

고체내부에 존재하는 결함의 형태에 따른 초음파 신호의 특징 추출

° 문상택*, 신진섭*, 고대식**, 전계석*

* 경희대학교 전자공학과

** 목원대학교 전자공학과

Feature Extraction of Ultrasonic Signal
due to Form of Defect in Solids

Sang-Taeck Moon*, Jin-Seob Shin*, Dae-Sik Go**, Kye-Suk Jun*

* Dept. of Electronics, Kyung Hee University

** Dept. of Electronics, Mok Won University

ABSTRACT

In this paper, the features extraction of reflected signals from various type of defects existing in the solid has been studied by Wiener filtering technique.

In this experiment, three types of the defect have been considered: a flat cut, a angular cut and a circular hole. All of the defects have the same size, 20mm in diameter and have been located at 45mm in depth from the aluminum surface. In the result of the experiment, it has been found that the Wiener filtering technique used for features extraction from the reflected signal corresponding to each defect have been very effective for defect classification.

1. 서론

초음파를 이용한 비파괴 검사는 항공, 원자력 등 안전성과 정밀성을 요하는 분야에서 널리 이용되고 있다. 재질은 그 내부에 존재하는 결함의

크기, 방향성, 깊이 뿐만 아니라 형태에 따라 특성이 결정되므로 재질의 불량여부를 판별하기 위해서는 결함의 형태에 대한 정보를 아는 것이 중요하다.

결함의 형태를 결정하는 방법에는 패턴인식 기법과 신호처리 기법이 있는데 패턴인식 방법은 결함에서 수신된 정보를 인식규칙에 따라 반복 처리하여 형태를 판별하는 방법으로써 수행시 인식규칙이 복잡하고 장시간을 요하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 위너필터링 기법과 자기회귀법(Auto-Regressive)을 이용하여 각각의 결함에서 반사된 신호로부터 결함의 특징을 추출하는 신호처리 기법을 연구하였다. 이 방법은 결함이 없는 시료에 대한 임펄스 응답을 기준신호로 하여 결함에서 반사된 신호를 디컨볼루션함으로써 결함의 형태를 구분하는 방법이다. 실험을 위하여 내부 결함의 형태가 각각 평면, 사각, 원형인 경우의 시료를 제작하였고 중심주파수가 15MHz인 초음파 변환기를 사용하여 펄스-에코방법으로 실험을 하였다. 여기에서 얻어진 신호를 디컨볼루션

고체내부에 존재하는 결함의 형상에 따른 표음과 신호의 특징추출

선 기법으로 처리하여 신호처리 전과 비교분석하였다.

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (4)$$

2. 초음파 펄스 에코에 대한 컨벌루션 모델

고체내부의 결함에 대한 전달함수는 선형 시불변 시스템(linear time invariant system)으로 모델링되고 결함의 임펄스 응답으로 특성화된다. 고체내부 결함에 대한 임펄스 응답을 $h(t)$ 라고 하면 임의의 입력 신호 $r(t)$ 에 대한 결함으로부터 반사 신호는 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$y(t) = h(t) * r(t) \quad (1)$$

식 (1)을 변환기와 시료의 전파경로를 모두 고려할 경우는 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$y(t) = u(t) * T_1(t) * P_1(t) * h(t) * P_2(t) * T_2(t) \quad (2)$$

여기서 $P_1(t)$ 는 시료 표면에서 결함까지의 전방경로 임펄스 응답, $P_2(t)$ 는 결함에서 시료 표면까지의 후방경로 임펄스 응답을 표시하고, $T_1(t)$ 는 변환기내에서 시료 표면까지의 전방경로 임펄스 응답, $T_2(t)$ 는 $T_1(t)$ 방향과 반대인 후방경로 임펄스 응답을 나타내고 있다. 그리고 $u(t)$ 는 변환기의 전기적인 임펄스 입력 신호이다. 결함이 없는 시편의 임펄스 응답은 결함이 있을 경우의 전달 함수 $h(t)$ 에 상응되는 임펄스함수 $\delta(t)$ 로 근사화시킬 수 있다. 따라서 전파 경로를 모두 고려한다면 결함이 없는 시편에서의 반사 신호 $x(t)$ 는 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$x(t) = u(t) * T_1(t) * P_1(t) * \delta(t) * P_2(t) * T_2(t) = u(t) * T_1(t) * P_1(t) * T_2(t) \quad (3)$$

식 (3)을 식 (2)에 대입하면 기준 신호로 근사화될 수 있고 식(4)와 같이 쓸 수 있다.

