

# 쿼드러춰 방식에 의한 초음파현미경의 진폭과 위상영상 분석

## The Analysis of Amplitude and Phase Image for Acoustic Microscope Using Quadrature Technique

김 현\*, 전 계 석\*  
(Hyun Kim\*, Kye Suk Jun\*)

### 요 약

본 연구에서는 쿼드러춰 방식의 초음파현미경을 구성하고 미세한 높이변화를 갖는 표면결함에 대한 진폭영상과 위상영상을 복원하여 상대적인 영상 강도의 변화와 영상의 질을 비교 분석하였다. 본 실험에서는 중심주파수가 3MHz인 focused 변환기를 사용하여 초음파현미경을 구성하고 알루미늄 재료를 선택하여 하나는 직경이 2mm이고 깊이가 100 $\mu$ m인 원형결함을 갖도록 하였고 다른 하나는 직경이 4mm이고 깊이가 5mm인 원형결함을 갖도록 시편을 제작하였으며 이들에 대한 진폭과 위상영상을 복원하였다. 결함 깊이가 100 $\mu$ m인 원형결함이 존재하는 시편에 대한 라인 스캔(line scan) 결과 상대적인 영상강도의 진폭 변동율은 7%로 미약한 반면에 위상 변동율은 89%로 커다란 변화를 나타내므로 결함에 대해서 위상영상이 우수한 콘트라스트를 보였다. 이에 비하여 결함의 깊이가 5mm인 시편에 대해서 진폭영상은 위상영상에 비하여 우수한 콘트라스트를 보이므로서 결함 깊이가 한 파장을 기준으로하여 위상영상과 진폭영상은 큰 차이를 나타내었다. 따라서 쿼드러춰 검출방식의 초음파현미경은 진폭만을 검출하는 포락선 검출기에 비해 한 파장보다 작은 높이변화를 갖는 결함의 탐상시 위상영상을 진폭영상의 상호보완적인 관계로 사용하므로서 결함의 미세 높이 변동을 효율적으로 평가 할 수 있다.

### ABSTRACT

In this study, we have constructed the acoustic microscope using quadrature technique and analyzed the relative variation of image intensity and the quality of image by reconstructing the amplitude and phase image for surface defects with tiny height variation. In this experiment, we have constructed the scanning acoustic microscope using the focused transducer with 3MHz center frequency and the quadrature detector. And we have fabricated aluminum samples with round defects whose depth is different and reconstructed the amplitude and phase images for the samples. One sample has round defects with 2mm diameter and 100 $\mu$ m depth and the other has round defects with 4mm diameter and 5mm depth. In the result of line scanning for the sample with 100 $\mu$ m round defects, it has been shown that the variation rate of amplitude image intensity is 7% and the variation rate of phase image intensity is 89%. The phase image has better contrast than amplitude image for the sample. In contrast to this, the amplitude image has better contrast than phase image for the sample with 5mm depth's defects. Accordingly there is big difference between amplitude image and phase image for depth variation of defects whose boundary is 1 wavelength. Consequently the acoustic microscope using quadrature detector can be evaluated efficiently more than using envelope detector, for detecting defects which have height variation less than 1 wavelength. And also the phase image and the amplitude image can be used for detecting defects of tiny height variation with complimentary relation.

### I. 서 론

급속한 첨단산업의 발달과 더불어서 반도체, 전자부품, 정밀소자 및 신소재 개발과 같은 산업이 급속히 성장하고 있으며 각 기업들은 생산제품의 품질관리와 고신뢰도를 통한 생산성 향상에 적극 노력하고 있다. 따라서 각

관련 산업분야에서는 생산 제품의 고신뢰도와 안전성을 확보하기 위하여 비파괴 검사 장비와 기술에 대한 필요성이 증가하고 있다. 초음파현미경(SAM: Scanning Acoustic Microscope)은 고분해능의 초음파영상을 얻을 수 있으며 기존의 광학현미경으로는 검출이 어려운 불투명한 고체의 시료 내부를 영상화 할 수 있다는 장점으로 인하여 국내 반도체 산업 분야에서는 초음파현미경 시스템이 고가임에도 불구하고 수입하여 사용되고 있는 실정이며 앞

