

디포커스를 이용한 고체내부 음향영상의 해상도 개선에 관한 연구

문 전*

Study on the Resolution Enhancement of Acoustic Images in Solid-interior by Using Defocus

Gun Moon*

ABSTRACT

The most difficult problem has to be solved in acoustic image detection existing in solid-interior is to reduce the strong surface signals. In order to solve this problem, this paper proposed the new technique enhancing the resolution of acoustic images by applying the defocus method which can reduce the reflected surface signals efficiently. The key point of this technique is to find the optimum defocus distance between acoustic transducer and sample object. Using the packaged LSI as the experimental sample, I detected the subsurface IC images applying the proposed defocus technique. The experimental results showed the better resolution and confirmed this technique can be used usefully in acoustic none destructive test.

Key Words : Acoustic, Image, Defocus, Resolution, Subsurface, NDT

1. 서 론

음향파를 이용한 비파괴검사에서 가장 문제가 되는 것은 음향파가 표면을 반드시 거쳐서 내부로 침투해야 하므로써 수신되는 반사파 성분에는 표면 반사파와 내부 반사파가 동시에 존재하게된다. 결국은 수신된 반사신호에는 표면파 세력이 90% 이상 차지하고 있어서 이러한 강력한 표면파와 함께 포함된 상대

적으로 미약한 내부 반사파를 분리 검출하는 것은 많은 어려움이 있고 검출 내부 영상에 좋지 않은 영향을 주고 있다. 지금까지 여러 가지 연구결과가 발표되고 있으나 아직도 확실하게 표면파와 내부 반사파를 분리 검출하는 것은 어렵고 표면파의 세력이 내부 반사파에 영향을 적게 주는 기법을 찾는 데 주로 많은 관심을 갖고 연구가 계속하여 왔다.^{1),2)} 시간변별에 의하여 게이트 타이밍을 반사신호의 후반부에 맞추어서 표면 반사파 신호를 제거하고 내부 반사파 신호만을 검출하는 신호 처리하는 방법은 많은 해상도의 개선을 가져왔으나 이 방법도 강력한 잔류 표면파는 내

* 제주대학교 통신공학과
Dept. of Telecommunication Eng. Cheju Nat'l Univ.

부 반사신호에까지 영향을 주고 있어서 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하고 보다 좋은 해상도를 얻기 위한 방법으로 재료의 특성에 따라서 다르게 나타나는 V(Z) 곡선에서 디포커스의 거리에 따라서 반사신호 전압이 최소 점과 최대점이 주기적으로 반복하면서 순차적으로 감소 한다는데 착안하여서 이를 표면 반사파가 최소 되는 디포커스 위치 결정에 이용하는 새로운 기법을 찾아내어 실험결과를 분석 검토하여 타당성을 입증하여서 새로운 기법으로 제안하는 것이 본 연구의 목적이다.^{6),7),8)}

II. 이 론

먼저 음향신호의 전달매체로는 물(H₂O)을 사용하는 경우에 손실용액으로 고려해야 하며 이 손실이 반사함수에 영향을 주는 효과에 대해 알아본다.³⁾

먼저 본 논문에서 사용된 기호는 다음과 같다.

- θ_i : 음향파의 입사각
- θ_R : Rayleigh 각
- θ_L : 종파의 굴절각
- θ_S : 횡파의 굴절각
- ρ_0 : 전달용액 물의 밀도
- ρ : 고체의 밀도(샘플)
- Z : 초점에서 샘플까지 거리(디포커스 거리)
- V^{-1} : 입사파의 음향속도장
- V^{-R} : 반사파의 음향속도장
- V^{-L} : 종파의 음향속도장
- V^{-S} : 횡파의 음향속도장
- ω : 각속도
- R : 반사계수
- K_0 : 물의 전과정수

Fig.1에서 입사와 반사파의 속도 관계식은 다음과 같다.⁴⁾

$$v^i = (\bar{x} \sin \theta_i + \bar{z} \cos \theta_R) \exp[j(k_0 + j_0)(x \sin \theta_i + z \cos \theta_R)]$$

$$v^R = \Re(\bar{x} \sin \theta_i - \bar{z} \cos \theta_i) \exp[j(k_0 + j_0)(x \sin \theta_i - z \cos \theta_i)]$$

손실을 고려하는 경우에는 무손실 식에다 k_0 를 $k_0 +$

jd 로 대체하면 된다.

