

음향 렌즈의 성능에 관한 연구
(A study on the performance of the acoustic lens)

고 대식*, 문 건, 전 계석
(DAE-SIK KO*, MOON KUN, KYE -SUK JUN)

경희 대학교 전자 공학과 (KYUNG HEE UNIV. ELECTRONICS)

ABSTRACT

The Scanning Acoustic Microscope(SAM) is an image device which can display the small opaque material or the interior of solid.
This paper showed the design of the acoustic lens which is an important factor of the Scanning Acoustic Microscope, and analyzed the performance of the acoustic lens . Finally, I experimented the image processing of the interior of solid through the Scanning Acoustic Microscop and the change of the acoustic image (resolution, contrast) by the change of F/number .

서론

음향 렌즈는 음향파를 집중시켜 초점에서의 음향 강도를 높여주고 분해능을 향상시키는 데 사용된다.⁶⁾

초음파를 이용한 비파괴 검사를 위하여 중태에는 피스톤형의 음향 변환기가 사용되었으나 이것은 음향파가 확산되어 전파되기 때문에 감쇄가 심하여 고주파에서 동작시키기에는 부적합 하였다. 이를위하여 1973년 미국의 Quate와 Lemons는 강력한 음향 비입을 형성시켜주는 음향 렌즈를 이용하여 미소 물체에 대한 2차원 영상을 얻을 수 있는 음향 현미경 시스템을 개발하였다.⁷⁾

음향 렌즈에서는 수차가 발생하므로 음향 렌즈 재료의 선택과 렌즈의 설계를 알맞게 하여 수차를 최소화 하여야 한다.

본 연구에서는 음향 렌즈의 성능을 고찰하기 위하여 음향 렌즈를 사용하였을 때 얻을 수 있는 반사 신호 세기의 증대 효과와 분해능의 향상을 제시하였으며 음향 렌즈의 F/number 변화에 따른 영상의 변화(분해능, contrast)를 실험을 통하여 보였다.

I. 음향 렌즈의 성능 해석

I -1. 반사 신호의 증대

그림 1은 음향 렌즈의 모형이다. 중태 비파괴 검사에 사용되던 피스톤형 음향 변환기는 음향파가 확산되어 전파되기 때문에 충분한 반사 전압을 얻기 위하여서는 전압을 크게 인가 하여야 한다. 그러나 음향 렌즈를 사용하면 음향파가 집중되어 전파되기 때문에 초점에서의 음향 강도가 매우 높아진다.²⁾

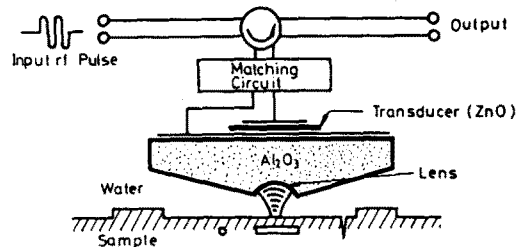


그림 1. 음향 렌즈의 모형에

음향 변환기에 의하여 여기된 음향파가 음향 렌즈를 통과하여 초점 평면에 나타내는 음향 강도의 분포는 식[1]과 같다.¹⁾

$$I(r, f) = (\pi a^2 / \lambda^2) [J_1(\pi r a / \lambda f)]^2 I_0 \quad \text{--- [1]}$$

여기서 a 는 음향 변환기의 반지름,
 f 는 초점거리를 나타내며

$J_1(x) = J_1(2.0x/x)$, $x = k a \sin \theta$ 로 정의된
 Bessel 함수이다.

[1] 식에서 음향 변환기에서 어긋난
 음향 강도와 초점에서의 음향 강도의
 비는

$$I(0, f) / I_0 = (\pi a^2 / \lambda^2) S^2 \quad \text{--- [2]}$$

$S = \lambda f / a^2$ 으로 초점거리에서 $S=1$ 이다.

[2] 식에서 음향 렌즈를 사용함으로써
 인하여 음향 강도가 피스톤형에 비하여
 π^2 배 (약 10 배) 증가하는 것을 알 수
 있다.

I - 2. 분해능

음향 현미경시스템의 성능을 표시 할
 수 있는 중요한 파라미터로 분해능이
 (resolution) 있다. 축방향 분해능
 (lateral resolution) 은 변환기 면과
 평행한 방향으로의 구별 능력을 말하며 ⁷⁾
 초점에서의 빔의 직경 $D(3dB) = 2r$ 을
 구하면

$$D(3dB) = 0.51 \lambda f / a = 0.51 \lambda / \sin \theta =$$

$$1.02 \lambda \cdot F/\text{number} \quad \text{--- [3]}$$

여기서 $D(3dB)$ 를 축방향 분해능이라고
 하며 동작 주파수를 높일수록 F/number 를
 작게 할수록 빔폭이 감소되는 것을 알 수
 있다.

