

논문 2008-6-22

접착층에서 반사된 초음파 신호의 가시도 개선

Visibility Enhancement of the Ultrasonic Signal Reflected from Adhesive Layers

신진섭*, 이정일*

Jin Seob Shin, Jeong -Ihll Lee

요약 최근 산업사회에서 널리 쓰이는 전자소자들은 다층구조로 제작되고 있는 실정이며 이러한 소자의 보이지 않는 층에 대한 해석은 비파괴 검사에서 중요한 일이다. 따라서 본 논문에서는 접착층이 존재하는 다층구조물에 초음파를 입사시켰을 때 반사되는 신호를 디지털 신호처리하여 가시도를 개선하였다. 이를 위하여 다층구조물에서 반사된 신호를 전력 cepstrum 처리하여 각층에서 나타난 첫 번째 피크와 두 번째 피크를 구할 수 있었다. 실험을 위하여 일정한 두께를 갖는 에폭시층이 존재하는 다층구조물을 형성하였고 초음파 펄스-에코 방법에 의하여 얻어진 반사신호의 가시도를 개선하기 위해 전력 cepstrum 처리하였다.

Abstract Recently, electronic devices is produced by multilayer structure, therefore analysis for hidden layers is important nondestructive inspection. This paper presents visibility enhancement methods for the ultrasonic multiple echoes reflected from adhesive layer in the multilayers using digital signal processing. The reflected signals from the multilayers come out interval of the peaks in the power cepstrum. In the experiment, the adhesive layers of settled thickness using epoxy were formed. The reflected signals from the multilayer is detected by pulse-echo method and power cepstrum is processed for enhancement of visibility.

Key Words : Adhesive Layers, Power Cepstrum.

1. 서 론

요즈음의 산업사회는 설계 및 제작방법의 고도화로 PCB를 비롯한 여러 전자소자들이 다층구조로 제작되고 있기 때문에 이러한 다층구조물을 초음파를 이용하여 해석하는 것은 매우 중요하다.

등방성 매질로 구성된 층에 대한 반사계수의 측정엔 매질의 밀도와 속도의 측정을 가능하게 하므로 음향학을 비롯한 의학, 지진학 등에서 많은 연구의 대상이 되고 있다. 그러나, 전달된 펄스가 대역이 제한되어지며, 초음파 변환기의 특성에 의한 매질에서의 링잉현상, 증첩현상 등으로 각 층에서 반사된 신호는 구별하기 어렵다. 초음

파를 이용한 매질의 두께측정은 시간영역에서 실시간 측정이 가능할 때 반사파의 표면신호와 배면신호의 시간 지연 값을 펄스-에코 방법에 의해 측정하여 얻어지는데[1], 전달된 펄스는 대역이 제한되어지며 층들이 너무 가까울 때 반사된 신호는 증첩되어 나타나므로 반사신호에서 파형들 사이를 시간 분리하여 두께를 측정할 때 많은 어려움을 발생시킨다. 특히 일정한 두께를 가진 층에서 반사된 신호분리는 시간영역에서 구별이 가능하지만 접착층과 같은 얇은 층에서 반사된 신호분리는 신호들이 겹쳐져 분리하는데 한계가 있었다.

따라서 이러한 신호들로부터 층과 층 사이에서 반사된 신호를 시간영역에서 분리하기 위해 디지털 신호처리 기법이 필요하게 되었다. 전달된 파의 에코신호에 대한 선형예측 디컨벌루션 기법이나 인벌스 필터와 같은 대부

*정회원, 경민대학 IT학부 정보통신전공
접수일자 2008.10.15, 수정완료 2008.12.3

분의 디킨벌루션 기법은 분해능을 개선하기 위한 신호처리 기술으로써 잡음에 관련된 모델을 가지거나 매우 민감하다. Bogert 등에 의해 처음 제안된 캡스트럼 기법은 반사된 신호의 도착된 시간을 측정하므로써 하나의 얇은 층을 탐지하는 데 효율적이며, 잡음에 대하여 상대적으로 민감하지 않다.[2][4] 본 논문에서는 매질에 초음파를 입사시켰을 때 반사된 신호를 전력 캡스트럼을 이용한 신호처리로 층과 층 사이의 가시도를 개선하며 이를 통하여 접착층의 상태를 분석하고자 한다. 실험에서는 금속과 금속간의 예폭시로 이루어진 접착층이 존재하는 다중구조물의 시료를 제작하였고 중심 주파수가 5 MHz 인 초음파변환기를 사용하여 펄스반사법으로 획득한 초음파 반사신호를 전력 캡스트럼 처리하였다.