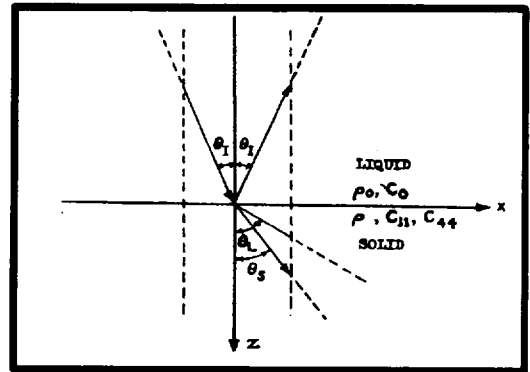


Fig. 1 Acoustic reflection and refraction on boundary

손실용액에서 음향속도 V_{0L} 은 다음과 같다.

$$V_0 / (1 + j \frac{\alpha V_0}{\omega})$$

이 때의 반사계수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R = \frac{Z_L \cos^2 2\theta_S + Z_S \sin^2 2\theta_S - Z_0}{Z_L \cos^2 2\theta_S + Z_S \sin^2 2\theta_S + Z_0}$$

여기서 각 성분의 음향 임피던스는 다음과 같다.

$$Z_0 = \frac{\rho_0 V_0}{\cos \theta_i [1 + j(\alpha V_0 / \omega)]}$$

$$Z_L = \frac{\rho V_L}{\cos \theta_L}, \quad Z_S = \frac{\rho V_S}{\cos \theta_S}$$

Snell 법칙에서 다음 식이 성립하게 된다.

$$[(1 + j \frac{\alpha V_0}{\omega}) / V_0] \sin \theta_i = (\sin \theta_L / V_L) = (\sin \theta_S / V_S)$$

이 관계식을 만족하기 위해서는 $\sin \theta_L$ 과 $\sin \theta_S$ 는 복소수가 되어야 하며 또한 $\cos \theta_L$ 과 $\cos \theta_S$ 도 복소수가 되어야 한다.

$$\cos \theta_i = \mp [1 - (\frac{V_L}{V_0})^2 \sin^2 \theta (1 + j \frac{\alpha V_0}{\omega})^2]^{1/2}$$

이 식에서 입사각 θ 에 따라서 (+), (-) 값을 갖게되며 $\sin\theta_i < (V_o/V_i)$ 인 경우에 굴절파는 (+) 값의 실수가 되며 반사파는 (+) Z 성분을 갖는 k-벡터가 포함된다.

Fig. 2는 손실용액과 손실고체 경계면에서 반사진폭과 위상을 시뮬레이션한 그림이다. 입사각에 따라서 특정 각에서 반사파의 위상과 진폭이 급격한 변화를 읽을 수 있다.^{4),5)}

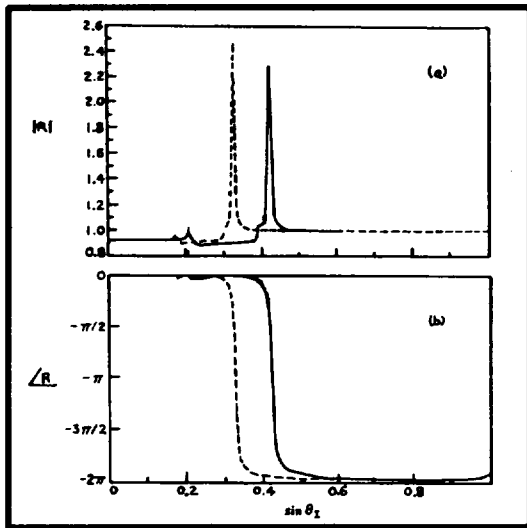


Fig. 2 Acoustic amplitude & phase for lossy liquid

Angular spectrum 방식에 의한 초점거리에 따른 반사신호 전압 식은 다음과 같이 주어진다.⁶⁾

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

이 식에서 $Z(=DF$: 디포커스 거리)에 따라서 수신 반사신호 전압 $V(z)$ 은 최대 점과 최소 점을 반복하는 Sinc 함수 형태로 되어 있음을 알 수 있다. 이 함수에서 최소 점에 디포커스 점을 맞추어 신호를 검출하면 표면 반사파가 최소가 됨을 알 수 있다.