그림 2 는 동작주파수와 F/number 변화에
 따른 빔폭의 변화를 시뮬레이션 한 것이다.

Beam width ($\times 10^{-3}$ mm)

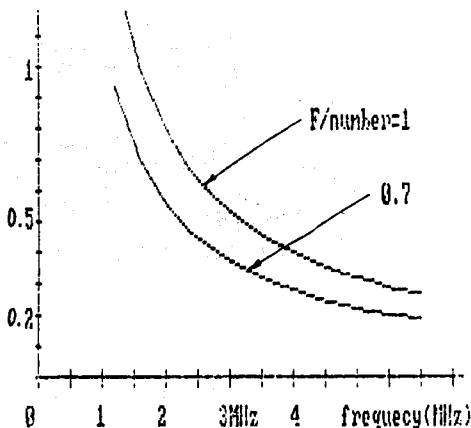


그림 2 : Frequency 와 F/number 의 변화에 따른
 빔폭의 변화

II. 실험 및 고찰

II- 1. 실험 장치의 구성

음향 렌즈의 성능을 알아보기 위한 실험
 장치의 블록 선도는 그림 3 과 같다.
 pulse generator 에서 출력된 pulse 의
 function generator 의 3 MHz 반송파가 합
 쳐져 tone burst 파를 만들어 샘플에서
 반사되어온 1차 전압만을 얻어내기 위하
 여 slave-pulse generator 를 사용하여
 Gating 시켜주며 반사신호 역시 tone-
 burst 파 이므로 detector 를 이용하여
 envelope 시킨다.

이 신호를 Data Acquisition 시스템에 입
 력시키기에 알맞은 전압 레벨로 증폭
 시켜 Data를 입력시키는 것과 동시에 X,
 Y 축에 대한 scanning을 행하기 위하여
 Adapter 와 scanner 를 하나의 Controller
 (IBM PC/XT) 에 연결하였다. ³⁻⁶⁾

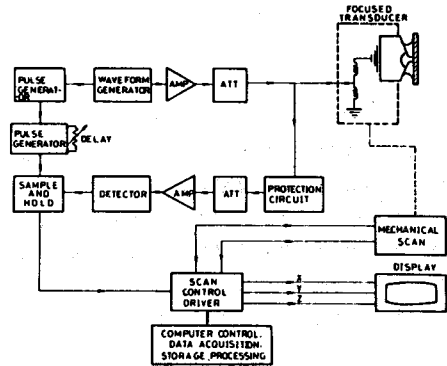


그림 3: 실험 장치 블록 선도

II- 2. 반사 신호의 검출

반송주파수 3MHz, pulse 폭 5 μsec인 tone
 burst 파를 변환기에 인가하였을 때 일어
 진 반사 신호 파형은 그림 4 와 같다.
 이 그림에서 인가 전압 3V 에 대하여 0.9V
 의 1차 반사 전압이 얻어지는 것을 알 수
 있으며 오른쪽으로 가면서 2차, 3차 - 반사 신호
 를 나타낸다.

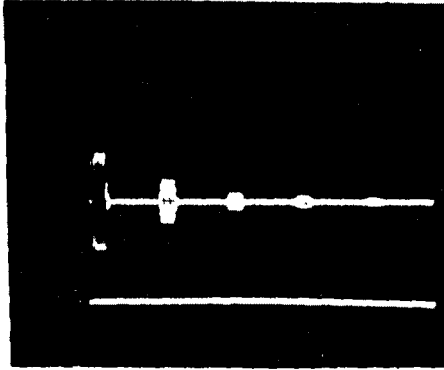


그림 4: 반사 신호 파형
(Horizontal=10 μsec/div, Vertical=1 v/div)