\* 경희대학교 전자공학과  
접수일자: 1998년 11월 9일

으로 신소재, 복합재료, 및 정밀 부품 공업분야까지도 그 수요가 늘어날 것으로 예측되므로 이에 따르는 기술 개발과 장비 국산화가 시급히 요망되고 있는 실정이다. 이러한 초음파 영상처리 개념은 1949년 Sokolov에 의해 처음으로 소개되었으나<sup>1)</sup> 1970년대 초까지도 효율적인 고주파수의 초음파를 효율적으로 발생시키지 못함으로 인하여 연구가 침체되었다. 이후 반도체 기술의 발전과 더불어서 초음파현미경에 대한 연구가 활발히 진행되었고 1973년 Quate와 Lemon은 1 $\mu$ m의 분해능을 갖는 SAM (Scanning Acoustic Microscope)을 처음으로 개발하였고<sup>2)</sup> 이후에 Atalar는 펄스 에코우 방법을 이용하여 반사모드에서 동작하는 SAM을 개발하였다.<sup>3)</sup> 기존의 초음파현미경에서 영상 데이터 획득은 기계적인 스캔장치에 의해서 초음파변환기를 2차원 공간으로 이동하면서 변화하는 반사신호를 포락선 검출기와 A/D변환기로 양자화하여 획득하였다. 따라서 초음파 영상처리에 있어서 수신신호 검출 및 데이터 획득장치는 초음파 영상의 질을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 그러나 포락선 검출기는 반사신호의 진폭 정보만을 출력하기 때문에 미세한 변화, 즉 한 파장 이하의 변화를 나타내는 시료에 대한 탐상시 이에 따르는 진폭변화가 매우 작기 때문에 초음파 영상 복원시 영상의 질이 저하되었다.<sup>4)</sup> 반면에 이러한 미세한 변화에 대해서 위상은 진폭에 비하여 양적변화가 상대적으로 크게 나타난다. 위상정보를 이용한 초음파현미경은 1984년 Liang등에 의해서 개발되었으며 이는 종파와 탄성표면파의 상대적인 위상차를 이용하였다. 그러나 이 시스템은 종파와 탄성표면파의 분리가 어렵고 위상정보와 더불어 진폭정보를 동시에 획득하기가 어려웠다. 본 연구에서는 기존의 포락선 검출기에 의한 초음파현미경에서는 획득이 불가능한 위상 정보를 기존의 진폭 정보와 더불어서 동시에 획득할 수 있는 쿼드러춰 검출기에 의한 초음파현미경 구성 방법을 연구하고 실제 미세한 변화를 갖는 시편에 대해 진폭과 위상을 복원하여 상대적인 영상 강도의 변화와 영상의 질을 비교 분석한다. 쿼드러춰 검출기는 수신신호의 동위상 성분(신호의 실수부)와 쿼드러춰 성분(신호의 허수부)를 분리하여 동시에 출력하는 장치로서 수신신호의 위상 정보뿐만 아니라 기존의 포락선 검출기에서 획득한 진폭정보도 동시에 획득할 수 있다는 장점이 있다.

실험을 위하여 우선 초음파현미경에서 포락선 검출기를 쿼드러춰 검출기로 대체할 경우 발생될 수 있는 에러를 최소화하는 쿼드러춰 검출기를 설계 제작하여 초음파현미경을 구성한다. 이때 동작주파수는 3MHz가 되도록 하며 초음파변환기는 비대역폭이 45%인 변환기를 사용한다. 실험에서는 알루미늄에 대한 V(z)곡선을 획득하여 상대적인 영상강도의 변화를 비교분석하고 직경이 2mm이고 깊이가 100 $\mu$ m인 시편과 직경이 4mm이고 깊이가 5mm인 원형결함을 갖는 시편을 제작하고 이에 대해 복원된 진폭과 위상 영상을 비교하여 상대적인 영상 강도 변화와 영상의 질적변화를 분석하였다.

## II. 쿼드러춰 검출기를 이용한 초음파현미경 시스템 구성

대부분의 초음파현미경에서는 초음파변환기에 입력되는 전기적인 신호로서 톤버스트파를 여기시킨다.<sup>5)</sup> 이러한 전기적인 신호는 초음파변환기에 의해서 음향파로 변환되고 보다 큰 반사신호를 얻기 위하여 음향렌즈에 의해서 집속 되어진다. 이때 초음파변환기는 송수신기로 사용되며 피사체로부터 반사된 음향파는 다시 초음파변환기에 의해서 전기적인 신호로 변환되어 출력된다. 피사체로부터 반사된 신호는 두가지 요인에 의해서 변화하는데 첫째는 피사체의 표면의 지형학적인 변화에 의해서 반사되는 음향에너지의 양적 변화에 의한 것이고 둘째는 피사체가 갖는 음향 임피던스의 변화에 의한 것이다. 초음파변환기가 2차원적으로 원형이면서 대칭이고 피사체가 X-Y평면에 대해서 균질하면서 등방성인 경우 반사신호는 단순히 초음파변환기와 시료사이의 경로차에 의해 거리 합수로 결정되어진다. 해석을 위하여 초음파변환기에 인가하는 전기적인 톤버스트파를  $f(t)$ 라 하고  $F(\omega)$ 가  $f(t)$ 의 푸리에변환 값이라면 시료에서 반사되는 파형은 식(1)과 같이 시간지연으로 표현될 수 있다.<sup>6)</sup>

$$f(t - \Delta t) = F(\omega)e^{-i\omega\Delta t} \quad (1)$$

이때 반사파의 지연시간은 근사적으로  $\Delta t = 2D/c$ 이고 D는 초음파변환기에서 시료까지의 거리이고 c는 결합매질에서 음향속도이다. 파수  $k = 2\pi/\lambda = \omega/c$ 인 관계에서 위상  $\phi$ 는 식(2)와 같이 초음파 변환기에서 시료까지의 왕복 거리에 비례하는 관계를 갖는다.<sup>7)</sup>

$$\phi = \omega\Delta t = 2kD \quad (2)$$

만일 시료의 높이 변화가 변화하면 초음파변환기와 시료사이의 거리가 이에 대응하여 변화하므로 식(2)에서 위상이 변화하게 된다. 따라서 위상변화량  $\Delta\phi$ 는 초음파변환기와 시료사이의 거리  $\Delta D$ 에 비례하며 식(3)과 같다.