II. 접착층에 대한 전력 캡스트럼 분석

수직으로 입사되는 파에 대해서 반사되는 파가 표면과 배면에서 1차 반사만 이루어진다고 가정하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = v_1 r(t) + v_2 r(t - \theta) \quad (1)$$

(1)식에서 v_1 은 표면에서 반사되는 파의 진폭, v_2 는 배면에서 반사되는 파의 진폭이다. 또한 $r(t)$ 는 임펄스 함수이고, θ 는 두개 반사체 사이의 시간지연을 나타내고 있다.

위의 식을 푸리에(Fourier) 변환하면 식 (2)과 같이 표현할 수 있다.

$$X(\omega) = v_1 + v_2 e^{-j\omega\theta} \quad (2)$$

여기서 ω 는 각주파수이며, 전력 스펙트럼은 식 (3)와 같다.

$$S(\omega) = X(\omega)X^*(\omega) = g(1 + \alpha \cos \omega\theta) \quad (3)$$

여기서 g 는 반사파의 총 전력이며, $g = v_1^2 + v_2^2$ 로 나타낸다. 또한,

$$\alpha = 2v_1v_2 / (v_1^2 + v_2^2) \quad (4)$$

는 정규화(normalize)된 전력을 나타낸다. 전력 스펙트럼은 로그를 취하여 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\log S(\omega) = \log(g) + \log(1 + \alpha \cos \omega\theta) \dots \quad (5)$$

ω 값에 대하여 $\log(g)$ 는 상수값이 되며, 여기서는 상수 부분은 무시하고 ω 값을 갖는 부분만 취급한다. $C_A(t')$ 로 표현되는 역푸리에변환은 식(6)과 같이 주어진다.

$$C_A(t') = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \log S(\omega) e^{-j\omega t'} d\omega$$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n \delta(t' - n\theta)$$

(6)전력 캡스트럼을 계산하면 $C_P(t')$ 으로 표시되는 전력 캡스트럼은 식 (7)과 같이 주어진다.

$$C_P(t') = C_A^2(t') = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n^2 \delta(t' - n\theta), \quad (7)$$

for $0 < t' < \infty$

만약, 반사면의 갯수가 N개인 경우에서의 신호는 다음과 같다.

$$x(t) = \sum_{i=1}^N v_i r(t - \theta_i) \quad (8)$$

v_i 는 각 층에서 반사되는 파의 진폭, $r(t)$ 는 임펄스 함수이고, θ 는 반사체 사이의 시간지연이며, 첫번째 반사파의 시작점에 비해 후면에서 반사되는 반사파는 매질 내에 전파되는 시간 때문에 시간축에서 지연되어 나타나고 있다.

전력 스펙트럼은 다음과 같다.

$$S(\omega) = \sum_{i=1}^N v_i^2 + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N v_i v_j \cos \omega(\theta_j - \theta_i) \quad (9)$$

$$= v + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N v_i v_j \cos \omega(\theta_j - \theta_i)$$

로그를 취한 전력스펙트럼 식은 다음과 같다.

$$\log S(\omega) = \log(v) + \log[1 \quad (10) \quad \text{이다.}$$

$$+ 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N (v_i v_j / v) \cos \omega(\theta_j - \theta_i)]$$

위에서와 같은 방법으로 캡스트럼을 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_p(t') = \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N ((2/v) v_i v_j)^2 \quad (11)$$

$$[u(t' - \theta_j + \theta_i) + u(t' + \theta_j - \theta_i)]$$

캡스트럼의 피크간의 간격은 주어진 이상적인 반사파의 피크간격과 일치하며 이는 매질의 두께와 관계되어 식 (12) 에 의해서 매질의 두께가 구해진다.

$$s = c\theta/2 \quad (12)$$

여기서 c 는 매질에서의 음속이고 s 는 매질의 두께이다.

III. 실험 및 결과

실험에서는 산업분야에서 널리 사용되고 있는 황동을 시편으로 선택하였고 접착층에서 반사된 신호를 구하기 위해 0.613mm의 두께를 갖는 에폭시로 접착된 다층구조물을 제작하였다. 초음파변환기의 중심주파수는 5 MHz 이며 펄스-에코 방법으로 반사신호를 구하였다. 이때 얻어진 데이터는 샘플링을 100 MHz 로 하여 HP1B 보드로 획득하였으며, 신호처리하기 위해 전력 캡스트럼으로 처리하였다. 그림 1은 초음파 측정장치의 블록 다이어그램을 나타내고 있다.

