

1. 서 론

Scanning Acoustic Microscope (SAM) 은 1973년에 Quate 와 Lemons¹⁾에 의하여 처음으로 개발되었으며 1 μm 의 분해능을 갖는 강력한 이미징 디바이스로서 광학현미경에 견줄만 하였다. 초기에 SAM은 CW파를 사용하고 전달모드에서 동작 하므로서 생체분야에서 생체의 조직이나 세포를 검사하는데 주로 사용되었으나²⁾ 1978년에 Atalar³⁾는 레이더에서 사용하는 펄스 에코우 방법을 이용하여 반사모드에서 동작하는 SAM을 개발하였다. 이것은 두께가 큰 샘플에 적용할 수 있고 간섭문제를 일으키지 않으므로 고질의 이미지를 준다. 그후 Wickramasinghe⁴⁾는 SAM의 acoustic image가 조사하려는 샘플의 기계적 성질 (밀도, 탄성, 점성 등)과 직접적으로 관련된다는 것을 제시하였으며 이를 바탕으로 SAM은 광학적으로 불투명한 재료의 특성을 조사하거나 비파괴 검사를 하는 도구로서 그 응용 범위를 넓히고 있다.⁵⁾⁶⁾⁷⁾

본 연구에서는 중심 주파수 3MHz에서 동작하는 반사형 SAM 시스템을 구성하고 aluminum, fused-quartz, kevlar-composite 등을 대상으로 이들 샘플의 표면에서 깊이 1mm 이내에 존재하는 결함을 검출하고 그 위치를 결정함으로써 acoustic microscopy가 비파괴시험 방법의 하나로서 우수함을 보이고자 한다.

2. SAM의 동작원리

기본적으로 SAM은 낮은 F-number (0.75-1.0)를 갖는 acoustic lens 위에 변환기를 구성시킨 것이다.

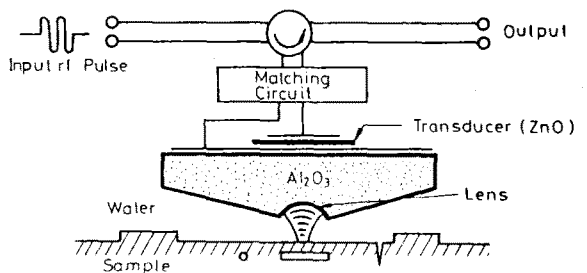


그림 1. SAM의 구조

그림 1에서 변환기는 rf 토크온 버스트로 여진되며 렌즈의 초점에 놓여진 샘플 위에 주사된다. 물과 샘플의 경계면에서 반사된 신호는 진폭검출되어 디스플레이 모니터의 명암을 변화시키는데 사용된다. 이때 모니터 위의 한 점은 샘플에 대한 변환기의 위치에 대응한다. 변환기는 기계적인 방법에 의존하여 샘플을 주사하면서 acoustic image를 발생시킨다. 반사신호의 진폭은 샘플의 극부 임피던스 값의 함수이며 acoustic beam의 초점에 있는 샘플과 렌즈 사이의 거리의 함수이다. 만일 어떤 결함이 샘플의 표면 아래에 존재하고 있다면 결함이 있는 곳에서 샘플의 임피던스는 결함이 없을 때와 다른 값을 나타내고 그 결과로서 반사신호의 진폭은 acoustic beam이 샘플을 주사할 때 변화되어 모니터의 명암을 변화시킨다. SAM의 이러한 동작모드를 바탕으로 우리는 샘플의 표면이나 표면 근처의 내부에 존재하는 결함을 검출할 수 있다. 한편으로 변환기를 초점 위치에서 샘플에 좀더 가까이 가져오므로서 SAM을 defocused mode에서 동작시키면 결함 부분을 좀더 명확히 나타낼 수 있다.

