

집속음향파를 이용한 고체특성 판별에 관한 연구

正會員 文 建*

A Study on the Distinction of Solid Characteristics Using Focused Acoustic Wave

Gun Moon* *Regular Member*

이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모(지방대육성)
과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

要 約

본 연구에서는 3MHZ의 집속 음향변환자를 사용하여서 고체 샘플에서 반사되어 오는 음향파를 검출하는 시스템을 구성하였고, 이를 이용하여 음향 변환자의 초점위치와 고체표면과의 거리(Z)에 따른 음향 반사신호의 특성곡선 V(Z)을 검출하였다. 여러가지 고체재료의 V(Z) 특성곡선을 실험에의해 검출한 결과 고체에 따라 그들 고유의 V(Z) 특성곡선 모양을 나타내고 있음을 보여 주었다. 본 연구에서는 V(Z) 곡선을 분석하면 고체특성을 판별할 수 있음을 제시하였다.

ABSTRACT

On this study, Constructed the system detecting the reflective acoustic waves from the solid-samples using the 3MHZ focused-acoustic transducer and detected the V(Z) charateristics curves varied by the distance between the focusing position and the solid surface. The results of the experimental detection to various solid materials showed that the materials have their own unique shape of V(Z) curves.

This paper suggested the possibility distinguishing the solid characteristics by analysing the V(Z) curves.

I. 서 론

음향 시스템에서 AMS(Acoustic Material Signature)라고도 불리는 V(Z) 특성곡선은 변환자에서

방사된 음향파가 피검사체에서 반사되어 돌아오는 세력에 의해 발생하는 변환자의 출력전압 크기와 위상이 변환자의 초점거리(Z)에 따른 함수관계를 나타낸 것이다. 1978년 미국의 Atalar는 Angular spectrum 이론 방식을 이용한 V(Z) 해석방식을 제안하였고, 1984년 미국의 Bertoni는 Ray optics 방식을 적용하여 Atalar 방식과 유사한 결과를 얻었다.²⁾⁴⁾⁵⁾

*濟州大學校 通信工學科
論文番號 : 93-10(接受1992. 8. 12)

본 연구에서는 $V(Z)$ 특성곡선의 시뮬레이션에 오차가 적은 Angular spectrum 해석을 적용하여 시뮬레이션과 실험치 결과를 비교분석하여 고체특성에 판별을 유도하였다.

지금까지는 음향반사파를 얻기위하여 주로 피스톤형 음향변화자가 주로 사용되고 있었으나 음향파의 회절과 분산 손실이 크기 때문에 해상도와 감도가 떨어지는 단점을 보완하기 위하여 음향변환자를 구면으로하여 음향파를 집속시키므로 반사음향파의 강도를 높여서 해상도와 감도를 개선하는 시스템을 구성하여 실험하였다.¹⁾³⁾ 이러한 집속파를 고체내부에 집속하므로 반사음향 강도(Intensity)를 높여서 해상능력을 향상시키는 시스템을 구성하여 실험을 하였다. 이러한 집속파를 고체내부에 집속하므로 음향강도를 높히는 효과 뿐아니라 집속되는 음향파의 초점크기도 재료의 음향속도의 한파장 정도로 매우 적어서 미세한 부분의 특성도 검출이 가능하며 피검사체 고체재료의 여러가지 음향특성에 따른 반사전압을 얻을 수 있으므로 결국은 피검사체의 아름다운 손상없이 재료의 특성판별이 가능케 된다.²⁾ 본 연구에서는 이론적 해석결과를 조건에 따라 $V(Z)$ 곡선을 도출하였고 알미늄 시료에 대한 이론치와 실험치를 비교 분석하였다.