III. 시스템 구성

Fig. 3은 본 연구의 실험 시스템 구성도이다.

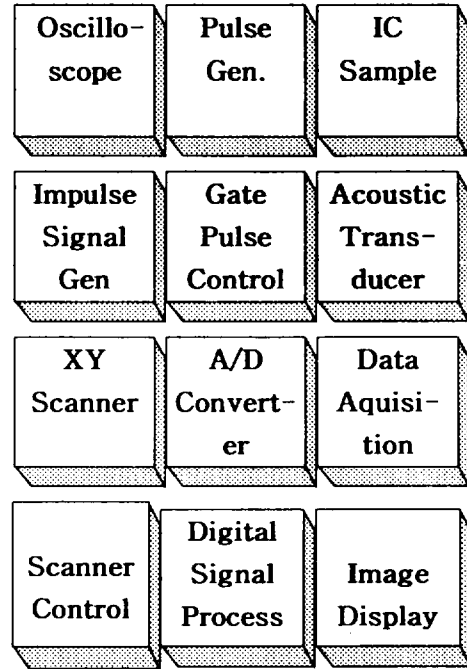


Fig. 3 System block diagram

입력신호는 펄스 폭이 80nS인 임펄스 신호를 사용하여 광대역 특성을 갖도록 하였으며 이 신호로 10MHz의 음향 변환자를 구동시켰다. 음향변환자의 사양은 Table1 과 같다.

Table 1 Source of Transducer

Center Frequency	10MHz
Dia of Open face	6.35mm
Focus Length	25.40mm
X-tal material	ZnO
Transducer BW	60%

실험에 사용한 변환자의 임펄스 응답특성은 Fig. 4와 같이 이론적 특성과 거의 일치하는 좋은 특성을 보여

주고 있음을 확인하였다.

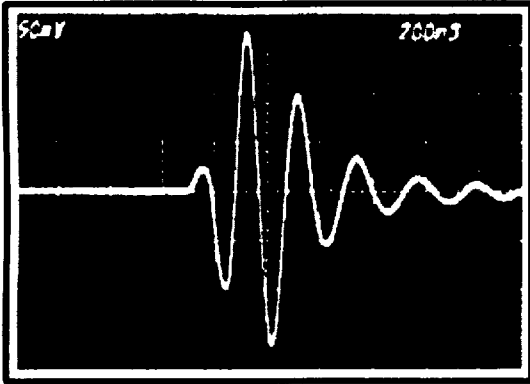


Fig. 4 Impulse characteristics of Transducer

IV. 실험결과 및 분석

IC 제조에 사용된 표피재료인 플라스틱의 정확한 성분과 음향임피던스, 밀도, 음향속도 등의 특성치를 알 수 있는 경우에는 주어진 $V(z)$ 식을 시뮬레이션하여서 표면파가 최소 되는 디포커스 점을 정확히 알 수 있으나 재료의 성분특성을 알 수 없는 경우로서 실험에 의해서 정확한 최소 점을 찾는 방법을 본 연구를 통하여 시도하여 제안하였다.^{6),7)} 이 방법은 샘플(IC)을 초점거리에 두고 변환자를 순차적으로 라인얼(lineal)하게 샘플에 접근시키면서 수신된 반사신호의 크기를 영상 처리하여 나타내면은 $V(z)$ 특성곡선을 얻을 수 있으며 여기서 함수의 최소 점을 찾을 수 있으며 이 점을 최적 디포커스 거리로 정하여 전체 샘플을 스캔하여 얻어진 데이터를 영상 처리하면 표면파는 최소 되는 점에서 내부 반사신호를 얻을 수 있으므로 강력한 표면파의 영향을 줄일 수가 있는 것이다. 이처럼 최적상태에서 얻어진 내부영상과 최적상태를 벗어난 경우에 어떤 결과가 오는가를 여러 가지 실험치로 비교 분석하여서 결과를 도출하였다. Fig. 5는 실험으로 얻어진 샘플의 $V(z)$ 곡선을 보여주고 있으며 최소점이 두 곳에서 확인되고 있음을 알 수 있고 Sinc 함수형태를 보여주고 있어서 이론 식과 일치하는 모양을 하고 있음을 확인 할 수

