "On latency of evoked otoacoustic emission," Audiology Japan, vol. 33, pp. 151-155, 1990.