II. 이론적 고찰

2.1 $V(Z)$ 이론해석

$V(Z)$ 곡선은 반사형 음향 현미경 시스템에서 음향반사파가 변환자에 나타나는 출력 전압의 함수로 정의된다. 지금 $Z=Z_1$ 인 평면에 음향파가 입사된다고 가정한다. 복소수 음압장은 $u_1(x,y)$ 는 시간함수 $\exp(-j\omega t)$ 에 따라 변화되는 함수로 표현된다.²⁾

$$U_1(k_x, k_y) = \mathcal{F}\{u_1(x,y)\} = \iint_{-\infty}^{\infty} U_1(x,y) \exp[-j(k_x x + k_y y)] dx dy \quad (1)$$

이 식은 $u_1(x,y)$ 의 음압장은 진폭 $U_1(k_x, k_y)$ 를 갖고 시간함수 $\exp\{j[k_x x + k_y y + k_z(z-z_1)]\}$ 의 위상 성분을 갖는다고 볼 수 있다. 여기서 $Z=Z_1$ 조건을 대입하여 각을 구하면 다음과 같다.

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}}{k_0} \right)$$

여기서 $k_0 = \omega/V_0$ 이다.

$Z=Z_2$ 인 다른 평면에서 Angular spectrum은 $U_1(k_x, k_y)$ 에 $\exp[jk_z(z_2 - z_1)]$ 을 곱하면 되고 $k_z = \sqrt{k_0^2 - k_x^2 - k_y^2}$ 인 관계를 이용하면 다음과 같다.

$$U_2(k_x, k_y) = U_1(k_x, k_y) \exp[jk_z(z_2 - z_1)] \quad (2)$$

$k_x^2 + k_y^2 > k_0^2$ 이면 k_z 는 허수만이 항으로 되며 평면파는 사라지게 된다. $Z=Z_2$ 에서 음압장은 푸리에 역변환으로 구할 수 있다.

$$U_2(x,y) = \mathcal{F}^{-1}\{U_2(k_x, k_y)\} = \frac{1}{(2\pi)^2} \iint_{-\infty}^{\infty} U_2(k_x, k_y) \exp[j(k_x x + k_y y)] dk_x dk_y \quad (3)$$

공간영역에서 (2) 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$U_2(x,y) = \{u_1 * \mathcal{F}^{-1}[\exp jk_z(z_2 - z_1)]\} \quad (4)$$

여기서 *는 콘벌루션(convolution) 기호이다.

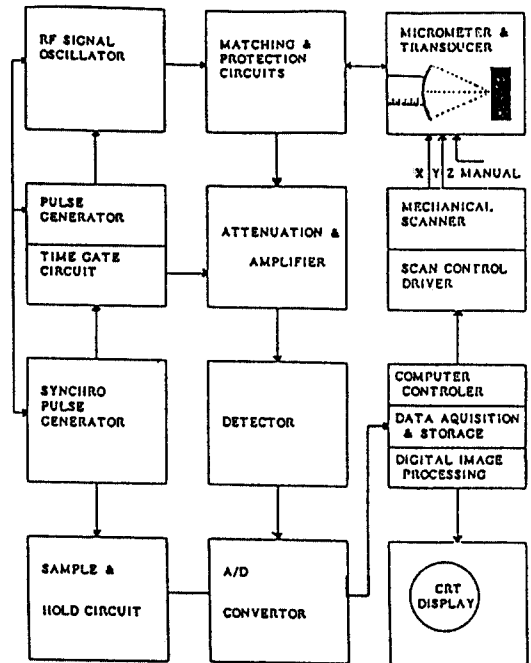


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. System block diagram

$$\sqrt{k_x^2 + k_y^2} \ll k_0$$

$$\sqrt{k_0^2 - k_x^2 - k_y^2} \cong k_0 - \frac{1}{2} \frac{k_x^2 + k_y^2}{k_0}$$

인 경우에 대해서

$$\exp[jk_z(z_2 - z_1)] \cong \exp[jk_0(z_2 - z_1)]$$

$$\exp\left[-j \frac{k_x^2 + k_y^2}{2k_0} (z_2 - z_1)\right] \quad (5)$$

로 쓸 수 있다.

(5) 식의 첫 번째 지수항은 음향파가 Z_1 에서 Z_2 로 이동하는 사이에 받는 위상지연을 나타내며 두 번째 항은 spatial 각에 관계되는 주파수의 2차 위상지연을 뜻한다.

