

후방산란신호에 의한 Rayleigh 파의 속도측정 및 비파괴검사.

반 천 식\* , 김 장 권 , 전 계 석  
경 의 대 학 교 전 자 공 학 과

The measurments of Rayleigh velocity and the non-destructive evaluation by using backscattering signal

Cheon-sik Ban \* , Jang-kwon Kim , Kye-suk Jun  
Kyung Hee Univ . Electronics

ABSTRACT

In this paper , Rayleigh wave velocity has been measured by detecting the backscattered signal generating near the Rayleigh critical angle in the elastic medium .

The rotating system has been made for the measurment of Rayleigh angle. It has been shown that the measured results has been good agreement with the theoretical value .

The method of non-destructive evaluation using backscattering signal has been presented and the internal of IC sample has been displayed acoustic image with good contrast

1. 서 론

탄성표면파는 1885 년 Rayleigh 경에 의해서 그 특성이 연구된 이후 전자산업분야에서 지연선, 기억소자, 필터, 변조기등과 고도의 정밀성과 안전성이 요구되는 우주, 항공, 원자로등의 비파괴분야등에서 연구가 활발히 진행되고 있다[1],[2].

탄성매질의 물리적인 특성을 결정하는 파라미터들을 정확하게 측정하는 것은 중요하며 그중에서 Rayleigh 파의 속도를 측정하는 방법은 IDT 에 의한 방법과 음향현미경 시스템에서  $V(z)$  곡선에 의한 방법등이 있으나 전자는 압전물질에 한정되고 후자의 경우 정확한 값을 얻기 위해서는 고주파수로 동작시켜야 하는 어려움이 있으므로 일반적인 경우에 적용될수 있는 속도측정방법이 요구된다. [3],[4],[5].

본 연구에서는 한개의 음향변환기를 사용하여 샘플표면에 Rayleigh 파를 여기하였고 이때 발생하는 후방산란신호를 회전시스템을 이용하여 검출함으로써 주어진 물질에 대한 Rayleigh 파의 속도를 측정하는 방법을 제시하였다 [6],[7].

후방산란신호를 이용한 비파괴검사방법을 제시하기 위해서 샘플로서 제품화된 IC 를 선택하고 그 내부를 c - scan 하여 음향이미지를 구성하였으며 그 결과를 연구분석하였다[8],[9],[10].

2. 후방산란신호에 의한 Rayleigh 파의 속도측정

초음파빔이 Rayleigh 각으로 액체-고체경계에 입사하였을때 그림2.1 과 같이 null zone 을 중심으로 기하학적으로 반사된 빔과 변위된 빔으로 나누어져서 볼로 재방사가 일어나며 이때 후방산란이 일어남을 도식적으로 보여준다.

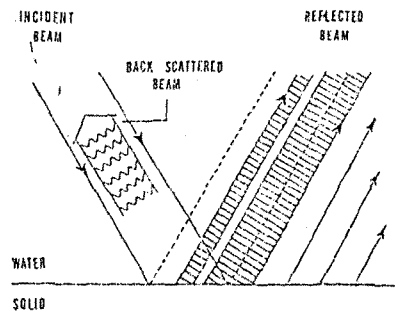


그림2.1 Rayleigh 각에서 발생하는 후방산란을 설명하기 위한 도식

본 실험에서는 한개의 음향변환기를 사용하여 후방산란신호의 진폭이 최대가 되는 각을 회전시스템에 의하여 측정함으로써  $V_R = V_L / \sin \theta_R$ 에 의해서 Rayleigh 파의 속도를 결정하였다. 여기서  $V_L$  은 물에서 종파속도이다.

Rayleigh 임계각을 측정하기 위해서 그림 2.2와 같이 물속에서 초음파 변환기와 샘플을 회전시키는 시스템이 장치되었다.

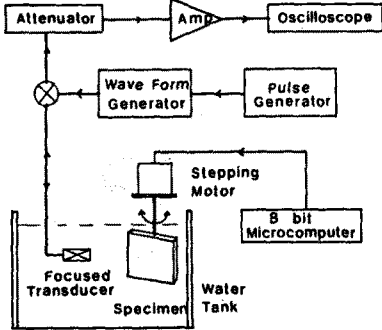


그림 2.2 Rayleigh 각을 측정하기 위한 블록 다이어그램

실험에서 사용된 회전시스템의 각도분해능은 스텝당 0.72 도였으며 8 bit microcomputer로 각도를 제어하였다. 그리고 음향변환기는 중심주파수가 5 MHz 인 curvature type 이며 초점거리 6.2 cm, 직경 13 mm 을 사용하였다.