그것은 SAM 을 defocused mode 에서 동작시킬 때 변환기에 의하여 여진된 구면파의 일부 각성분들은 leaky Rayleigh wave 를 여진시키기에 알맞은 각도에서 샘플에 입사한다. 이러한 leaky Rayleigh wave 는 샘플과 상호 작용한 후에 그 에너지를 변환기를 향하여 제방사한다. 이때 leaky Rayleigh wave 와 surface skimming bulk wave 는 잘 알려져 있는 "V(z) 현상" 을 나타낸다. 4)8)이 현상은 재료의 특성을 연구하는 분야에서 이용하고 있으나 여기서는 샘플의 표면 근처 내부에 존재하는 결함을 검출하는데 역점을 두고 있으므로 취급하지 않는다. 그 대신에 leaky Rayleigh wave 는 샘플의 표면을 전파할 때 Rayleigh wave 의 한 파장 길이 만큼 샘플의 내부로 침투하므로서 일반적인 Rayleigh wave 처럼 동작한다는 성질을 이용할 것이다. 만일 어떤 결함이 샘플의 표면 아래에서 Rayleigh wave 의 한 파장거리내에 존재하고 있다면 그 결함은 leaky Rayleigh wave 와 상호작용 하므로서 출력이 변화를 줄 것이다. 즉, 초점이 결함의 위치에 맞추어 졌을 때 반사신호는 가장 강하게 나타나며 이것은 결함부분의 이미지를 좀더 명확히 보여준다.

3. 실험 결과

aluminum 과 fused - quartz 의 Rayleigh wave 속도는 3000 m/sec 정도이다. 본 연구에서는 이들 샘플의 표면에서 1 mm 내부에 존재하는 결함 검출이 목적이므로 중심 주파수 3 MHz 에서 SAM 시스템을 구성하였다. 이 주파수는 Rayleigh wave 에서 1 mm 의 파장을 만들기 때문이다. 따라서 표면파는 샘플의 표면에서 1 mm 내부에 있는 결함에 의하여 교란될 것이다. 본 실험에서는 F-number 1.0 비대역폭 50%, 왕복 삽입손실 3 dB를 갖는 변환기를 사용하였으며 이 변환기에서 렌즈의 직경은 16 mm 이고 3 dB점에서 빔의 직경은 0.5 mm 이며 최대 동작 각도는 35°이고 depth of field는 3.5 mm이었다. 연구에서 사용될 샘플은 알루미늄과 동일한 속도와 acoustic impedance 를 갖는 반면에 가공하기 쉬운 fused - quartz 를 선택하였다. 그리고 그림 2에서 처럼 quartz 를 2개의 부분으로 나누어 하나는 두께가 1 mm 되도록 하고 다른 하나는 그

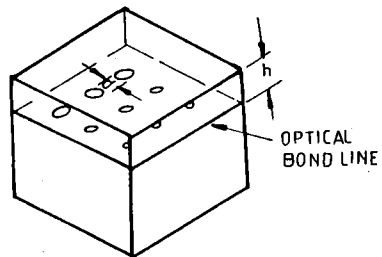


그림2. 표면 내부의 결함을 갖는 fused - quartz 의 설계도형

표면에 직경 0.2 mm 에서 1 mm 의 원형결함을 만든 후 optical bonding 기술을 이용하여 두께 1 mm 의 quartz를 그 위에 접촉시켰다. 따라서 완성된 샘플은 표면에서 깊이 1 mm 되는 곳에 여러 크기의 원형결함을 갖는 것으로 간주될 수 있다. 그림3은 그림2의 샘플을 가지고 변환기를 0 mm, 0.64 mm, 1.27 mm, 1.91 mm 만큼씩 defocused 시켰을 때 SAM 의 acoustic image 를 보여준다. 그리고 그림4는 그림3에서 0.64 mm defocus 의 경우를 확대한 것이다.