그림(2)는 해석을 위한 기하학적 구조와 좌표를 표시한 것이다. 렌즈의 중심에서 임의 거리 l 에 대한 시간지연을 다음과 같이 된다.

$$t_l = \exp\left[-j \frac{k_0}{2f} (x^2 + y^2)\right]$$

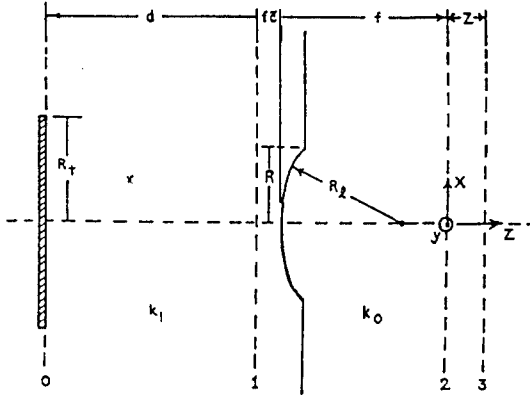


그림 2. 해석에 사용한 좌표 시스템
Fig. 2. The coordinate system used in analysis

여기서 (+) 점자는 (+Z) 방향, (-)는 (-Z) 방향을 의미한다.

$U_1(x,y)$ 는 그림(2)에서 평면(1)에서 입사되는 $U_2(x,y)$ 는 평면(2)에서 입사 음압장이라고 하면 다음 식이 성립된다.

$$u_2^+(x_2, y_2) = \frac{\exp[jk_0 f(1+c^{-2})]}{j\lambda_0 f} \quad (6)$$

$$\iint_{-\infty}^{\infty} u_1^+(x_1, y_1) p_1(x_1 + x_2, y_1 + y_2) \times \exp\left[-j \frac{2\pi}{\lambda_0 f} (x_1 x_2 + y_1 y_2)\right] dx_1 dy_1$$

여기서 $P(x,y)$ 는 렌즈의 pupil 함수로 다음 식으로 된다.

$$p_1(x,y) = \text{circ}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{R}\right)$$

지금 초점에 집속된 빔이 맺히는 평면의 전후에서는 x_2, y_2 는 매우 작은 값이므로 다음 근사식이 된다.

$$p_1(x_1 + x_2, y_1 + y_2) \cong p_1(x_1, y_1)$$

평면(1)은 변환자로부터 d거리만큼 떨어진 곳이라면 변환자의 출력 전압은 반사체와 초점과의 거리(Z)와 반사체의 여러 가지 파라미터의 함수로 나타내게 된다.

$$u_1^+(x, y) = \left\{ u_0^+ * \mathcal{F}^{-1}\{\exp jk_z d\} \right\} \Big|_x \quad (7)$$

평면(0)에서 반사음압장은 $u(x,y)$ 로 구할 수 있다.

$$u_0^-(x, y) = \left\{ u_1^- * \mathcal{F}^{-1}\{\exp jk_z d\} \right\} \Big|_y \quad (8)$$

변환자의 수신모드에서 출력 전압 $V(Z)$ 은 모든 음압장을 적분한 세력에 의해 유지되는 전압이 된다.

결국은 초점거리 Z의 함수인 u_0 음압장에 의해 변환자에 발생하는 전압이다.

$$V(Z) = \iint_{-\infty}^{\infty} u_0^+(x', y') u_0^-(x', y') dx' dy' \quad (9)$$

u_0^+ 는 변환자에 의해 발생된 음압장이다. (8)식을 (9)식에 대입 정리하면 다음과 같다.

$$V(Z) = \iint_{-\infty}^{\infty} u_0^+(x', y') \left\{ u_1^- * \mathcal{F}^{-1}\{\exp jk_z d\} \right\} \Big|_y dx' dy'$$

이 식은 콘벌루션 정리에 의거, 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$V(Z) = \iint_{-\infty}^{\infty} u_0^+(x', y') \left\{ \iint_{-\infty}^{\infty} u_1^-(\xi, \eta) F^{-1} \left\{ \exp jk_z d \right\} \Big|_{y=y', -\frac{z}{f}}^{z} d\xi d\eta \right\} dx' dy'$$