가 있다. (1)점은 최초로 나타나는 최소점이나 아직도 표면 반사파가 어느 정도 있는 상태이다. (2)점은 두 번째로 나타나는 최소점으로 이 위치에서 디포커스 한 경우에는 표면 반사파가 최소 되는 동시에 내부 반사파도 세력이 분명하게 나타나는 점으로 본 연구에서 제시한 최적위치가 된다.

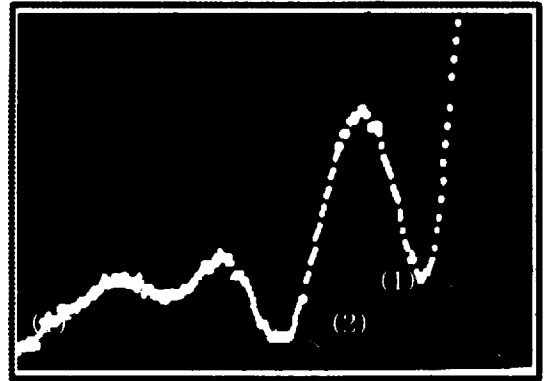


Fig. 5 Experimental $V(z)$ curve of IC

Fig. 6은 디포커스 거리 $DF=0.0\text{mm}$ 인 경우로서 음향 변환자와 샘플과의 거리가 초점거리와 일치되는 점에서 입력펄스와 반사신호를 보여주고 있으며, Fig. 7은 본 실험에서 사용한 IC(LSI) 샘플을 보여주고 있다. Fig. 6에서 반사신호 성분에는 거의 전부가 표면 반사파로만 구성되어 있고 내부 반사파 신호는 극히 미약해서 비파괴 내부영상검출에는 부적합하다는 것을 판단할 수 있다.

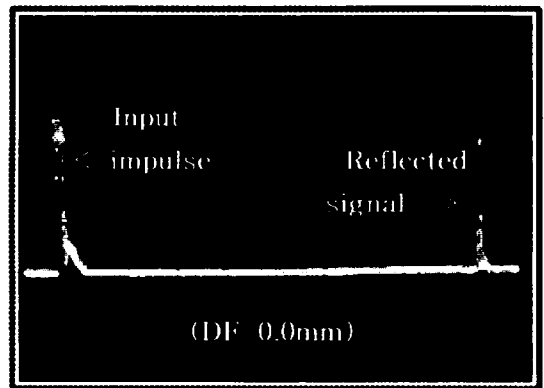


Fig. 6 Input & reflected signal($DF=0.0\text{mm}$)