$$\Delta\phi = 2k\Delta D \quad (3)$$

이때 위상정보는  $|\Delta\phi| < \pi$ 인 제한을 가지므로 위상영상 복원시 깊이변화가 한 파장 범위로 제한된다. 쿼드러춰 검출기에 의한 초음파현미경의 데이터 획득과정을 살펴보기 위하여  $z = z_0$ 인 면에서 반사된 초음파반사신호를  $A(t)\cos(\omega t + \phi(t))$ 라고 하고 기준신호를  $\cos(\omega t + \theta)$ 라고 하자. 초음파반사신호와 기준신호를 곱하면 주파수 영역에서 두 신호의 합과 차주파수의 항의 합으로서 나타나며 식(4)와 같다.<sup>8)</sup>

$$\begin{aligned} S(t) &= A(t)\cos(\omega t + \phi(t))\cos(\omega t + \theta) \\ &= \frac{A(t)}{2}\cos(\phi(t) - \theta) + \frac{A(t)}{2}\cos(2\omega t + \phi(t) + \theta) \end{aligned} \quad (4)$$

이때  $A(t)$ 는 반사신호의 포락선값이고  $\theta$ 는 기준신호의 초기 위상각이고  $\omega$ 는 각주파수이고  $\psi(t)$ 는 위상 변화값이다. 식(4)에서 두 번째 항은 반사신호와 기준신호의 합주파수 성분인 고주파성분이므로 제거되어야 하며 저역통과필터에 의해서 제거되어진다. 식(4)에서 믹싱된 기준신호의 초기위상값인  $\theta$ 를  $0^\circ$ 와  $90^\circ$ 만큼 위상차를 주고 곱한 후 저역통과 필터를 통과시키면 식(5)와 같은 관계를 갖는다.

$$S(t)_r = \frac{A(t)}{2} \cos(\psi(t))$$

$$S(t)_i = \frac{A(t)}{2} \cos(\psi(t) - \frac{\pi}{2}) = \frac{A(t)}{2} \sin(\psi(t)) \quad (5)$$

식(5)에서 기준신호의 초기 위상이  $\theta=0^\circ$ 인 경우  $A\cos(\psi(t))$ 가 되며  $\theta=90^\circ$ 인 경우는  $A\sin(\psi(t))$ 가 되며 이는 반사신호의 복소진폭에 대한 실수부와 허수부 성분이다. 따라서 식(6)에서 각각 진폭과 위상을 구할 수 있다.

$$A(t) \propto \sqrt{S(t)_r^2 + S(t)_i^2}$$

$$\psi(t) = \tan^{-1} \left( \frac{S(t)_i}{S(t)_r} \right) \quad (6)$$

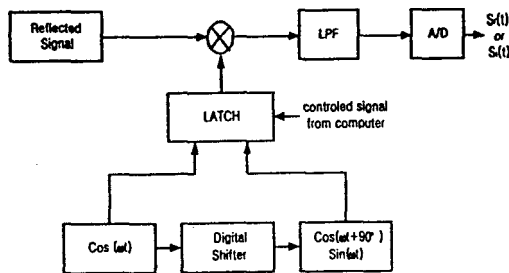


그림 1. 설계된 쿼드러춰 검출기의 블록선도  
Fig. 1. Block diagram of the designed quadrature detector.

기존의 포락선 검출기는 단일 채널로 이뤄졌기 때문에 구조가 단순하면서 공간적, 시간적으로 동기가 이뤄지면 에러가 발생하는 부분이 적었다. 이와는 달리 쿼드러춰 검출기는 실수부와 허수부가 동시에 출력되기 때문에 양자화과정에서 다중 채널을 사용한다.<sup>10)</sup> 일반적으로 쿼드러춰 검출기는 2개의 채널로 구성되며 이와같은 다중 채널의 쿼드러춰 검출기를 사용하여 초음파현미경을 구성할 시 처리 시간은 단축 할수 있다는 장점은 있으나 하드웨어 제작시 쿼드러춰 검출기를 구성하는 소자, 즉 믹서나 저역 통과 필터가 동일한 지연을 갖도록 제작하기가 매우 어려우며 다중 채널을 사용하므로 발생하는 하드웨어 낭비 및 채널사이의 위상, 진폭, A/D변환 과정에서 발생하는 지연오차등으로 인한 에러의 발생 확률이 포락선 검출기에 비하여 높다. 따라서 본 연구에서는 쿼드러춰 검출기에 사용되는 하드웨어를 최소화하면서 다중 채널에 의해 발생하는 오차를 최소화하기 위해서 단