적분 순서를 바꾸어 쓰면 다음과 같이 된다.

$$V(Z) = \iint_{-\infty}^{\infty} u_1^-(\xi, \eta) \left\{ \iint_{-\infty}^{\infty} u_0^+(x', y') F^{-1} \left\{ \exp jk_z d \right\} \Big|_{y=y', -\frac{z}{f}}^{z} dx' dy' \right\} d\xi d\eta'$$

여기서 $k_z = \sqrt{k_0^2 - k_x^2 - k_y^2}$ 은 k_x 와 k_y 의 우함수이므로 다음 관계가 성립된다. $V(Z)$ 식에서 위 관계를 이용하여 괄호안의 적분식을 콘벌루손 식으로 바꾸어 쓰면 다음과 같다.

$$V(Z) = \iint_{-\infty}^{\infty} u_1^-(\xi, \eta) \left\{ u_0^+ * \mathcal{F}^{-1} \left\{ \exp jk_z d \right\} \right\} \Big|_{\eta} d\xi d\eta$$

(7)식을 이용 간소화하면 다음과 같이 된다.

$$V(Z) = \iint_{-\infty}^{\infty} u_1^-(\xi, \eta) u_1^+(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad (10)$$

(6)식을 (10)식에 대입 정리하면 최종 결과는 다음과 같이 된다.

$$V(Z) = \iint_{-\infty}^{\infty} u_1^+(-x, y) u_1^+(x, -y) p(-x, -y) R\left(\frac{x}{f}, \frac{y}{f}\right) \times \exp \left[j2k_0 z \sqrt{1 - (x/f)^2 - (y/f)^2} \right] dx dy \quad (11)$$

circular symmetry로 변환하면 다음과 같이 서로 대치 가능하다.

$$R(l_x, l_y) = R(l_r), u_1^+(x, y) = u_1^+(r), p(x, y) = p(r)$$

여기서 $l_r = (l_x^2 + l_y^2)^{\frac{1}{2}}$ 그리고 $r = (x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}$ 이다.

(11) 식을 circular 형태로 바꾸어 쓰면 다음과 같이 된다.

$$V(Z) = 2\pi \int_0^{\infty} r [u_1^+(r)]^2 p^2(r) R\left(\frac{r}{f}\right) \exp \left[j2k_0 z \sqrt{1 - (r/f)^2} \right] dr \quad (12)$$

parxial 근사법을 적용하여 다시쓰면 다음과 같이 된다.

$$V(Z) \cong 2\pi \exp[j2k_0 z] \int_0^{\infty} r [u_1^+(r)]^2 p^2(r) R(r/f) \exp[-jk_0 z r^2 / f^2] dr \quad (13)$$

최종 결과식 (13)에서 변환자의 출력 전압 $V(Z)$ 에 는 촛점거리(Z), pupil함수, 반사함수, 용액에서의 감쇠 등의 파라메터가 포함되고 있음을 잘 나타내고 있다.

2.2 조건에 따른 $V(Z)$

여기서는 여러 가지 조건에 따른 $V(Z)$ 특성곡선을 고찰한다.

<1>조건(1)

$$u_1^+(r) = 1 / \omega R z, P(r) = \text{circ}(r/R)$$

$$R(\ell_r) = \theta(\ell_r < R_1/f), R(\ell_r) = 1(\ell_r > R_1/f)$$

조건(1)은 입사각이 임계각 $\theta \sin^{-1}(R_1/f)$ 보다 큰 경우에만 완전 반사되고 나머지는 반사가 없는 경우이다. $V(Z)$ 식은 다음과 같이 된다.

$$V(Z) = \left(1 - \frac{R_1^2}{R^2}\right) \exp(j2k_0 z) \exp \left[-j \frac{\pi}{\lambda_0 f^2} (R^2 + R_1^2) z \right] \frac{\sin \frac{\pi}{\lambda_0 f^2} (R^2 - R_1^2) z}{\frac{\pi}{\lambda_0 f^2} (R^2 - R_1^2) z}$$

조건(1)의 결과식 $V(Z)$ 을 보면 아직도 sinc 함수 형태는 계속 유지하고 있으나 주빔은 반사함수 결과에 따라 증가하고 있다는 것을 볼 수 있다. 그림(3)은 조건(1)의 경우 $V(Z)$ 곡선을 이론치이다.