그림 2.2에서 보여주는 바와 같이 먼저 Wave Form Generator 와 Pulse Generator 에서 5 u sec, 3 V 의 tone burst 신호를 변환기에 인가하고 스텝모터에 의해서 샘플을 회전시킨다. 샘플이 회전할때마다 샘플표면에서 반사되는 신호가 다시 변환기로 되돌아오고 이 신호는 증폭된 다음 Oscilloscope 에 나타나게 되며 반사된 신호의 진폭을 적당하도록 Manual Attenuator 로 조정한다.

실험에 사용된 샘플은 가로 x 세로 x 두께가 약 10 cm x 10cm x 1cm 인 알루미늄, 구리, 황동, 스테인레스이며 샘플표면에서 음파의 불규칙적인 산란을 방지하기 위하여 표면을 polishing 하였다.

Rayleigh 파의 각도측정방법은 먼저 샘플표면과 음향변환기가 수직이 되었을때 반사신호의 진폭이 최대가 되므로 그때의 각을 0 도로 정하고 1 스텝회전할때 마다 반사되는 진폭을 oscilloscope 을 통하여 기록하였을때 어떤 각도에 대해서 후방산란신호의 진폭이 최대가 되는 각도가 바로 Rayleigh 각을 나타낸다.

그림 2.3 은 초음파빔이 입사각의 변화에 대한 후방산란신호의 진폭을 Oscilloscope로 측정한 값을 보여주고 있다.

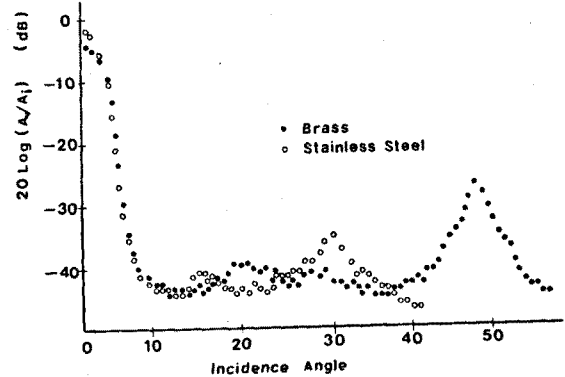
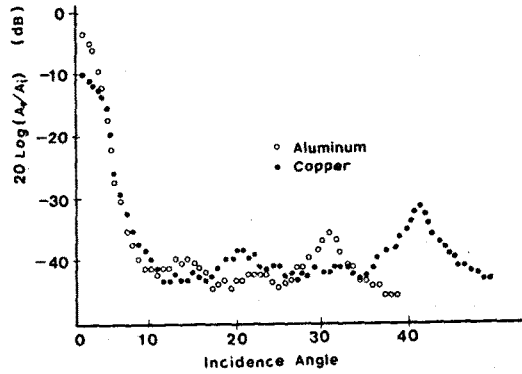


그림 2.3 후방산란신호에 의한 Rayleigh 각의 측정

알루미늄, 구리 에 대해서 후방산란신호의 진폭이 최대가 되는 각도는 각각 30.24 와 41.76 도에 해당하며 스테인레스, 황동은 각각 30.96 와 48.96 도이다. 이러한 각도는 물질에 대한 Rayleigh 각이다. 그림에서 각 점은 0.72 도에 해당되므로 점의 갯수가 각도를 나타낸다.

측정된 Rayleigh 임계각으로 부터 Rayleigh 파의 속도는 앞식에 의해서 계산되며 표 2.1 에서 이론치와 비교하였다.

Material	Measured Longitudinal and Rayleigh Wave Critical Angle		Experimental Value $V_R$ (m/sec)	Theoretical Value			
	$\theta_{CR}$			$(\rho g/cm^3)$	$V_L$	$V_S$	$V_R$
Stainless Steel	30.96		2915	7.8	5740	3126	289
Brass	48.96		1989	8.6	4350	2102	196
Aluminum	30.24		2978	2.7	6455	3125	291
Copper	41.76		2252	8.8	4700	2371	221

표 2.1 측정된 Rayleigh 임계각으로 부터 계산된 속도와 이론값과의 비교

본 실험에서 사용한 방법으로 Rayleigh 파의 속도를 측정한 결과 약 1% 오차를 갖는 좋은 결과를 얻을수 있었다.