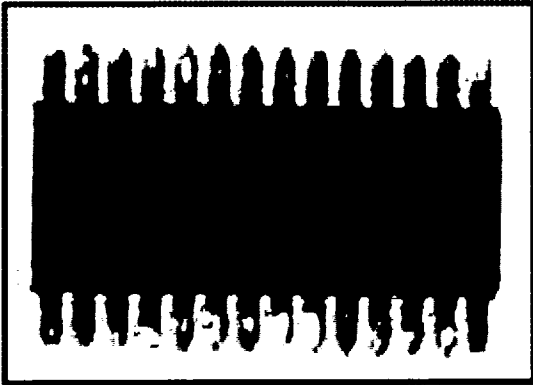


Fig. 7 Tested sample IC

Fig. 8(a)은 디포커스 DF=5.0mm 인 경우에 반

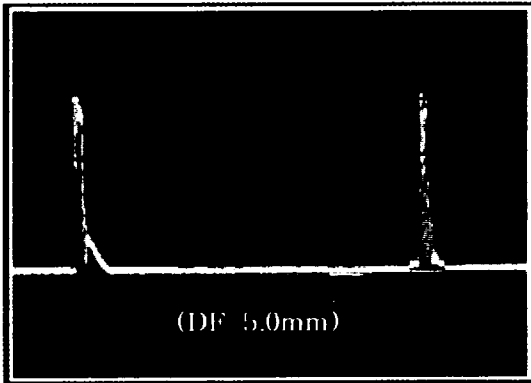


Fig. 8 (a) Reflected signal on DF=5.0mm

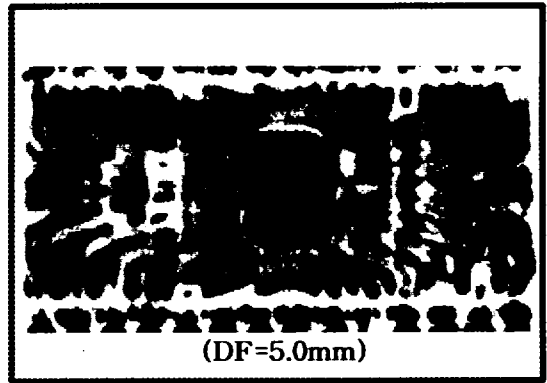


Fig. 8 (b) Interior IC image on DF=5.0mm

사 신호파를 보여주고 있는 것으로 표면 반사파의 세력이 매우 크지만 약간의 내부 반사파 신호가 발생되었음을 볼 수 있다. Fig. 8(b)는 이 신호를 영상 처리한 결과로서 IC 내부의 영상이 검출되고 있으나 해상도가 매우 떨어짐을 알 수 있다.

Fig. 9(a)는 디포커스 DF=9.5mm 인 경우로 표면 반사파가 급격히 감소되고 상대적으로 내부 반사파가 상승된 것을 알 수 있다. 이 점이 바로 $V(z)$ 특성곡선에서 (1)번 점에 해당하는 최초 최소 점을 나타내고 있는 것이다. 표면 반사파와 내부 반사파의 비가 거의 1:1을 나타내는 위치로서 내부 반사파 세력이 최대점이나 표면 반사파의 세력이 상당히 존재하는 위치이기도 하다. 이 위치에서 스캔하여 얻은 데이터를 영상 처리하다 결과는 Fig. 9(b)로서 좋은

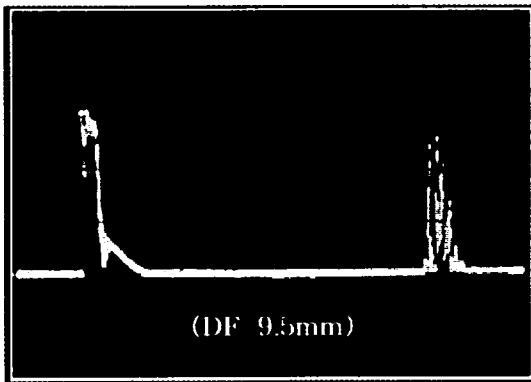


Fig. 9 (a) Reflected signal on DF=9.5mm

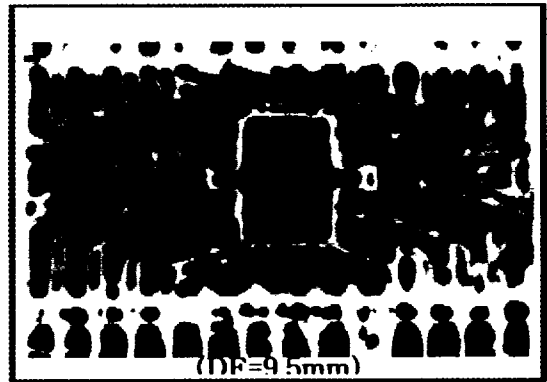


Fig. 9 (b) Interior IC image on DF=9.5mm

해상도의 내부 영상을 검출할 수 있음을 잘 보여 주고 있다.