<2>조건(2)

$$u_1(r) = 1 / \pi R^2, P(r) = \text{circ}(r/R)$$

$$R(\ell_r) = 1(\ell_r < R_1/f), R(\ell_r) = \exp(j\phi) (\ell_r > R/f)$$

조건(2)는 반사함수 크기는 단위치이나 입사각이 임계각보다 클 때의 위상은 영이 아닌 경우이다.

$V(Z)$ 은 다음과 같은 식으로 된다.

$$V(Z) = \left(\frac{R_1}{R}\right)^2 \exp(j2k_0 z) \exp \left(-j \frac{\pi}{\lambda_0 f^2} R_1^2 z \right) \frac{\sin \left(\frac{\pi}{\lambda_0 f^2} R_1^2 z \right)}{\frac{\pi}{\lambda_0 f^2} R_1^2 z}$$

$$+ \left(1 - \frac{R_1^2}{R^2}\right) \exp(j2k_0 z) \exp(j\phi)$$

$$\exp\left[-j\frac{\pi}{\lambda_0 f^2} (R^2 + R_1^2) z\right] \frac{\sin\left[\frac{\pi}{\lambda_0 f^2} (R^2 - R_1^2) z\right]}{\frac{\pi}{\lambda_0 f^2} (R^2 - R_1^2) z}$$

윗 식을 $R = R/\sqrt{2}$ 라고 하면 간단하게 다음 식이 된다.

$$V(Z) = \exp(j2k_0 z) \exp\left[-j\left(\frac{\pi}{\lambda_0 f^2} R^2 z + \frac{\phi}{2}\right)\right]$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{\lambda_0 f^2} R_1^2 z - \frac{\phi}{2}\right) \frac{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda_0 f^2} R_1^2 z\right)}{\frac{\pi}{\lambda_0 f^2} R_1^2 z}$$

이 식에서 $\phi=0$ 이면 조건(1)과 같은 식이 됨을 알 수 있다. 그림 (4)는 조건(2)에서 여러 경우의 ϕ 값에 따른 $V(Z)$ 곡선이다. 결과에서 $\phi=0$ 인 조건(1)의 $V(Z)$ 과 비교하여 보면 만곡점의 위치가 ϕ 값에 따라 이동하고 있음을 알 수 있다. 이것은 $V(Z)$ 값은 불체의 위치뿐 아니라 반사함수에도 영향을 받고 있음을 확인하여 주고 있다.

<3>조건(3)

$$u_1^+(r) = A \exp(-r^2/2\sigma^2),$$

$$P(r) = \text{circ}(r/R), R(\ell_r) = 1$$

조건(3)은 매질용액에서 음향감쇄를 고려하고, 완전반사인 경우이다.

$$A = \frac{1}{\sigma^2 [1 - \exp(-R^2/2\sigma^2)]}$$

이고 σ 는 음압장이 존재하는 평면의 반경을 의미한다. $V(Z)$ 은 다음과 같이 된다.

$$V(Z) = A\sigma^2 \exp(j2k_0 z) \frac{1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(-j\frac{k_0 R^2}{f^2} z\right)}{1 + j\frac{2k_0 z \sigma^2}{f^2}}$$

여기서 $V(Z)$ 의 크기를 구하면 다음과 같다.

$$|V(Z)| = A\sigma^2 \left\{ \frac{1 + \exp(-R^2/\sigma^2) - 2\exp(-R^2/2\sigma^2) \cos(2\pi z R^2/\lambda_0 f^2)}{1 + \left(\frac{4\pi z \sigma^2}{f^2}\right)^2} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

