

STAM 토모그래픽 영상의 분해능 해석

An Analysis on the Resolution of Tomographic Images in STAM

황기환*, 고대식**, 진계석***

(Ki-Hwan Hwang*, Dae-Sik Ko**, Kye-Suk Jun***)

※본 연구는 1996-1997년도 한국과학재단의 핵심연구과제 연구비 지원에 의해 연구되었음.

요약

본 논문에서는 음향-광 효과를 이용한 STAM 시스템으로부터 얻을 수 있는 토모그래픽 영상의 분해능을 해석하였다. 이를 위하여 BFP 토모그래픽 복원 알고리즘을 이용하여 초음파변환기 회전장치와 시료 회전장치에 대한 측방향과 측방향 분해능을 해석하였다. Matlab을 이용한 분석결과, 측방향 분해능은 두 회전장치 모두 약 1.5 파장 정도로 좋은 분해능을 나타내었다. 측방향 분해능은 시료 회전장치인 경우 x와 y방향에서 0.53 파장의 동일한 분해능을 보였으며 초음파변환기 회전장치인 경우에는 x와 y방향에서 각각 0.56 및 0.70 파장의 분해능을 나타내었다. 결과적으로 STAM 시스템은 시료 회전장치를 사용할 때 더 좋은 분해능을 얻을 수 있음을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we analyzed the resolution of tomographic images which can be obtained with Scanning Tomographic Acoustic Microscope(STAM) utilizing the acousto-optic effect. To realize this, lateral and depth resolutions of both ultrasonic transducer and specimen rotating device are obtained by using BFP tomographic reconstruction algorithm. Simulation results show that both rotating devices have a good depth resolution of 1.5λ . For the lateral resolution, the specimen rotating device produces 0.53λ in the x and y directions and the transducer rotating device produces 0.56λ and 0.70λ in the x and y directions respectively. These results imply that the specimen rotating device is more suitable for STAM system construction.

I. 서론

최근 반도체 산업분야를 비롯한 첨단 산업분야에서 미세한 박막소자들에 대한 신뢰성과 품질관리를 위하여 더욱 정밀하게 분석을 할 수 있는 비파괴검사 장비에 대한 필요성이 더욱 절실히 요구되고 있다. 초음파현미경은 비파괴검사분야, 의용분야, 반도체산업분야, 우주항공분야 등에서 광학적으로 불투명한 고체의 표면근처나 내부를 영상처리 할 수 있는 유용한 도구로 1970년대 개발되어 널리 이용되고 있으나 실시간 영상처리가 불가능한 단점이 있었다[1-3]. 한편 SLAM(Scanning Laser Acoustic Microscope)은 매질내에 존재하는 미세결함을 실시간에 영상처리할 수 있는 비파괴 검사장비로 1970년대 말에

Kessler에 의해 개발되었다[4-5]. SLAM은 수신부에 레이저를 이용함으로써 초음파성분의 회절현상으로 인한 분해능의 저하를 개선시켰으나 다층 박막구조물에 대해서는 중첩현상을 제거시킬 수 없으므로 각 층에 대한 정확한 영상정보를 얻을 수 없는 단점이 있다.

STAM(Scanning Tomographic Acoustic Microscope)은 기존의 SLAM 시스템에 진폭과 위상정보를 동시에 검출할 수 있는 쿼드러처검출기(Quadrature Detector)와 토모그래픽 데이터 획득을 위한 초음파변환기 회전장치 또는 시료 회전장치를 추가한 다음 토모그래픽 복원 알고리즘에 적용시킴으로써 복잡한 구조물뿐만 아니라 다층 박막 구조물에 대한 각 층의 분리된 영상을 복원할 수 있는 토모그래픽 영상시스템이다[6-8].

본 논문에서는 STAM으로부터 얻을 수 있는 토모그래픽 영상에 대한 측방향 분해능과 측방향 분해능을 해석하기 위하여 STAM의 초음파변환기 회전장치 및 시료 회전장치의 기하학적 구조로부터 음향장의 분포를 구하

*경희대학교 공과대학 전자공학과 박사과정

**독원대학교 이공대학 전자공학과 부교수

***경희대학교 공과대학 전자공학과 교수

접수일자: 1996년 8월 29일

고 이를 BFP(back-and-forth propagation) 토모그래피 복원 알고리즘에 적용하여 분해능 함수를 유도하였다. STAM 시스템의 분해능을 정량적으로 확인하기 위하여 Matlab 을 이용하여 두가지 회전 장치에 대한 측방향 및 축방향의 진폭분포를 구하고 입사각에 따른 STAM 시스템의 분해능을 상호 비교분석하였다.