일 채널인 쿼드러춰 검출기를 설계 제작하여 구성하였다. 그림 1은 본 연구에서 설계된 단일 채널에 의한 쿼드러춰 검출기의 블록선도이다. 그림 1에서 보면 단일 채널의 쿼드러춰 검출기는 믹서, 저역 통과필터와 초기위상을 변화시키는 위상지연기 및 컴퓨터에 의한 제어 신호와 전자스위치를 사용하여 구현된다. 디지털 위상 지연기를 사용하여 초기 위상차가  $0^\circ$ 와  $90^\circ$ 만큼 차이가 나는 두 개의 기준 신호를 Latch 에 입력하고 컴퓨터에 의한 제어 신호에 의해서 하나의 신호만 선택하도록 하였다. 이 신호는 반사신호와 믹싱된 후 저역통과 필터를 통과하여 양자화 되어진다. 양자화 작업이 끝나면 다시 다른 기준 신호를 선택하여 반복처리 된다. 한편 데이터 획득은 컴퓨터에 의한 제어 신호와 피사체의 공간적인 위치와 동기를 이뤄 순차적으로 실수부와 허수부가 획득하게 하였다. 따라서 실수부와 허수부의 채널에 의해서 발생할 수 있는 오차의 성분을 줄이면서 구성된 하드웨어의 수를 줄일 수 있었다.

III. 실험 및 고찰

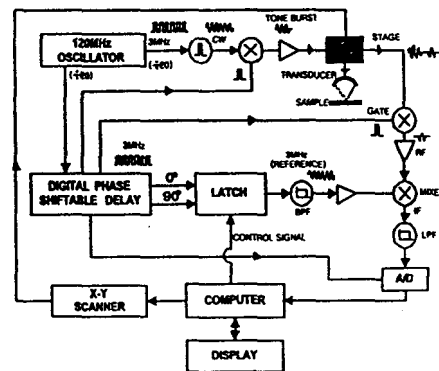


그림 2. 쿼드러춰 검출기를 이용한 초음파현미경의 블록선도  
Fig. 2. The block diagram of acoustic microscope using quadrature detector.

그림 2는 실험을 위하여 단일채널의 쿼드러춰 검출기로 구성된 초음파현미경의 블록선도를 보여주고 있다. 이때 동작주파수는 3MHz로 하였으며 초음파변환기는 비대역폭이 45%인 변환기를 사용하였다. 초음파변환기에 입력되는 톤버스트파는 120MHz의 클럭 신호를 분주시킨 후 3MHz의 대역통과 필터를 통과시켜 얻어진 CW신호를 게이트 신호와 믹싱시켜 얻었다. 톤버스트파를 위한 게이트 신호는 120MHz신호를 클럭신호로 사용하여 디지털 위상 지연기에서 의해서 얻어지며 본 시스템에서는 반사신호의 다중반사에 의한 간섭효과가 나타나는 시간을 고려하여 주기가 200µs가 되도록 설계하였다. 초음파변환기는 전기적인 신호를 음향파로 변환시키고 음향렌즈에 의해서 피사체에 집중 시켜준다. 또한 초음파변환기는 송수신기로 사용되고 있기 때문에 피사체로부터 반사된 음향신호만을 획득하기 위해서는 초음파변환기의 출력신호를 게이

트 시켜 믹서의 RF단자에 입력시킨다. 한편 기준신호는 120MHz의 신호를 클럭신호로 사용하는 디지털 위상지연기를 사용하여 0°와 90°만큼 위상지연된 두 개의 기준신호를 얻었다. 각각의 지연된 신호는 latch에 입력되고 컴퓨터에 의해서 제어되는 신호에 의해서 두 신호중 한 신호만 선택되어진다. 선택된 신호는 대역통과 필터를 통과시킨 후 믹서의 LO단자에 입력한다. 기준신호의 선택은 컴퓨터에 의해서 순차적으로 선택되어지며 이후 A/D 변환기에 의해서 순차적으로 저장 되어진다. 믹서의 출력은 식(4)에서 보여진 것처럼 고주파수 성분이 포함되어져 있으므로 저역통과 필터를 사용하여 고주파수 성분을 제거시킨다. 믹서는 동작주파수 범위가 0.05에서 150MHz인 HP사의 1053A믹서를 사용하였으며 저역통과 필터는 차단주파수가 800kHz가 되도록 설계 제작하였다. 저역통과 필터에 의해서 출력된 신호는 A/D변환기에 의해서 양자화 되어 컴퓨터에 저장된다. 피사체의 한 지점에서 반사신호의 실수부와 허수부를 얻어야 하므로 컴퓨터는 2차원적인 스캔과 기준신호의 선택 및 A/D변환기의 샘플링 신호와 동기 되도록 제어한다. 2차원 영상을 얻기 위해서는 초음파변환기를 2차원 공간적으로 이동하여야 하며 본 시스템에서는 스캔제어시스템으로 UNIDEX III A시스템을 사용하였다.