시편은 등방성이고 무분산 매질이라 가정한다면 $P_1(t)$ 와 $P_2(t)$ 는 결함의 깊이가 다르더라도 감쇠에 의한 경우를 제외하고는 각각의 결함에 대해서는 항상 같게 된다. 따라서 이 것은 모든 결함에 대해서 기준신호가 동일하게 사용될 수 있도록해준다.

3. 결함에서 반사된 신호의 특징 추출 방법

식 (4)를 이산시간 컨벌루션으로써 나타내면 식 (5)와 같다.

$$y(k) = x(k) * h(k) + n(k) \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

여기서 $n(k)$ 는 잡음 신호이다.

식 (5)에서 잡음성분을 감소시키기 위해서 식 (6)과 같은 평균 자승 오차(mean square error)를 사용하여 오차 e 를 최소화시키면 식 (7)과 같은 위너필터의 전달함수를 얻을 수 있다.

$$e = E[\{g(s) - k(s)\}^2] \quad (6)$$

여기서 $g(s)$ 는 잡음성분을 무시했을 때의 기준 신호이고 $k(s)$ 는 측정된 신호이다.

$$h(\omega) = \frac{Y(\omega) X^*(\omega)}{iX(\omega)|^2 + q} \quad (7)$$

여기서 $Y(\omega)$ 와 $X(\omega)$ 는 $y(t)$ 와 $x(t)$ 를 푸리에 변환한 것이고 $X^*(\omega)$ 는 $X(\omega)$ 의 공액복소수이며 q 는 잡음감쇠정수(noise desensitizing constant)로써 양의 실수이다. 그리고 q 값은 반사신호의 진폭 스펙트럼을 제공한 $|X(\omega)|^2$ 의 최대치의

1% 로 놓고 필터링을 하였다.

자기회귀법 (Auto-Regressive) 알고리즘과 푸리에 변환을 이용하면 식 (7)을 자기회귀법 위너 필터 전달함수로 식 (8)과 같이 쓸 수 있다.

$$A(\omega) = \frac{Y_{AR}(\omega)X_{AR}^*(\omega)}{|X_{AR}(\omega)|^2 + q} \quad (8)$$

여기서 $X_{AR}(\omega)$ 과 $Y_{AR}(\omega)$ 는 각각 $x(k)$ 와 $y(k)$ 를 자기회귀법 알고리즘을 이용해서 구한 다음 푸리에 변환한 것이다. 본 논문에서는 식 (7)을 위너 필터 A, 식 (8)을 위너필터 B 로 구분하였다.

4. 실험 및 고찰

실험을 위하여 시편으로서는 알루미늄을 선택하였고 그 내부에 결함의 형태를 평면, 경사, 그리고 원형인 경우로 제작하였다. 알루미늄의 전체 높이는 100 mm 이고 각각의 결함은 직경 20 mm 를 갖고 알루미늄 표면으로부터 45 mm 밑에 위치하도록 하였다. 제작한 결함의 형태는 그림 1과 같다.

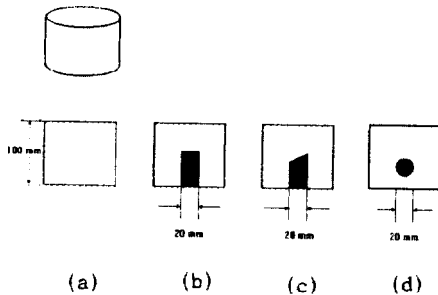
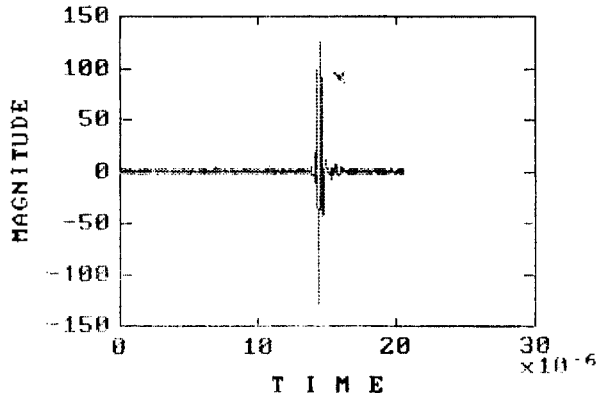