그림 1은 다층구조물에서의 두께측정을 하기 위한 실험장치의 블록 다이어그램을 나타낸 것이다. 측정방법은 펄스-에코방법으로 하였으며 이 방법은 초음파 펄스가 두 매질의 경계면을 만날 때 반사하는 원리로써 설치가 간단하고 실시간 측정이 가능한 장점을 가지고 있다.

ULTRASONIC PROCESSOR는 신호발생장치(pulser/receiver)와 time-gate회로, 최대 신호 검출기(peak detector)의 기능 등을 통합하여 수행하는 장치로써 20nsec폭의 펄스를 -180V까지 발생시킬 수 있는 장비

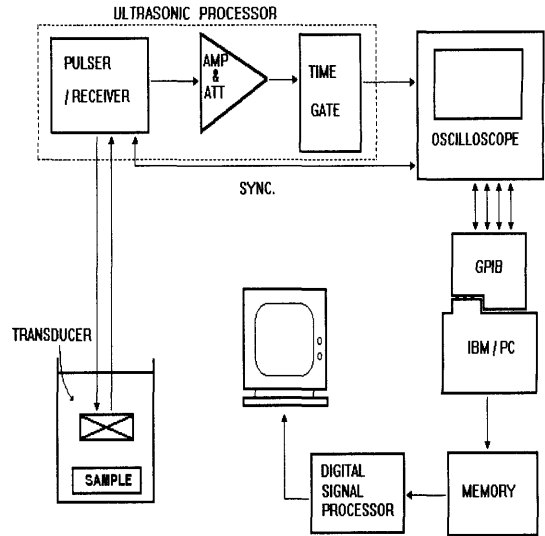


그림 1. 초음파 측정장치의 블록 다이어그램
Fig.1. Block diagram of ultrasonic measurement system

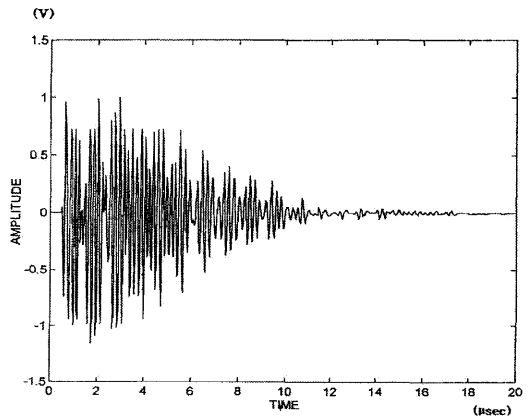


그림 2. 다층에서 반사된 신호
Fig.2. Ultrasonic signal reflected from multilayer

그림 2는 접착층이 존재하는 다층구조물에서 반사된 신호로서 각 층에서 반사된 신호가 링잉현상으로 나타나고 있다. 첫번째 층에서 반사된 신호에 인접하여 다음 층의 신호가 중첩되어 나타나고 있으며 나머지 층에서 반사된 신호는 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 이러한 신호는 전력스펙트럼 처리하고 다시 대수를 취해 전력스펙트럼한 후 전력 캡스트럼 처리한다.