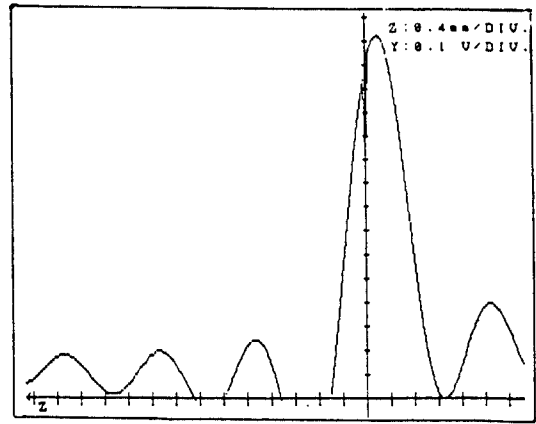


그림 3. 조건(1)인 경우의 $V(Z)$ 곡선
Fig. 3. $V(Z)$ curves for case(1)

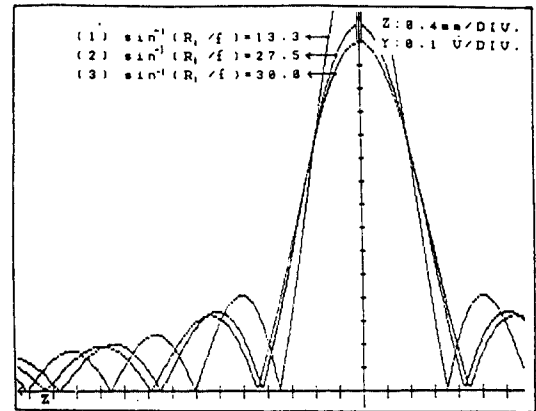


그림 4. 조건(2)인 경우의 $V(Z)$ 곡선
Fig. 4. $V(Z)$ curves for case(2)

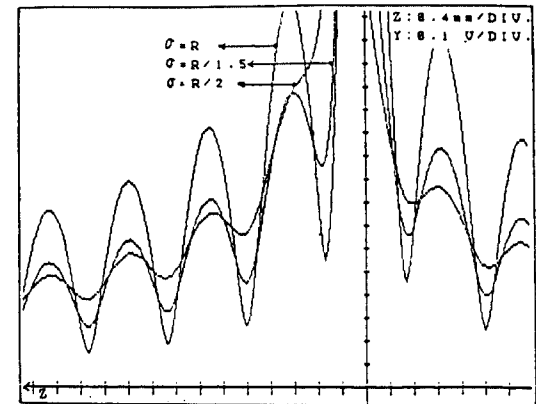


그림 5. 조건(3)인 경우의 $V(Z)$ 곡선
Fig. 5. $V(Z)$ curves for case(3)

그림 (5)는 여러 경우의 값에 따른 $V(Z)$ 곡선을 표시한 것으로 조사 범위가 좁아질수록 $V(Z)$ 곡선이 넓어지며 만곡점이 사라지는 현상을 볼 수 있다.

III. 실험 및 고찰

3.1 시스템 구성

본 연구를 위하여 구성된 반사형 집중음향 시스템의 구성도는 그림 (1)과 같다. 주요구성요소는 (1) 신호발생장치로써 Tone-burst 파형을 발생하여 음향 변환자를 여기시켜서 음향파를 발생시키기 위한 장치이며, (2) 음향변환자 및 수조로써 3MHZ의 구면형 집중 음향변환자의 음향감쇄를 줄이기 위한 음향 전달매체로 물을 사용하였고 피검사체의 재료는 수조속에 고정시켜서 실험하도록 구성하였고, (3) 데이터 Acquisition 장치로써 이것은 반사된 음향신호 전압의 크기를 A/D 변환하여 음향파의 강도를 읽어들이는 곳의 좌표를 동시에 기억하여 저장하는 장치이며, (4) 음향영상처리장치로써 음향좌표와 세기의 디지털 신호를 처리하여 색상과 gray level로 화면에 표시하는 장치로 구성되었으며, (5) 주사장치는 피검사체를 고정시키고 변환자가 피검사체의 위를 주사하게 하는 장치로 컴퓨터의 좌표 이동명령에 연동되도록 구성한 것이다.