II. STAM에서 토모그래피 영상의 분해능

토모그래피 영상 복원에 필요한 데이터를 획득하기 위하여 초음파를 여러각도로 입사시키는 투사방법이 필요하다. 이를 위하여 STAM에서는 그림 1의 초음파변환기 회전장치 또는 그림 2의 시료 회전장치를 이용한다.

2-1. 초음파변환기 회전장치에 대한 분해능

초음파변환기를 y축을 둘레로 회전시키는 STAM 시스템으로부터 얻을 수 있는 토모그래피 영상에 대한 측방향과 축방향의 분해능을 분석하기 위하여 그림 1처럼 시료내부에 다른 투과율을 가지는 임의의 (x₀, y₀; z₀)점을 이용한다.

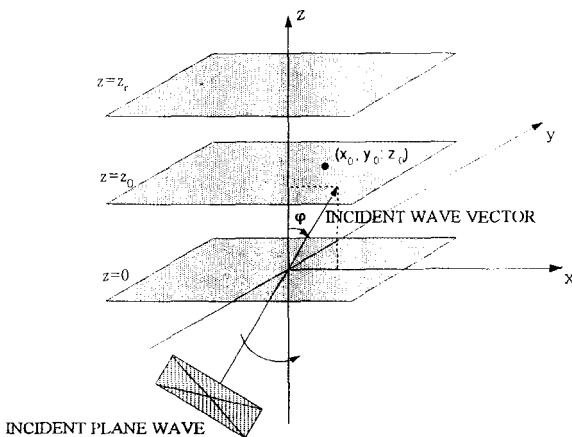


그림 1. 초음파변환기 회전장치의 점산란자 좌표계
Fig 1. A point scatterer of ultrasonic transducer rotating device

시료에 평면파를 입사시키는 경우, z = z_r에 수신된 성분은 시료를 투과한 입사 평면파와 점산란자에 의해 발생한 구면파성분이다. 따라서 점산란자에 대한 정보는 구면파만 가진다. 그림 1의 z=0에서 입사파성분은 다음과 같다.

$$u_{\phi}(x, y; 0) = U_0 e^{j \frac{2\pi}{\lambda} x \sin \phi} \quad (1)$$

여기서 U₀는 진폭이고, λ는 초음파의 파장이다. 같은 방법으로 z = z₀의 점산란자에 도달하는 입사파성분을 구하면 다음과 같다.

$$u_{\phi}(x_0, y_0; z_0) = U_0 e^{j \frac{2\pi}{\lambda} (x_0 \sin \phi + z_0 \cos \phi)} \quad (2)$$

그러므로 점산란자에 의해 발생한 구면파의 공간주파수 스펙트럼은 다음과 같다.

$$U_{\phi}(f_x, f_y; z_0^+) = \sigma U_0 e^{j \frac{2\pi}{\lambda} (x_0 \sin \phi + z_0 \cos \phi)} e^{-j 2\pi (f_x x_0 + f_y y_0)} \quad (3)$$

여기서 위상 e^{-j2π(f_xx₀ + f_yy₀)}는 점산란자를 (x₀, y₀)점에 대한 임펄스함수로 표현할 수 있다는 사실에 근거한 것이다. 같은 방법으로 z = z_r에서 수신된 파의 공간주파수 스펙트럼은 다음과 같이 표현할 수 있다[9].

$$U_{\phi}(f_x, f_y; z_r) = \sigma U_0 e^{j \frac{2\pi}{\lambda} (x_0 \sin \phi + z_0 \cos \phi)} e^{-j 2\pi (f_x x_0 + f_y y_0)} e^{j \frac{2\pi}{\lambda} (z_r - z_0) \sqrt{1 - \lambda^2 f_x^2 - \lambda^2 f_y^2}} \quad (4)$$

그러므로 수신된 파의 성분은 다음과 같다.

$$u_{\phi}(f_x, f_y; z_r) = \int_R \int U_{\phi}(f_x, f_y; z_r) e^{j 2\pi (f_x x + f_y y)} df_x df_y \quad (5)$$

여기서 적분영역 R은 f_x² + f_y² < 1/λ² 이다. 복원된 영상의 공간분포는 PSF(point-spread function)이므로 점산란자에 대한 분포를 조사하기 위해 z = z₀ + Δz로 후방향으로 전파되는 파의 공간주파수 스펙트럼을 구한 후 후방향 전파성분을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} u_{\phi}(x, y; z_0 + \Delta z) &= \int_R \int U_{\phi}(f_x, f_y; z_0 + \Delta z) e^{j 2\pi (f_x x + f_y y)} df_x df_y \quad (6) \\ &= \int_R \int \sigma U_0 e^{j \frac{2\pi}{\lambda} (x_0 \sin \phi + z_0 \cos \phi)} e^{j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta z \sqrt{1 - \lambda^2 f_x^2 - \lambda^2 f_y^2}} \\ &\quad e^{j 2\pi (f_x (x - x_0) + f_y (y - y_0))} df_x df_y \end{aligned}$$