Fig. 10(a)는 DF=13mm 인 경우로써 Fig. 5에서 $V(z)$ 곡선에서 (2)점인 두 번째 최소 점을 나타내는 위치에서 반사파 신호를 보여주고 있다. 여기서 표면 반사파가 최소 되는 점이면서 또한 내부 반사파의 분명하게 구분되어서 나타나고 있음을 확인할 수가 있다. 이 디포커스 위치가 본 실험에서 최적 치로 제시한 곳이다. 이 위치에 디포커스한 상태에서 얻은 데이터를 영상 처리하다 결과는 Fig. 10(b)와 같다. IC 내부의 영상이 보다 선명하게 나타나면서 표면 반사파에 의한 해상도 저하가 현저히 감소되었음을 알 수 있다.

Fig. 11(a)는 DF=15.5mm 인 경우의 반사파형을 보여주고 있다. 표면 반사파의 크기가 다시 증가

하면서 상대적으로 내부 반사파의 세력도 감소하고 있음을 잘 보여주고 있다. 한편 내부 반사파의 신호 폭이 넓어진 것은 음향파의 침투 깊이가 증가했음을 알 수 있다. 이 위치에서 디포커스하여 데이터 영상 처리하다 결과는 Fig. 11(b)와 같다. 이 그림에서는 지금까지는 나타나지 않았던 IC 내부영상 중에 고리 모양의 띠(흰색)가 칩 양쪽에 나타남을 확인할 수 있다. 전반적인 해상도는 떨어지고 있으나 디포커스 깊이가 클수록 음향파가 깊이 침투하여 보다 깊은 곳의 영상도 검출할 수 있음을 보여주고 있다.