3.2 음향변환자의 특성

본 실험을 위하여 제작한 변환자는 중심주파수가 3MHZ이고 초점거리가 16mm인 구면형 ZnO를 사용한 것이다. 집중형 변환자의 전기적특성은 실험결과 매우 양호하게 나타남을 알 수 있었다.

사진(1)은 변환자의 임펄스 응답 파형으로 양호한 특성을 나타내고 있으며, 사진(2)는 입력신호(Tone-burst)파 신호와 고체에서 반사되어온 1차 반사신호파, 제차 반사된 2차 반사신호의 파형을 보여 주고 있다. 입력파의 전압크기와 1차 반사신호 전압크기를 비교하면 감쇄정도가 6dB 정도로 양호한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 여기서 2차 반사신호는 1차 반사신호가 변환자에서 제차 반사되어서 고체에서 반사되어 돌아온 신호로서 이파는 불필요한 파로서 Time-gate 방식으로 제거하고 1차 반사신호만을 검출하여 $V(Z)$ 특성곡선의 도출에 사용하였다.

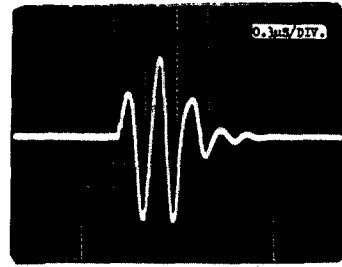


사진 1. 임펄스 응답 실험치
Experimental values of impulse response

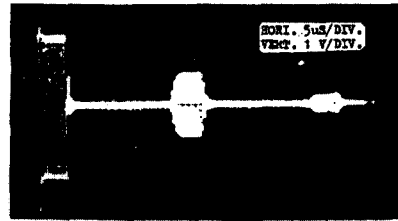


사진 2. 집중 음향변환자의 신호
Signals of the focused acoustic transducer

3.3 $V(Z)$ 특성곡선

그림(6)은 알루미늄(순도 98%)의 $V(Z)$ 곡선 이론치를 시뮬레이션한 것과 실제의 시료에서 얻은 실험 데이터치를 기록한 그림으로서 AMS 구간내에서는 이론치와 실험치의 데이터 간에 어느 정도의 오차는 있으나 파형의 주기는 거의 일치함을 보여주고 있다.

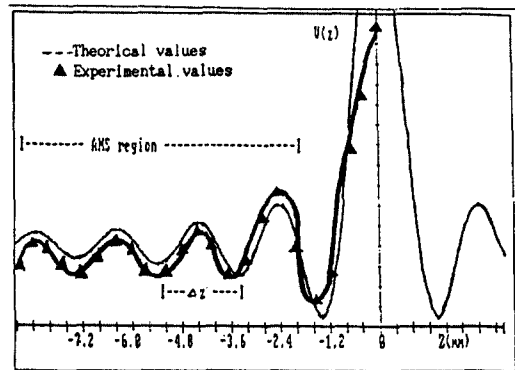


그림 6. 알루미늄의 $V(Z)$ 곡선($v = 2906$ m/s)
Fig. 6. $V(Z)$ curves of Aluminum($v = 2906$ m/s)

오차의 원인은 시료의 표면상태에 따른 오차, 시료의 경사오차, 스캐닝에 따른 진동오차 등이 가미된 것으로 사료되며 이를 줄이기 위해서는 보다 정밀하고 안정된 장치 구성이 선결되어야 할 것이다.

사진(3)은 각종 재료의 V(Z) 특성곡선을 구한 실험치이다. 음향특성이 비슷한 (c) Copper와 (d) Brass인 경우도 특성곡선상에서 서로 확실하게 구별이 가능함을 알 수 있고, 유리에 알루미늄 박막(두께 0.15mm)을 입힌 경우의 V(Z) 특성곡선 (f)에서 보는 것과 같이 (a) Glass와 (e) 알루미늄의 특성곡선과는 완전히 다른 특성곡선을 보임을 잘 알 수 있다. 이 실험 결과로 어떤 재료에 다른 물질이 포함된 경우, 미소 결함이 고체내부에 있는 경우, 고체의 탄성이 변질된 경우 등을 V(Z) 특성곡선으로 확연하게 판별할 수 있음을 보여주고 있다.