한편, 소스로부터 (x₀ + Δx, y₀ + Δy; z₀ + Δz)로 전방향으로 입사된 전방향 전파성분은 다음과 같다.

$$u_{\phi}(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y; z_0 + \Delta z) = U_0 e^{j \frac{2\pi}{\lambda} [(x_0 + \Delta x) \sin \phi + (z_0 + \Delta z) \cos \phi]} \quad (7)$$

입사파의 전방향 전파성분과 수신파의 후방향 전파성분을 BFP 토모그래피 복원 알고리즘[7]에 대입하여 점에 대한 공간분포를 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\hat{i}(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y; z_0 + \Delta z) \quad (8)$$

$$\frac{\int_{-\theta}^{\theta} \int_R \int_0^{\Delta z} U_0 U_0^* e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (\Delta x \sin \phi + \Delta z \cos \phi)} e^{j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \sqrt{1 - \sin^2 \phi - \sin^2 \theta}} e^{j 2\pi (f_x \Delta x + f_y \Delta y)} df_x df_y d\phi}{\int_{-\theta}^{\theta} U_0 U_0^* d\phi}$$

$$= \frac{\sigma}{2\theta} \int_{-\theta}^{\theta} e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (\Delta x \sin \phi + \Delta z \cos \phi)} d\phi \int_R \int_0^{\Delta z} e^{j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \sqrt{1 - \sin^2 \phi - \sin^2 \theta}} e^{j 2\pi (f_x \Delta x + f_y \Delta y)} df_x df_y$$

따라서 초음파변환기 회전장치를 이용하여 투사시킨 경우의 모호함수(ambiguity function) $g(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \theta)$ 는 다음과 같다.

$$g(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \theta)$$

$$= K \frac{1}{2\theta} \int_{-\theta}^{\theta} e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (\Delta x \sin \phi + \Delta z \cos \phi)} d\phi \int_R \int_0^{\Delta z} e^{j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \sqrt{1 - \sin^2 \phi - \sin^2 \theta}} e^{j 2\pi (f_x \Delta x + f_y \Delta y)} df_x df_y$$

$$= K g_1(\Delta x, \Delta z, \theta) g_2(\Delta x, \Delta y, \Delta z) \quad (9)$$

여기서 K 는 정규화상수 $g(0, 0, 0, \theta) = 1$ 이고 $g_1(\Delta x, \Delta y, \theta)$ 는 토모그래피 복원인자로써 θ 에 의존하지만, 홀로그래피 복원인자 $g_2(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 는 θ 에 무관하다. 그러므로 축방향에 대한 모호함수는 식(9)에 $\Delta z = 0$ 를 대입하여 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$g(\Delta x, \Delta y, 0, \theta) = K g_1(\Delta x, 0, \theta) g_2(\Delta x, \Delta y, 0) \quad (10)$$

여기서

$$g_1(\Delta x, 0, \theta) = \frac{1}{2\theta} \int_{-\theta}^{\theta} e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \sin \phi} d\phi$$

$$= J_0\left(\frac{2\pi \Delta x}{\lambda}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2n\theta)}{n\theta} J_{2n}\left(\frac{2\pi \Delta x}{\lambda}\right) \quad (11)$$

$$g_2(\Delta x, \Delta y, 0) = \int_R \int_0^{\Delta z} e^{j 2\pi (f_x \Delta x + f_y \Delta y)} df_x df_y$$

$$= \left(\frac{1}{\lambda}\right)^2 \frac{2\pi J_1(A_{xy})}{A_{xy}} \quad (12)$$

$A_{xy} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$, J_n 은 n 차 제1종 Bessel 함수이다.