V. 결 론

음향파를 이용한 고체 내부의 음향영상 검출하는

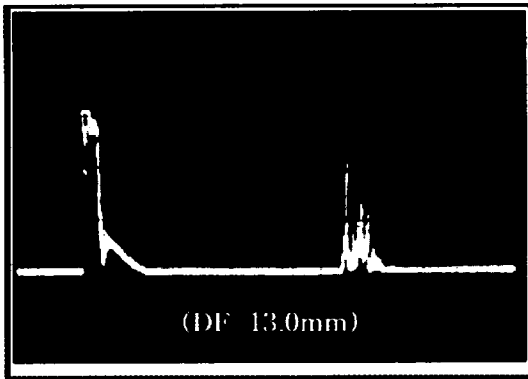


Fig. 10 (a) Reflected signal on DF=13.0mm

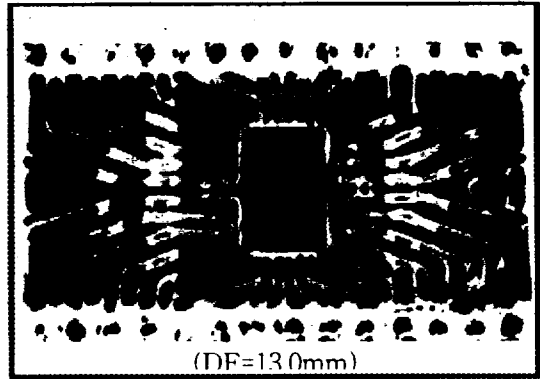


Fig. 10 (b) Interior IC image on DF=13.0mm

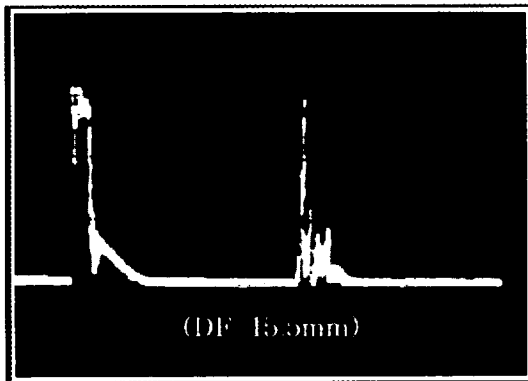


Fig. 11 (a) Reflected signal on DF=15.5mm

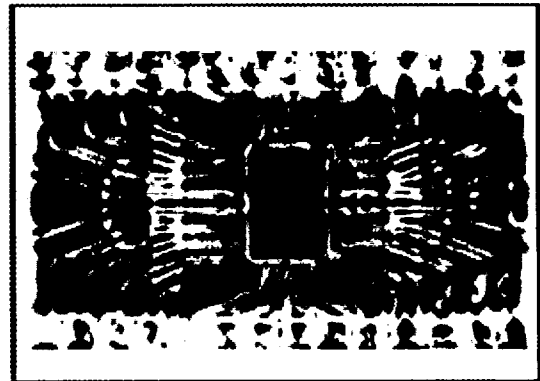


Fig. 11 (b) Interior IC image on DF=15.5mm

데 가장 큰 장애 요인으로 작용하는 표면 반사파의 영향을 최소로 하는 새로운 기법을 제시하였다. 이 최소화 이론적 근거는 $V(z)$ 곡선 특성은 Sinc 함수 형태로서 최소 점과 최대 점을 반복하는 순차 감쇠 함수 형태로 주어진 점을 착안하여 표면 반사파가 최소가 되면서 내부 반사파는 최대가 되는 점을 찾아내어 이 위치에서 디포커스한 상태로 얻은 데이터를 영상 처리하여 지금까지 시도한 여러 가지 기법보다 개선된 해상도의 내부 영상을 얻을 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다.⁸⁾ 실험에는 초점거리 25.40mm 이고 중심주파수가 10MHz의 구면형 변환자를 사용하여 IC 샘플의 내부영상을 검출하여 검출 결과를 비교 분석하였다. 먼저 실제 샘플에서 $V(z)$ 특성곡선을 실험 치로 산출하여서 표면 반사파가 최소 되는 점 $DF=13.0\text{mm}$ 에서 얻은 IC 내부 영상이 다른 위치에서 얻은 영상보다 보다 좋은 해상도가 나타남을 확인하였다. 즉 최적 디포커스 위치는 $V(z)$ 특성 곡선의 두 번째 최소 점에서 이루어짐을 찾아내었다. 본 연구의 실험으로 사용한 IC는 표면이 균일하고 편평한 경우이지만 앞으로는 표면이 불규칙하고 거친 경우에도 표면파를 제거 할 수 있는 기술로 발전시켜 나아가야 할 것이며 이 기법은 앞으로 음향파를 이용한 비파괴 검사에 유용하게 응용될 수 있다.

참고문헌

- 1) D. Rugar, 1984, Resolution Beyond the Diffraction Limitation the Acoustic Microscope. J. Appl. phys. 56, pp. 1338-1342.
- 2) M. Waugh, 1976, Acoustic imaging techniques for nondestructivetesting. IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, Vol. 32, No. 5, pp. 312-316.
- 3) B. T. Khuri-Yakub, 1984, Surface Defect Detection Using Acoustic Microscope. Proc. IEEE Ultrasonics Symp. Vol. 2, pp. 580-587.
- 4) M. A. Breazeale, 1977, Interaction of Ultrasonic Waves Incident the Rayleigh Angle onto a Liquid-solid Interface. J. Appl. Phys. 48, pp. 530-537.
- 5) A. Atalar, 1985, Penetration depth of the Scanning Acoustic Microscope. IEEE, Trans. Sonics and Ultrasonics, Vol .su-32, No. 2, pp. 164-167.
- 6) 문 건, 1988, 음향현미경 특성해석과 고체표면 및 내부 영상검출. 경희대학교 박사학위 논문집, pp. 1-134.
- 7) 문 건, 1997, 음향파를 이용한 고체내부의 수직 축 상에 존재하는 상이한 결함분리 검출에 관한 연구. 한국음향학회 논문집 제 16권, 8호, pp. 98-102.
- 8) 문 건, 1998, 지연시간 변별에 의한 음향영상 분리개선에 관한 연구. 제주대학교 산업기술연구 논문집, 제16권 2호, pp. 25-30.