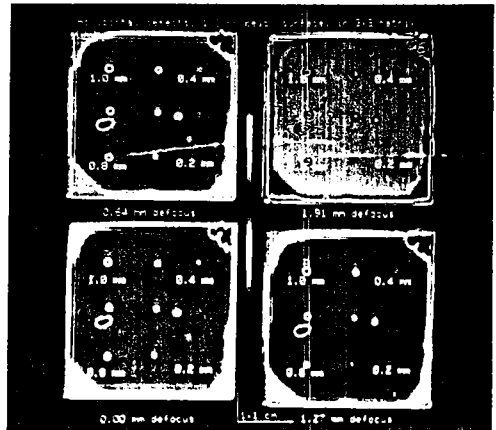


그림3. 결함을 갖고 있는 fused - quartz 에 대한 acoustic image

그림3과 그림4에서 직경 0.4 mm 이상의 결함들이 접촉 (bonding) 부분에 있는 먼지와 함께 검출됨을 볼 수 있다. 그리고 접촉부분에서 샘플의 모서리와 결함의 에지에서 접촉은 불명한 상태를 나타냄을 알 수 있다. 또한 샘플의 에지에서 straight crested fringes 와 결함의 주변에서 circular fringe 를 볼 수 있는데 이것은 샘플의 표면에서 거울 반사된 신호와 에지 또는 결함에 의하여 변환기로 제방사된 leaky Rayleigh wave 사이의 간섭의 결과이다. 이때

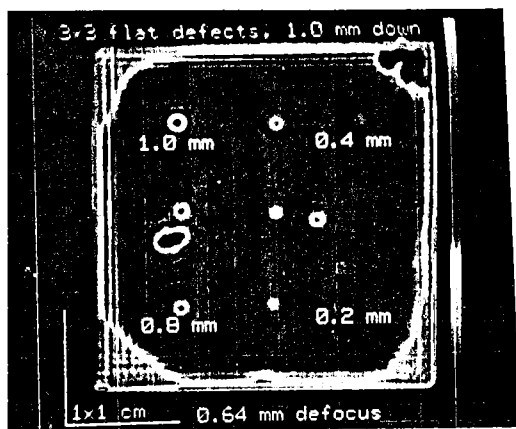
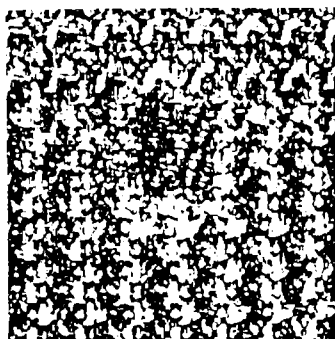


그림4. 0.64 mm defocus 에서 샘플에 대한 acoustic image

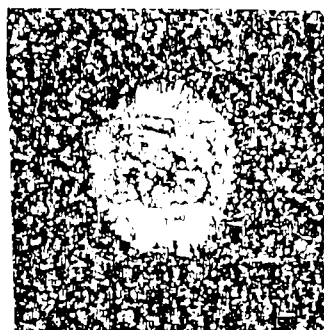
후린지 사이의 거리는 Rayleigh파장의 1/2 값이 되며 Rayleigh wave 의 속도를 계산하는데 사용될 수 있다. 여기서 주목할 점은 동작주파수에서 샘플의 표면으로 부터 거울 반사신호와 leaky Rayleigh wave 및 결함으로 부터 반사된 신호를 분리시킬 수 없다는 점이다.

그림5는 내부에 결함을 갖고 있는 kevlar-epoxy composite 를 샘플로 사용하고 변환기를 defocused mode 에서 동작시켜 가면서 결함을 조사한 것이다. 이 샘플은 acoustic impedance $3-5 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{-s}$ 와 longitudinal wave 속도 3000 m/s 정도를 갖는다. 그림5에서 변환기가 샘플의 내부에 초점을 맞출때 결함은 가장 강하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 여기서 결함은 표면에서 약 1.5 파장 길이에 있으며 우리는 3 MHz에서 동작하는 SAM 을 이용하여 결함의 위치를 결정할 수 있었다.