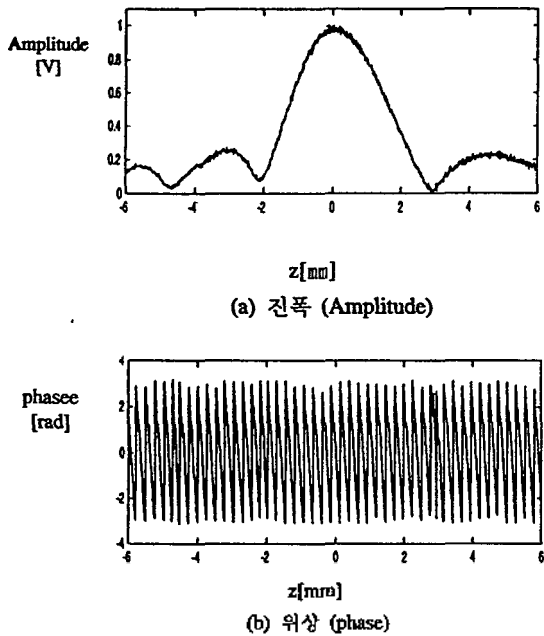


그림 3. 알루미늄에 대한 V(z)곡선  
Fig. 3. V(z) curve for aluminum.

그림 3은 알루미늄에 대한 V(z)곡선으로 쿼드러춰 검출기에 의한 초음파편미경의 출력 특성을 보여준다. 그림 3에서 V(z)곡선은 초음파변환기와 시편 사이의 거리를 매 10 $\mu$ m씩 변화시키면서 초점에 대해서 -6mm에서부터 6mm까지 변화시켜 얻었다. 그림 3 (a)와 (b)를 비교하여 초

음파변환기와 시료사이의 거리 z의 미세한 변화에 대해서 진폭의 변화에 비하여 위상의 상대적인 변화량이 크게 출력됨을 볼 수 있다. 따라서 한 파장 이하의 범위를 갖는 높이 변화에 대해서 위상의 기울기가 진폭에 비하여 급격한 경사를 나타내어 미세한 결합탐상에서는 위상이 진폭에 비하여 상대적으로 영상강도의 변화가 크게 나타남으로 위상영상의 콘트라스트가 진폭영상보다 좋게 나타날 것이다. 그러나 위상 곡선은 한 파장 이상의 범위에 대해서 불연속 되는 점이 여러 곳에 존재하므로 만일 시편의 높이변화가 한 파장의 배수범위의 차를 갖는 경우 동일한 영상 강도를 나타내므로 영상의 질을 저하시킬 수도 있다.

위의 결과를 실제 복원된 영상에서 검증하기 위하여 알루미늄을 시편으로 선택하여 표면에 깊이가 다른 두 개의 시편을 제작하여 실험하였다. 실험에서 사용된 파장은 물에서 500 $\mu$ m이며 제작된 시편은 이러한 파장을 고려하여 그림 4 파 같이 한 파장 이하의 깊이와 이상의 깊이를 갖도록 제작하였다. 본 논문에서는 편의를 위하여 이후 전자의 경우를 시편 A로 후자의 경우를 시편 B로 표기하였다.

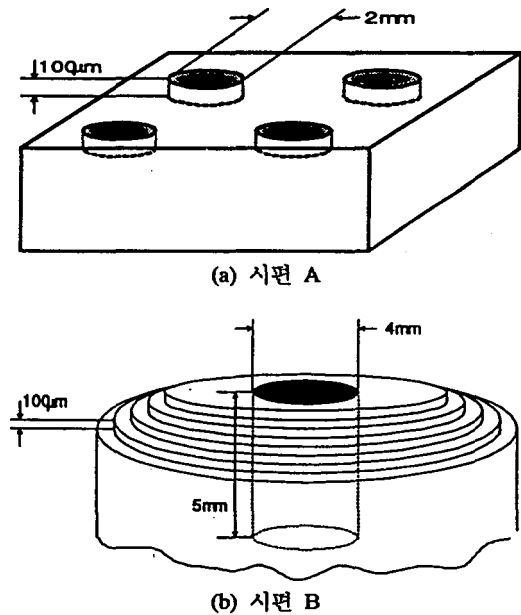
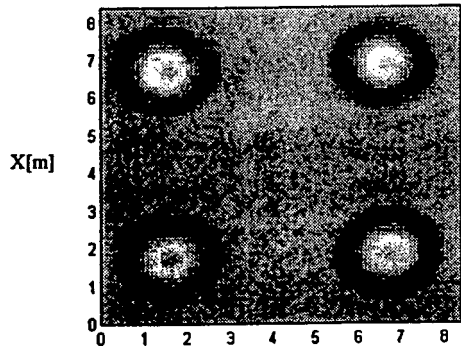


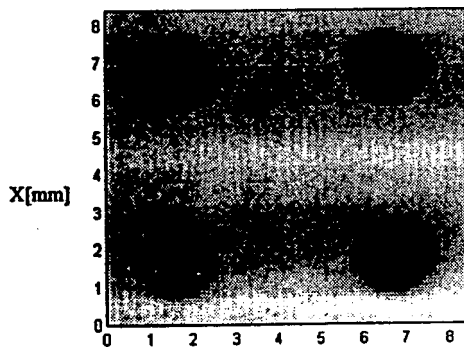
그림 4. 시편의 개략도  
Fig. 4. Schematic diagram of samples.