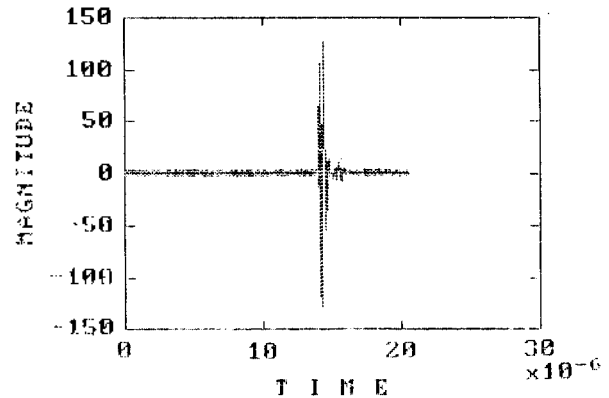
그림1. 제작된 시편의 결함 형태

- (a) 결함이 없는 시편
- (b) 평면 결함 형태를 갖는 시편
- (c) 경사 결함 형태 갖는 시편
- (d) 원형 결함 형태를 갖는 시편

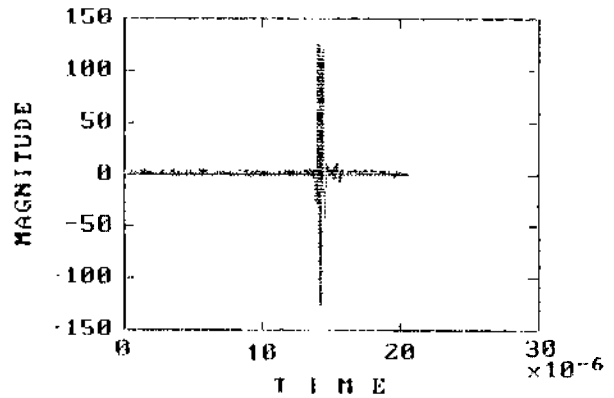
실험에서는 결함에서 반사되어 오는 신호를 검출하기 위하여 중심 주파수가 15MHz인 초음파 변환기를 사용하여 펄스-에코 방식으로 실험을 하였다. 그림 2는 그림 1에서 제작된 시료에서 반사된 신호이다.



(a)

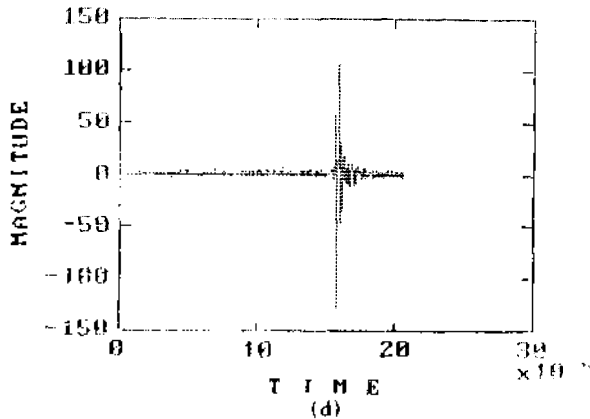


(b)



(c)