II-3. 영상 처리

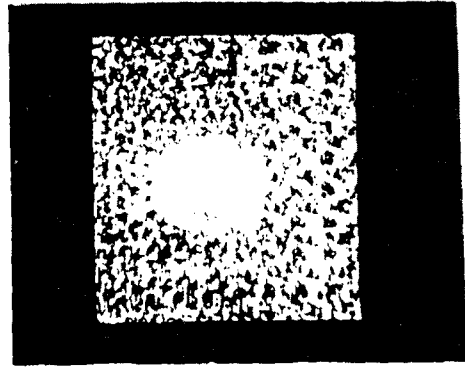
음향파는 음향 임피던스의 차이가 있는 지점에서 세기가 다른 반사를 일으킨다. Scanning 시스템의 한 스캔마다 얻어진 반사신호는 변환기에 의하여 다시 전기적인 신호로 변환되고 A/D 변환되어 모니터에서 하나의 화소(pixel)가 된다. 이 반사 신호의 진폭 크기를 영상 시스템의 그레이레벨(grey level, brightness)로 대응시켜 나타내면 Contrast가 분명한 영상을 얻을 수 있다. 6)

표 1 은 실험을 위한 각 파라미터를 나타내며 그림 5 는 내부 결함이 있는 Kevlar-epoxy 샘플에 대하여 5mm X 5mm 넓이를 256x 256 스캔으로 scan하여 영상 처리한 결과이며 (a)는 F/number=1.0 (b)는 F/number=0.7 인 경우이다.

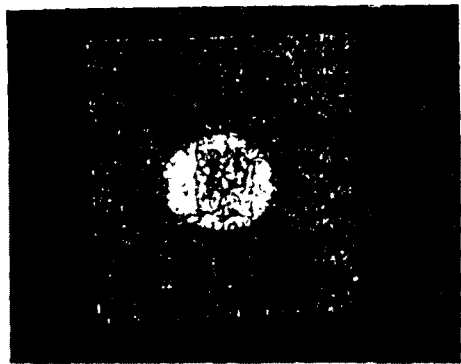
그림 5 에서 F/number가 작을수록 contrast가 현저하게 향상되며 분해능도 향상됨을 알 수 있다.

표 1. Experimental condition

구 분	F/number=1.0	F/number=0.7
frequency	3 MHz	
Lens focal length	16 mm	
Numerical Aperture	8 mm	11.5mm
θlesmax	30°	55°
focal spot size	0.51 mm	0.357mm
sample	Kevlar epoxy(Impedance=3 x10kg/m ² sec) (Velocity=3000 m/sec)	
결입용액(온도)	중류수	(상온)
defocus length	4 mm	



(a)



(b)

그림 5: Acoustic image

(a) F/ = 1.0 , (b) F/ =0.7

(a)

III. 결 론

본 연구에서는 음향 현미경의 중요한 요소인 음향 렌즈의 설계 방법과 그 성능을 연구 분석 하였다. 증배의 피스톤형 변환기에 음향 렌즈를 부착시킨 음향 변환기는 피스톤형 변환기에 비하여 음향 강도용기²(약 10 배) 배 증가시킬수 있음을 알 수 있었다. 음향 렌즈를 부착한 변환기의 성능은 내부결합이 있는 Kevlar epoxy 샘플을 영상화 하여 이론과 비교 고찰하였으며 $F/\text{number}=1.0$ 의 음향 렌즈가 $F/0.7$ 에 비하여 분해능과 contrast가 향상됨을 알 수 있었다. 끝으로 본 연구에서 행한 음향 이미지 시스템은 현미경으로서의 기능뿐만 아니라 생물학, 의학, 산업분야의 비파괴 검사에도 응용이 기대 된다.

REFERENCES

- [1] L. E. Kinsler "Fundamentals of Acoustics", 3rd ed, John Wiley & Sons, 1982, pp 163-197
- [2] Mueller and Reyleigh "Seeing - Acoustically", IEEE Spectrum, Feb. 1982, pp 28-38
- [3] Carl F. Schufle "Fundamentals of Digital Ultrasonic Imaging" IEEE Trans on Sonic & Ultra, Vol su-31 No.4, July 1984, pp 195-216
- [4] Mark E. Schafer "The Influence of Front-end Hardware on Digital Ultrasonic Imaging" IEEE Trans on Sonic & Ultra, Vol SU-31 no.4, July 1984, pp 295-304
- [5] Mehmet Sacahi "Improved Evaluation of Acoustic Transducers using Digital processing of Radiation Field Images" IEEE Trans on Sonic & Ultra, Vol SU-31 no.4, July 1984, pp 307-312
- [6] Nigel J. Burton "Digital Image Processing for Scanning Acoustic Microscopy" IEEE Trans on Sonic & Ultra, Vol SU-31 no.4, July 1984, pp 279-285
- [7] R. A. Lemons "Acoustic Microscopy by Mechanical Scanning" Stanford University, M.L. Report, No.2456, May 1975, pp 1-75