그림 5는 시편 A에 대한 진폭과 위상영상을 보여주고 있다. 이때 영상의 필드는 8.5mm $\times$ 8.5mm이며 픽셀과 픽셀사이의 간격은 100 $\mu$ m로 하였다. 진폭과 위상 영상을 비교하여 보면 진폭의 영상에서는 실제 결합형태와는 다른 환 형태가 보여지고 있으며 원형미의 내부와 외부의 색깔이 비슷하게 나타나 영상강도의 차가 작게 나타나고 있다. 이는 결합의 경계면에서 산란으로 인한 영상 강도의 변화는 크게 나타난 반면 실제 시편의 미세한 변화에

대해서는 거의 유사한 영상 강도를 나타냈기 때문이다. 반면에 위상영상은 실제의 결함 형태와 같은 홀모양의 모습을 나타내고 있다.



(a) 진폭 영상



(b) 위상 영상

그림 5. 시편 A에 대한 진폭과 위상영상  
Fig 5. Amplitude and phase image for sample A.

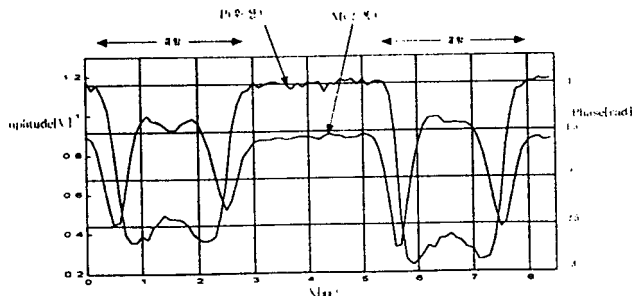
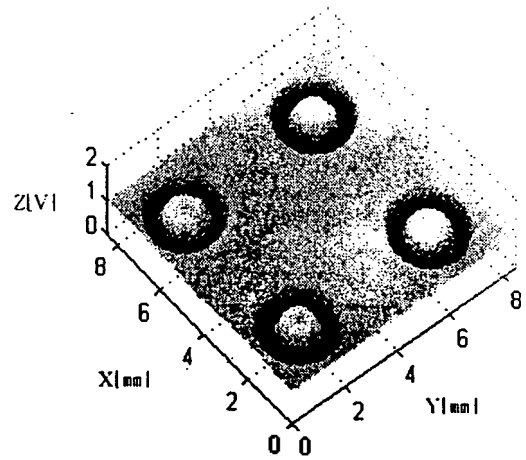


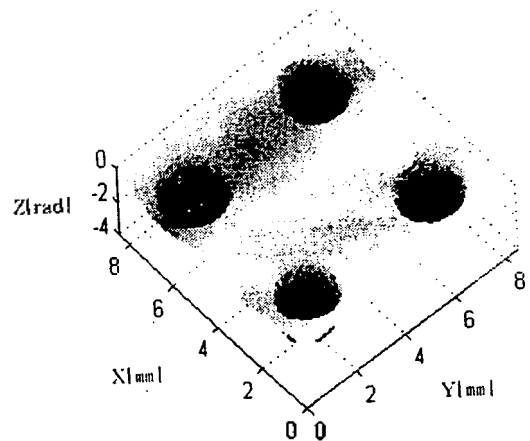
그림 6. 시편 A에 대해 라인스캔 얻어진 진폭과 위상곡선  
Fig. 6. Amplitude and phase curve obtained by line scanning for sample A.

그림 6은 진폭과 위상의 상대적인 영상강도의 변화를

분석하기 위하여 시편 A를 라인 스캔하여 얻어진 진폭과 위상의 곡선이다. 그림 6에서 M는 진폭변화를 나타낸 곡선이고 P는 위상변화를 나타낸 것이다. 결함은 0.5에서 2.5mm부근과 5.5에서 7.5mm부근에서 두 개의 결함이 존재하고 있다. 진폭변화는 결함의 경계면에서 산란으로 인하여 변화가 크게 나타나고 있으나 실제 결함의 높이변화에 대해서는 상대적인 변화가 7%로 매우 작게 나타난 반면에 위상은 89%로 나타나 위상이 진폭보다 민감함을 보였다. 따라서 미세한 변화를 갖는 시편에 대한 초음파 영상 복원시 위상영상의 결함의 형태를 유지하면서 우수한 영상 콘트라스트를 보였다.