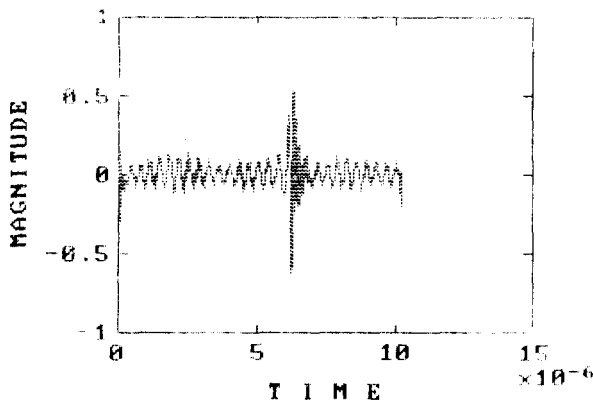
그제너레이터에 존재하는 결함의 형태에 따른 초음파 신호의 특징추출



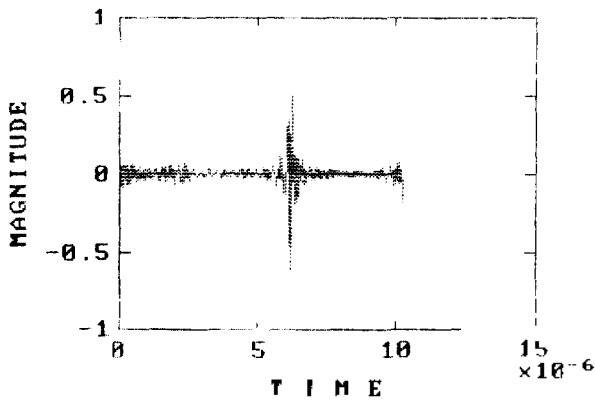
(d) 그림2. 결함으로 부터 반사된 펄스-에코 신호

- (a) 그림1의 a시편에서의 신호
- (b) 그림1의 b시편에서의 신호
- (c) 그림1의 c시편에서의 신호
- (d) 그림1의 d시편에서의 신호

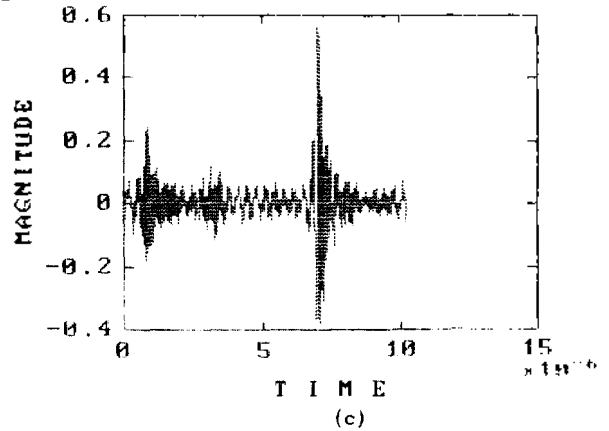
그림 3은 결함이 없는 시편의 임펄스응답을 기준신호로 하고 각 결함의 반사 신호를 식 (7)에 따라 디컨벌루션 시킨 것이다.



(a)



(b)

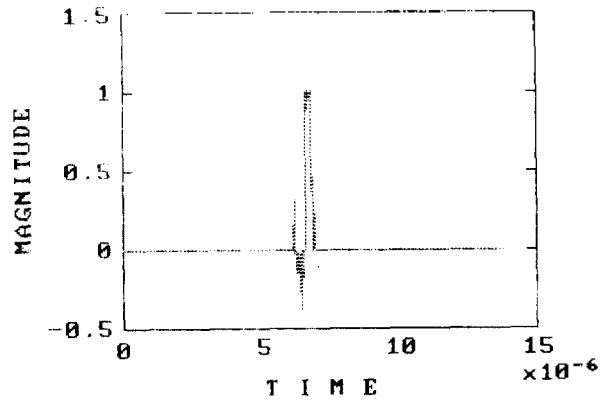


(c)

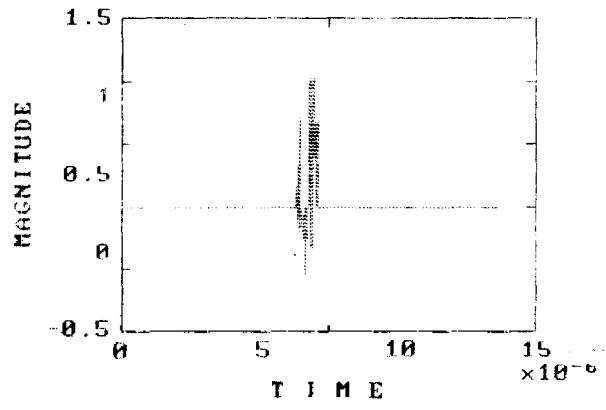
그림3. 위너필터 A 에 의한 결함의 임펄스 응답

- (a) 위너필터A에 의한 그림2.b의 신호
- (b) 위너필터A에 의한 그림2.c의 신호
- (c) 위너필터A에 의한 그림2.d의 신호

그림 4는 위너 필터 B 에 의한 결함의 임펄스 응답을 나타낸다.