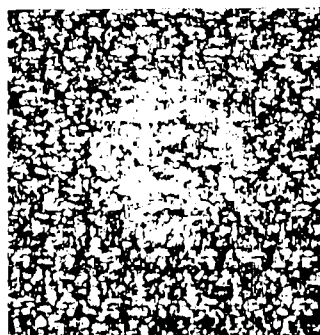
그림6은 본 실험에서 결함 검출에 사용한 SAM 시스템의 블럭선도를 보여준다.



(a) 1.0 mm defocus



(b) 2.0 mm defocus



(c) 3.0 mm defocus

그림5. 결함을 갖고 있는 kevlar - epoxy composite 에 대한 acoustic image

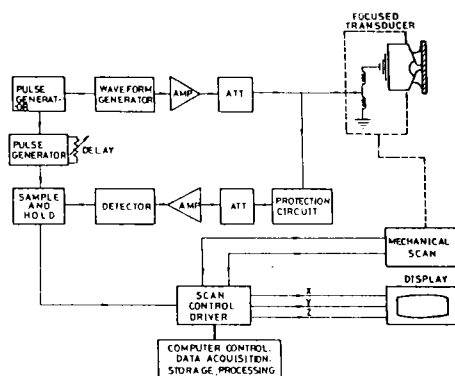


그림6. SAM 시스템의 블럭선도

4. 결 론

재료의 표면 및 내부에는 피할 수 없는 여러 결함이 있고 이들 결함은 또한 재료의 강도와 관계가 있다. 비파괴검사는 재료를 손상 혹은 파괴하는 일없이 결함과 그 상태를 파악하고 그 결과에 의해 재료의 품질을 평가하는 것을 목적으로 한다. 이에 부응하여 본 연구에서는 fused-quartz 를 샘플로 사용하여 표면에서 1 mm 길이에 인위적인 결함을 만들고 SAM 기술을 이용하여

그 결함을 검출 하였으며, 또한 SAM을 defocused mode 에서 동작시키므로써 결함의 위치를 결정 할 수 있었다. 그리고 이 실험 결과를 통하여 acoustic microscopy 는 비파괴시험 방법의 하나로서 우수한 방법임을 확인하였다. 본 연구의 결과는 금속이나 세라믹등을 가공하여 공업 제품을 만드는 일반 산업계나 특히 항공우주 분야에 서 공업의 기술적 합리화를 도모하는데 많은 활용이 기대된다.

끝으로 본 연구는 1984년도에 문교부 IBRD 교육차관에 의하여 미국 Stanford대학 Edward L. Ginzton Lab. 에서 해외 연수기간 동안에 이루어진 것으로서 문교부에게 감사드리며, 연구수행 중 많은 논의를 해주신 G.S. Kino 교수와 공동 연구를 수행한 B.T.Khuri-Yakub 교수에게 감사 드린다.

참 고 문 헌

1. R.A. Lemons and C.F. Quate, "Acoustic Microscope-Scanning Version," Appl. Phys. Lett. Vol. 24, PP. 163, 1974
2. R.A. Lemons and C.F. Quate, "Acoustic Microscope-A tool for Medical and Biological Research," in Acoustical Holography 6, PP 305, 1975
3. A. Atalar, "Aconstic Reflection Microscope," Ph.D.Dissertation, Stanford University, 1978
4. H.K. Wickramasinghe, "Contrast and Imaging Performance in the Scanning Acoustic Microscope," J.Appl. Phys, Vol. 50, PP. 664, 1979
5. C.F. Quate, et. al., " Acoustic Microscopy with mechanical Scanning-a review," Proc. IEEE, Vol 67, PP. 1092, 1979
6. R.C. Bray, et. al., " Film adhesion studies with the acoustic microscope," Thin Solid Films, Vol. 74, PP. 295, 1980
7. K. Yamanaka and Y. Enomote, "Observation of Surface Crack with Scanning Acoustic Microscope," J. Appl. Phys., Vol 53, NO.2, PP 846, 1982
8. A. Atalar, "An Angular Spectrum Approach to Contrast in Reflection or Acoustic Microscopy," J. Appl. Phys., Vol. 45, PP. 5130, 1978.