### 3. 후방산란신호를 이용한 비파괴검사

표면 한파장 길이 이내에 그 에너지가 한정되어 전파하는 Rayleigh 파는 표면가카이에 존재하는 결함등에 대해서 강하게 산란하는 성질을 갖는다.

그림 3.1와 같이 샘플표면에 Rayleigh 파를 여기하였을때 발생하는 후방산란신호를 한개의 음향 변환기에 의해서 검출하여 비파괴검사에 응용하였으며 IC 샘플에 대하여 c-scan 음향이미지를 구성하였다.

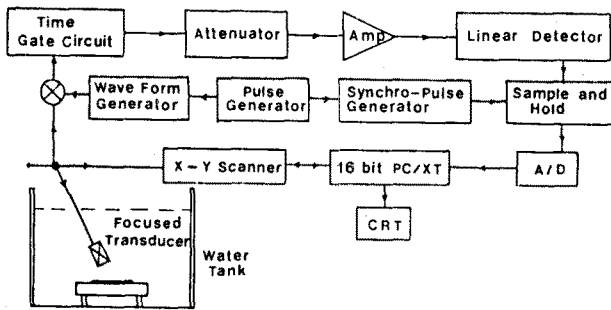
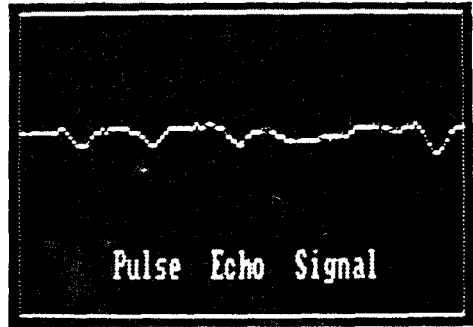


그림 3.1 음향이미지를 구성하기 위한 블록 다이어그램

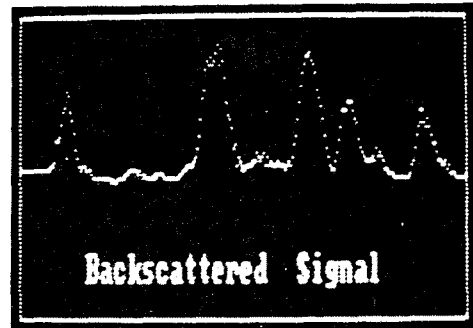
먼저 3 V, 5 u sec 의 torn burst 신호를 음향 변환기에 인가한후 Oscilloscope를 보면서 후방산란신호가 최대가 되는 각에서 변환기를 고정시킨다.

X-Y scanner 로 scan 했을때 샘플에서 반사되는 후방산란신호만을 게이트하고 Attenuator 를 거쳐서 증폭한 후에 선형검파한다. 사용된 샘플에 대해서 256 x 256 으로 sampling 하였으며 A/D 변환한 데이터를 메모리에 저장하고 CRT 에 이미지를 구성하였다.

사진 3.1은 표면가카이에 존재하는 결함에 대해서 한 line 에 걸쳐서 256 sampling 하여 얻은 전압의 진폭변화를 나타낸 것이다



(a)



(b)

사진 3.1 수직입사하였을때 샘플에서 1차 반사신호(a)와 후방산란신호(b)

사진(a)는 음파를 샘플에 수직입사했을때 샘플 표면에서 1차 반사신호의 전압크기이고 (b)는 후방산란된 신호의 전압의 크기를 나타낸다. 두 경우를 비교해 보았을때 후방산란신호가 어떤 결함등에 대해서 훨씬 더큰 진폭변화를 보여줌을 알수 있으며 이것은 contrast 가 좋은 영상을 얻을수 있음을 의미한다. 실험에서 사용된 샘플은 IC 를 선택하였으며 Rayleigh 파의 한파장 이내가 되도록 IC 패키지를 베선에서 약 0.3 mm 두께로 갈아낸 다음 표면을 매끄럽게 polishing 하였다.

사진 3.2 는 IC 샘플에 대한 후방산란신호를 c-scan 하여 얻은 음향이미지이다.