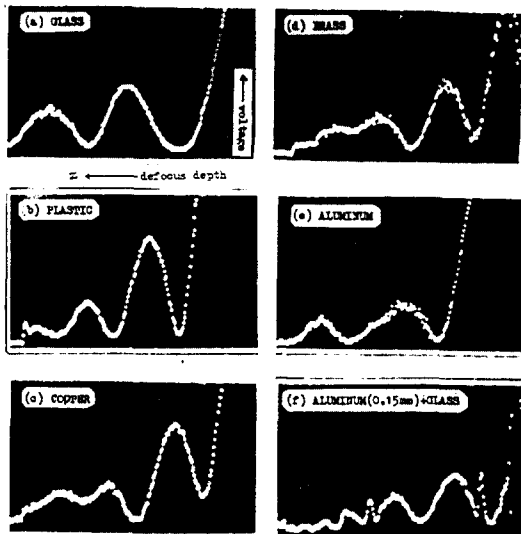


사진 3. 재료에 따른 V(Z) 곡선의 실험치
Experimental values of V(Z) curves for materials

IV. 결 론

본 연구에서는 3MHZ 집속음향변환자로 고체에서 반사되어온 음향파를 검출하여 영상처리하는 시스템을 구성하였고, 이를 이용하여 피검사체와 집속 음향 변환자의 초점거리(Z)에 따른 반사음향파 전압 V(Z)을 나타내는 특성곡선을 검출하여 피검사체의 특

성을 비파괴로 판별할 수 있음을 제시하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 집속음향변환자의 왕복손실이 6dB 이내로 매우 양호한 특성을 보였다.
- (2) V(Z) 특성곡선의 이론해석결과를 조건에 따른 V(Z) 곡선을 도출하였고, 알루미늄 시료에 대한 실험치와 이론치를 비교한 결과 거의 유사한 특성이 얻어짐을 보여 주었다. 오차 원인중 외부적인 원인은 정밀한 실험장치를 구성하므로 해결할 수 있으나 내부 계통오차는 음향파의 해석이 복잡성으로 인한 근사식을 사용하므로 나타나는 것으로 이 오차는 줄일 수 없는 것으로 구분이 된다. 계통오차인 경우에는 특성판별에 영향을 크게 줄만큼 크지 않으므로 무시할 수 있다.
- (3) 피검사체의 재료의 미소한 음향특성도 V(Z) 특성곡선으로 판별할 수 있음을 실험결과로 확인하였다.

앞으로 더욱 정밀한 V(Z) 특성곡선을 검출할 수 있도록 시스템을 개선하여 여러가지 고체재료에 대한 다양한 V(Z) 특성곡선을 표본화한 데이터를 작성 하려는 피검사체 음향특성, 순도, 결함등을 쉽게 비파괴로 판별하는 분야에서 응용이 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. R. Lemons, "Acoustic microscopy by mechanical scanning," Stanford Univ., M.L. Report, No. 2456, pp-1-233, 1975.
2. A. Atalar, "Acoustic reflection microscope," PH.D. dissertation, Stanford Univ. pp.1-117, 1978.
3. R. Smith, "An Acoustic microscope for industrial applications," IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, Vol. su-32, No.2, pp.274-287, 1985.
4. H. Bertoni, "Ray optical evaluation of V(Z) in the reflection acoustic microscope," IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, Vol. su-31, No. 2, pp.105-116, 1984.
5. K. Liang, "Material characterization by inversion of V(Z)," IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, Vol. su-32, No.2, pp.213-223, 1985.
6. J. Kushibik, "Theoretical analysis of V(Z)

curves measured by acoustic line focus beam,"
IEEE Ultrasonics symposium, No.5667, pp.
623-628, 1982.

文 璣(Gun Moon)

정희원

1977년 8월 : 대한항공 시스템부 통신과 과장

1980년 4월 : 코리아라인(주) 통신장

1980년 : 국립군산수산전문대학 전임강사

現在 : 제주대학교 정보통신공학과 교수