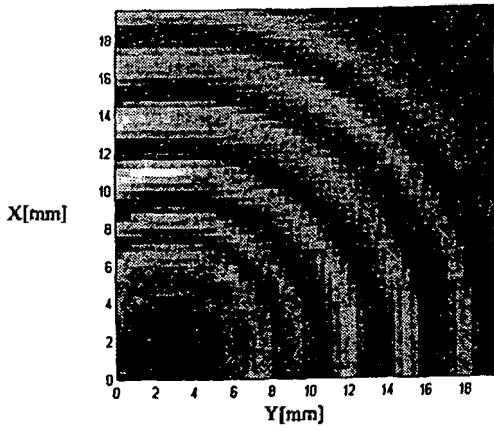
(a) 진폭 mesh 영상



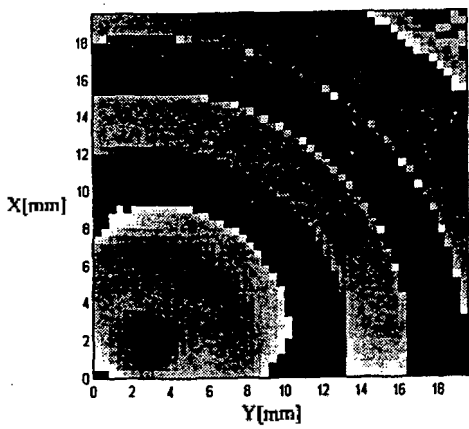
(b) 위상 mesh 영상

그림 7. A시편에 대한 진폭과 위상 mesh영상  
Fig. 7. Amplitude and phase mesh image for sample A.

그림 7은 mesh형태로 그려진 진폭과 위상영상으로 위상영상이 제작된 결함과 같은 모양이 잘 나타나 진폭영상보다 우수한 영상을 제공함을 알 수 있다.



(a) 진폭영상



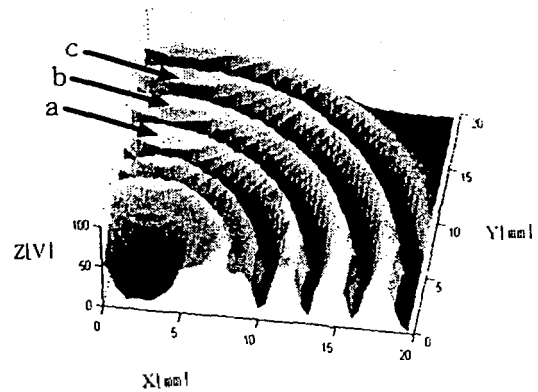
(b) 위상영상

그림 8. 시편 B에 대한 진폭과 위상영상  
Fig. 8. Amplitude and phase image for sample B.

그림 8은 시편 B에 대한 진폭과 위상영상으로 영상필드는  $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 로 하였으며 픽셀간의 간격은  $400\mu\text{m}$ 로 하였다. 그림 11에서 보면 진폭의 경우 중앙에 존재하는 한 파장 이상의 깊이를 갖는 결함에 대해서 진폭 영상의 경우가 위상영상의 경우 보다 좋은 콘트라스트를 보여주고 있다. 그러나 결함 주위에  $100\mu\text{m}$ 의 높이 변화를 갖는 계단면에 대해서는 시편 A에서 보여진 영상과 동일하게 환(ring)형태를 보여주고 있다. 반면에 위상은 높이의 변화가 한 파장 이하인 두 층사이에는 영상 강도의 차가 확연히 구분된 반면 그 이상인 경우는 영상 강도가 유사한 값을 나타내었다. 이는 그림 10에서 나타난 mesh 영상에서 보다 극명하게 나타나고 있다.

그림 9에서 진폭과 위상 영상을 비교하여 보면 한 파장 이상의 깊이를 갖는 영역에서 진폭 영상은 보다 결함의 형태가 잘 나타난 반면  $100\mu\text{m}$ 의 높이차가 존재하는 계단면인 a, b, c에 대해서 진폭의 경우는 유사한 영상 강도를 나타내어 계단면의 차를 구분하지 못하고 단지 경계부분에서만 산란으로 인하여 굴 모양이 나타났다. 위

상에서는 한 파장 이하인 d와 e 계단면에 대해서 영상 강도의 차가 매우 크게 나타났으며 계단 모양을 나타냈다. 반면에 한 파장 이상이 되는 d와 f 계단면에 대해서 유사한 영상강도 값을 나타내어 그림 3에서 분석된 결과를 일치함을 알 수 있었다.



(a) 진폭 mesh 영상

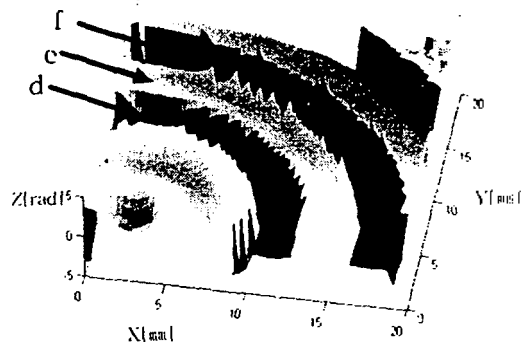


그림 9. 시편 B에 대한 진폭과 위상 mesh영상  
Fig. 9. Amplitude and phase mesh image for sample B.