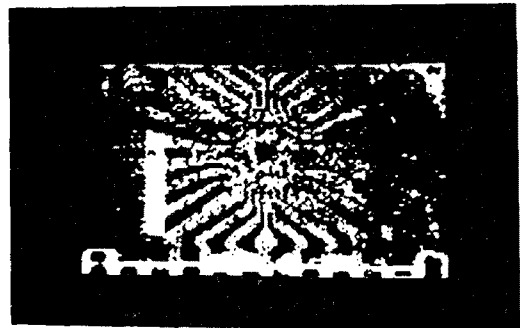


사진 3.2 후방산란신호를 이용한 음향 이미지의 구성

사진 3.2는 IC 샘플을 c - scan 한 데이터를 16 bit PC / XT 에 저장하고 이를 이미지처리 한 것인데 비교적 좋은 음향이미지를 구성할수 있음을 보여준다.

중래의 curvature type 음향변환기를 샘플에 대해서 수직하게 입사한 경우의 이미지는 초점거리가 긴것일수록 더 깊은 영역에 존재하는 결함을 검출하는데 유용한 반면 표면가카이에 있는 결함 검출에는 부적합하다. 후방산란신호를 이용한 기술은 샘플표면에 Rayleigh 파를 여기함으로써 표면가카이에 존재하는 결함등에 대해서 강하게 산란하는 성질을 이용함으로써 상당히 좋은 이미지를 제공해 준다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Rayleigh 각근처에서 발생하는 후방산란신호를 이용하여 등방성매질 또는 비등방성매질의 Rayleigh파속도를 구할수 있는 방법을 제시하였고 이것을 비파괴검사에 응용하였다.

스테인레스, 알루미늄, 구리, 황동등에 대하여 측정된 Rayleigh 파의 속도를 이론과 비교하였을때 약 1% 의 오차를 나타내었으며 회전시스템의 각도분해능을 향상시키고 샘플과 음향변환기사이의 간격을 일정하게 하여 computer에 의한 data acquisition 을 수행한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

후방산란신호를 이용한 비파괴검사는 사진3.1 (a) 에서 보여주는 바와 같이 수직입사했을때의 반사신호(b) 보다 표면가카이에 존재하는 결함등에 대해서 훨씬더 민감하며 사진3.2 와 같이 IC 샘플에 대해서 contrast 가 분명한 음향이미지를 구성할수 있음을 확인하였다.

#### 5. 참고문헌

- [1]. I.A.Viktorov , " Rayleigh and Lamé Waves " , Plenum Press , 1967.
- [2]. G.S.Kino , " Acoustic Waves : Devices, Imaging, and Analog Signal Processing " , Prentice - Hall Signal Processing Series Alan V.Oppenheim , Series Editor , 1987.
- [3]. T.Nomura , T.Yasuda , S.Shiokawa , T.Moriizumi " Precise Measurement of SAW Velocity with an Interdigital Transducer " , Ultrasonics Symposium , pp.225-228,1986.
- [4]. GS.Linang , "Material Characterization by Inversion of  $V(z)$ " , IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, Vol. SU-32, No. 2, pp.213-223,1985.
- [5]. A.Atalar, "Acoustic Reflection Microscope" , Ph.D. disertation, Stanford Univ, 1978.
- [6]. R.L.Richardson , " A New Technique for Measuring Metal Surface Properties at the Rayleigh Critical Angle " , Ultrasonics Symposium , pp. 895 - 898 , 1983.
- [7]. M. De Billy , A.Csakany , L.Adle , G.Quentin , " Excitation of Backward Ultrasonic Leaky Rayleigh and Leaky Lamb Waves " , Ultrasonics Symposium , pp. 1112-1115,1983 .
- [8]. L.Adler , K.Bolland , " The Review of Progress in Quantitative NDE " , pp. 883 - 895 , 1984.
- [9]. B.Nongailard , M.Ourak , J.M.Rouvaen , M.Houze , E.Bridoux , " A New Focusing Method for Nondestructive Evaluation by Surface Acoustic Wave " , J.Appl.Phys.55(1), 1 pp. 75-79 , January 1984 .
- [10]. A.Fahr , S.Johar , M.K.Murthy , " Surface Acoustic Wave Studies of Surface Cracks in Ceramics " , The Review of Quantitative NDE " , pp. 239 - 248 , 1984 .