(a)



(b)

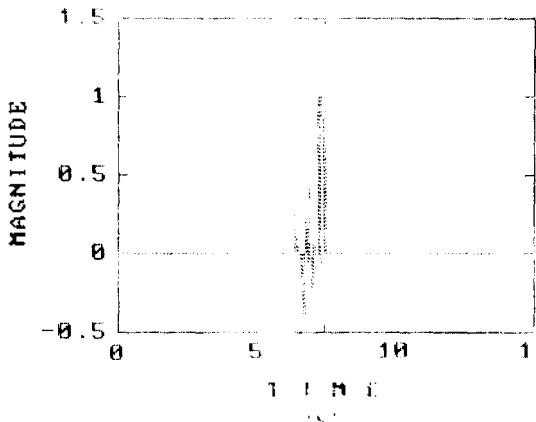


그림 4. 위너필터 B에 의한 임펄스 응답

- (a) 위너필터 B에 의한 그림 2.b의 신호
- (b) 위너필터 B에 의한 그림 2.c의 신호
- (c) 위너필터 B에 의한 그림 2.d의 신호

그림 2에서 보면, 결함에서 반사된 신호는 잡음성분을 포함하고 있고 결함의 형태에 따른 신호의 구분이 확실하지가 않다. 이에 비하여 그림 3, 4의 위너 필터링 기법에 의한 결과는 결함에 따라 신호의 특징이 다르게 나타나고 있음을 볼 수 있으며, 특히 그림 4의 위너 필터 B에 의한 결과를 그림 3의 위너 필터 A에 의한 결과와 비교해보면 그림 3에서 나타난 잡음에 의한 효과까지 현저히 감소시켜 각각의 결함에서 반사된 신호들이 결함의 형태에 따라 특징이 더욱 효과적으로 구분되어잡음을 알 수 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 결함에서 반사된 신호를 임펄스 응답으로 특성화하고 위너 필터링 기법을 사용하여 결함의 형태에 따른 신호의 특징추출을 연구하는 하였다.

실험을 위하여 평면, 경사, 원형의 결함을 갖는 시료를 제작하였고 중심주파수가 15 MHz 인 초음파 변환기를 사용하여 윈스 에코 방법으로 실험을 하였다. 실험결과 결함으로부터 반사된 신호는 위너필터링 기법에 의해 결함에 따른 신호의 특징이 뚜렷하게 구분이 되었음을 알 수 있었다.

1993년도 한국음향학의 학술논문발표회 논문집(제 12권 1(s)호)

특히 자기 회귀법(Auto-Regressive)에 의한 위너 필터링은 잡음효과까지 거의 제거시켜 결함에 대한 정보만을 보여주고 있어 더욱 효과적으로 판단할 수 있었다.

앞으로 보다 다양한 특징 추출로 고체 내부에 존재하는 결함의 형태를 분류함으로써 비파괴 검사 및 해양탐사 분야에 그 활용이 기대된다.

참고문헌

1. G. S. Kino, Acoustic Waves, PRENTICE-HALL, INC, 1987
2. Sam-Kit Sin, "A Comparison of Deconvolution Techniques for the Ultrasonic Nondestructive Evaluation of Materials", IEEE TRANS, on IMAGE PROCESSING, VOL. 1, NO 1, 1992
3. AV. Oppenheim, Discrete-Time Signal Processing, PRENTICE- HALL International, INC, 1989
4. Laszlo Adler and H. L. Whaley, "Interference Effect in a Multifrequency Ultrasonic Pulse Echo and Its Application to Flaw Characterization", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 51, No. 3(Part 2), 1972
5. K. A. Wear, "Application of Auto-regressive Spectral Analysis to Cepstral Estimation of Mean Scatterer Spacing", IEEE TRANS, on ULTRA., VOL. 40, NO. 1, 1993
6. Simon Haykin, Adaptive Filter Theory, PRENTICE-HALL INC, 1991