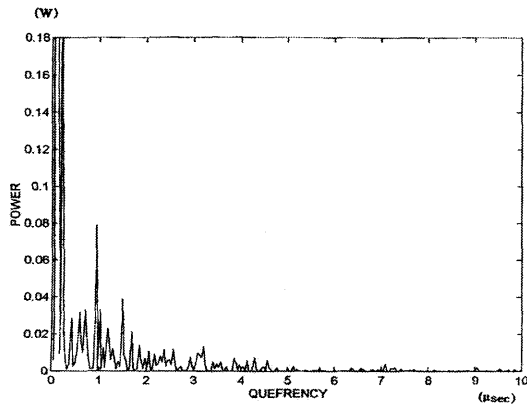


그림 3. 신호처리 후의 신호
Fig.3. Result of digital signal processing

그림 3은 전력 캡스트럼 처리하여 시간영역에서 가시도가 개선된 피크를 관찰 할 수 있으며, 첫 번째 층에서 반사된 신호와 에폭시층에서 반사된 신호를 나타내고 있다. 위의 식(12)를 이용하여 이들 피크간의 간격으로 두께를 측정하였으며 이러한 다층에서 측정된 접착층의 두께값과 실제의 두께를 비교한 결과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 접착층이 존재하는 다층구조물에 초음파를 입사시켰을 때 반사되는 신호를 전력 캡스트럼의 신호처리 기법을 이용하여 시간영역에서 가시도를 개선하고 층간의 펄스파형을 분리하므로써 접착층을 분석하는 방법을 연구하였다. 그동안 일정한 두께를 가진 층에서 반사된 신호의 분리는 시간영역에서 구별이 가능하지만 얇은 층에서 반사된 신호의 분리는 여러 현상으로 신호들이 겹쳐져 분리하는데 한계가 있었다. 특히 접착층이 존재하는 다층구조물에서 반사된 초음파 신호는 시간영역에서 각층에서 반사된 신호들이 겹쳐져 나타나며 이러한 구별하기 어려운 신호를 디지털 신호처리를 통하여 가시도가 개선하고 각층에서 반사되는 신호의 피크간의 간격으로 접착층의 두께를 측정하고자 하였다. 실험에서는 일정한 두께를 갖는 에폭시로 이루어진 접착층이 존재하는 구조물을 제작하여 중심주파수가 5 MHz 인 초음파 변환기를 사용하여 펄스반사법으로 반사신호를 구하였다. 실험결과 시간영역에서 시료에서 반사된 신호는

각 층에서 반사된 신호가 링잉현상으로 겹쳐져 나타났으며 이러한 신호를 전력 캡스트럼 처리하여 가시도가 개선됨을 알 수 있었고 이때 얻어진 피크간의 간격을 이용하여 접착층의 두께를 측정할 수 있었으며 실제치와 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 이를 응용하여 접착층의 임피던스 분석 등 접착층의 상태를 분석하는 것도 가능하게 하였다.

앞으로 이러한 연구를 통하여 다층구조물에서 반사되는 분석하기 어려운 감춰진 신호들을 가시화하여 보이지 않는 보다 얇은 감추어진 층에 대한 분석에 적용하여야 하겠다.

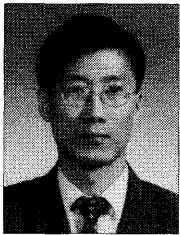
참 고 문 헌

- [1] R.Kue, "Presence of Cepstral Peak in Random Reflected Ultrasound signal", Ultrasonic Imaging 8, p196-212, 1986
- [2] B.P.Bogert, M.J.Healy, and J.W.Tukey, "The quef-rency analysis of time seties for echoes; cepstrum, pseudo-autocovariance, cross cepstrum, an shape cracking", in Time Series Analysis, M.Rosenblatt, Ed. New York: Wiley, chap 15, p209-243, 1963
- [3] Alan V. Oppenheim, "Discrete-Time Signal Processing", Prentice Hall, 1989
- [4] J. Saniie, "Resolution and Visibility Enhancement of Ultrasonic Echoes Reflected from Targets Hidden by Highly Reverberant Thin Layers", Ultrasonic Symposium, p.903-907, 1984
- [5] D. L Folds, "Transmission and reflection of ultrasonic Wave in Layered media", J.Acoustic.Soc.Am. Vol.62, No 2, p1102-1108, 1977
- [6] Jing Bai, Wenkang Qi and Liyun Yu, "A System for the Reconstruction of Acoustic Impedance With High Resolution", Ultrasonics, Vol.31, No.2, p125-133, 1993
- [7] C. H. Chen, "A Signal processing study of ultrasonic nondestructive evaluation of materials", Tech.Rep.MTL TR 8741. Material Technology Lab., Feb.1987

- [8] K. I. McRae, "Deconvolution Techniques for Ultrasonic Imaging of Adhesive Joints", Materials Eval., Nov. 1980
- [9] F. L. Lizzi, E. J. Feleppa, N. Jaremko, D. L. King, and P. M. Wai, "Liver-tissue Characterization by Digital Spectrum and Cepstrum Analysis", Ultrasonics Symposium, pp.575-578, 1981.
- [10] Sam-Kit Sin, "A Comparison of Deconvolution Techniques for the Ultrasonic Nondestructive Evaluation of Materials", IEEE trans. on image processing, Vol.1, No.1, pp3-10, 1992.

저자 소개

신진섭(정회원)



- 1989년 호서대학교 통신과 학사 졸업.
- 1991년 경희대학교대학원 전자공학과 석사 졸업.
- 1997년 경희대학교대학원 전자공학과 박사학위
- 2008년 현재 경민대학 IT학부 정보통신전공 교수.

<주관심분야 : 신호처리, 통신>

이정일(정회원)

제6권 제1호 참조