#### IV. 결론

기존의 초음파현미경은 수신신호 검출 장치로서 포락선 검출기를 사용하기 때문에 위상 정보는 무시되어졌다. 그러나 이러한 포락선 검출기는 진폭 정보만을 출력하기 때문에 기존의 초음파현미경에서 미세 높이변화를 갖는 시료를 탐상하는 경우 영상 강도의 상대적인 변화가 작게 나타나 복원된 영상의 질이 저하되었다. 따라서 본 연구에서는 위상 검출이 가능하면서도 동시에 진폭도 검출이 가능한 쿼드러춰 검출기를 이용한 초음파현미경 구성하였으며 미세한 높이변화가 존재하는 결함이 존재하는 알루미늄 시편을 제작하여 진폭과 기존의 초음파현미경에서는 얻을 수 없었던 위상 영상을 복원하였다. 또한 복

원된 진폭과 위상 영상을 비교하여 영상 강도의 상대적인 변화와 영상의 질을 분석하였다. 쿼드러춰 검출기는 반사신호의 실수부와 허수부를 분리하여 출력하는 장치로서 일반적으로 다중 채널로 출력된다. 그러나 다중 채널의 쿼드러춰 검출기는 실제 제작시 믹서, 저역통과 필터가 동일한 지연을 갖도록 제작하기가 매우 어려우며 다중 채널로 인한 하드웨어의 낭비 및 채널사이에 경로 차에 의한 위상, 진폭, A/D변환시 발생하는 지연오차등으로 인하여 에러의 발생 확률이 커졌다. 따라서 본 연구에서는 단일 채널의 쿼드러춰 검출기를 설계하여 기존의 포락선 검출기를 쿼드러춰 검출기로 대체하여 초음파현미경을 구성하였다. 이때 초음파현미경의 동작주파수를 3MHz로 하여 구성하였고 초음파변환기는 비대역폭이 45%인 변환기를 사용하였다.

알루미늄에 대한 초음파현미경의 출력 곡선인  $V(z)$  곡선을 분석한 결과 위상은 진폭에 비하여 급격한 기울기를 갖고 있기 때문에 미세한 결함 변화에 대해서 초음파영상을 복원 할 시 진폭에 비하여 영상 강도 변화가 상대적으로 크게 변화되기 때문에 우수한 영상 콘트라스트를 나타낼 수 있다. 이를 검증하기 위하여 파장을 고려하여 알루미늄의 표면에 결함 깊이가 100 $\mu$ m과 5mm인 두 개의 시편을 제작하여 진폭과 위상 영상을 복원하여 비교하였다. 실험결과 100 $\mu$ m의 변화에 대해서 진폭은 상대적인 영상강도의 변화율이 7%로 나타난 반면 위상은 89%로 나타났으며 또한 복원된 영상에서 진폭은 결함의 미세한 변화에 대해서 유사한 영상 강도를 보임으로 인하여 실제 결함의 형태와는 다른 형태를 나타내었다. 반면에 위상은 동일 시편에 대해서 실제 제작된 결함의 형태인 구멍(hole) 형태를 나타내면서 상대적인 영상강도변화가 크게 나타나 진폭영상에 비하여 영상의 질이 우수하게 나타났다. 한편 결함의 깊이가 5mm인 시편에 대해서는 진폭영상이 위상영상에 비하여 좋은 콘트라스트를 나타내었다. 따라서 진폭과 위상 영상은 한 파장을 기준으로 하여 영상 콘트라스트가 크게 변화되어 영상의 질적 변화가 크게 나타났으며 따라서 미세한 결함에 대한 결함 탐상에서 쿼드러춰 검출기에 의한 초음파현미경을 이용할 시 진폭과 위상을 상호 보완적으로 활용한다면 기존의 포락선 검출기의 단점을 보완하는 유용한 비파괴검사 장비로서 활용이 기대되어진다.

참고문헌

1. Sokolov, S.Y., Dokl. Akad. Nauk.SSR 64, p333, 1949
2. Lemons, R. A., & C. F Quate, "Acoustic Microscopy Scanning", Appl. Phys. Lett.24, p163, 1974
3. A. Atalar, "Acoustic reflection microscope", Ph. D. dissertation, Standford Univ., 1978
4. L. W. Kessler and D. E. Yuhas, "Acoustic Microscopy-1979", Proc. IEEE, Vol. 67, No.4, pp526-536, 1979
5. 고대식, 문건, 전계석, 황금찬, "저주파수대 음향현미경

- 의 구성과 그 응용에 관한 연구", 대한공학회지 25권 5호, pp. 108-113, 1988
6. A. V. Oppenheim, "Signal and system", Prentice-Hall, 1983
7. K. Liang, " Precision Phase Measurement in Acoustic Microscopy", Ph. D. dissertation, Standford Univ., 1985
8. G. S. Kino, "Acoustic waves", Prentice-Hall, 1987
9. 전용옥, "통신시스템의 이론과 원리", 화중당, 1989
10. S. Haykin, "Communication system", Wiley, pp79-99, 1994

▲김 현(Hyun Kim)

1968년 2월 8일생



1990년 2월 : 경희대학교 전자공학  
과(공학사)  
1992년 2월 : 경희대학교 전자공학  
과(공학석사)  
1992년 2월 ~ 현재 : 경희대학교 전  
자공학과 박사과정  
※주관심분야: 비파괴검사, 초음파  
신호처리 및 영상처리, 광-현미  
경, 안테나동임

▲전 계 석

한국음향학회지 14권 6호 참조