또한, 축방향에 대한 모호함수는 식(9)에 $\Delta y = 0, \Delta x = 0$ 를 각각 대입하여 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$g(\Delta x, 0, \Delta z, \theta) = K g_1(\Delta x, \Delta z, \theta) g_2(\Delta x, 0, \Delta z) \quad (13)$$

여기서

$$g_1(\Delta x, \Delta z, \theta) = \frac{1}{2\theta} \int_{-\theta}^{\theta} e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (\Delta x \sin \phi + \Delta z \cos \phi)} d\phi$$

$$= J_0(A_{xz}) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin(n\theta)}{n\theta j^n} J_n(A_{xz}) \cos(n\alpha) \quad (14)$$

$$g_2(\Delta x, 0, \Delta z) = \int_R \int_0^{\Delta z} e^{j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \sqrt{1 - \sin^2 \phi - \sin^2 \theta}} e^{j 2\pi f_y \Delta y} df_x df_y \quad (15)$$

$$\text{그리고 } g(0, \Delta y, \Delta z, \theta) = K g_1(0, \Delta z, \theta) g_2(0, \Delta y, \Delta z) \quad (16)$$

여기서

$$g_1(0, \Delta z, \theta) = \frac{1}{2\theta} \int_{-\theta}^{\theta} e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta z \cos \phi} d\phi$$

$$= J_0\left(\frac{2\pi \Delta z}{\lambda}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin(n\theta)}{n\theta j^n} J_n\left(\frac{2\pi \Delta z}{\lambda}\right) \quad (17)$$

$$g_2(0, \Delta y, \Delta z) = \int_R \int_0^{\Delta z} e^{j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \sqrt{1 - \sin^2 \phi - \sin^2 \theta}} e^{j 2\pi f_y \Delta y} df_x df_y \quad (18)$$

$A_{xz} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\Delta x^2 + \Delta z^2}$, $\alpha = \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta z}$ 이다.

2-2. 시료 회전장치에 대한 분해능

STAM에서 사용되는 또하나의 투사방법은 초음파변환기 대신에 시료를 z축 둘레로 회전시키는 장치이며 시료회전으로 인한 좌표만 변환시켜주면 초음파변환기를 z축으로 회전시키는 장치와 동일한 데이터를 얻을 수 있다. 앞 절과 마찬가지로 시료 회전장치에 대한 토모그래피 영상의 분해능을 구하기 위하여 그림 2을 이용한다.

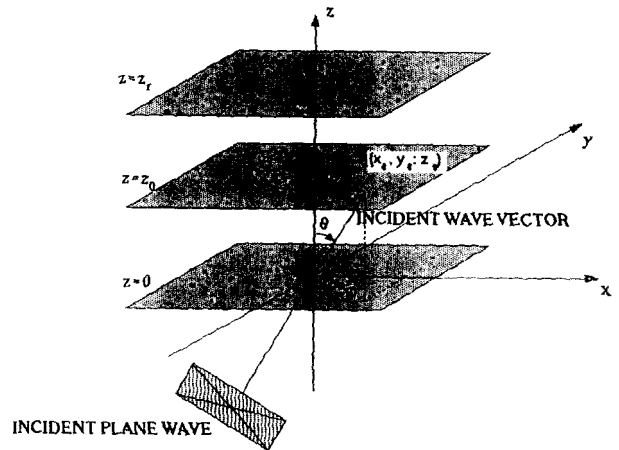


그림 2. 시료 회전장치의 점산란자 좌표계
Fig. 2. A point scatterer of specimen rotating device

그림 2의 $z = z_0$ 에 있는 점산란자에 도달하는 입사파 성분은 다음과 같다.

$$U_p(x_0, y_0, z_0) = U_0 e^{j \frac{2\pi}{\lambda} (x_0 \sin \theta \cos \phi + y_0 \sin \theta \sin \phi + z_0 \cos \theta)} \quad (19)$$

여기서 θ 는 고정된 초음파 입사각, φ 는 시료의 회전각이다. 시료 회전장치의 점산란자에 대한 입사파의 전방향 전파성분과 수신파의 후방향 전파성분을 초음파변환기 회전장치의 식(1)~(7)과 동일한 과정으로 구하여 BFP 토모그래픽 복원 알고리즘에 대입하면 시료 회전장치를 이용한 경우의 점에 대한 공간분포를 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\hat{t}(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y, z_0 + \Delta z) \tag{20}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\int_0^{2\pi} \int_R \int \sigma U_0 U_0^* e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} \Psi} e^{j\frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \sqrt{1 - \lambda^2 f_x^2 - \lambda^2 f_y^2}} e^{j2\pi(f_x \Delta x + f_y \Delta y)} df_x df_y d\varphi}{\int_0^{2\pi} U_0 U_0^* d\varphi} \\ &= \frac{\sigma}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} \Psi} d\varphi \int_R \int e^{j\frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \sqrt{1 - \lambda^2 f_x^2 - \lambda^2 f_y^2}} \\ &\quad e^{j2\pi(f_x \Delta x + f_y \Delta y)} df_x df_y \end{aligned}$$

여기서 $\Psi = (\Delta x \cos \varphi + \Delta y \sin \varphi) \sin \theta + z \cos \theta$ 이다. 따라서 시료 회전장치를 이용한 경우의 모호함수 $g_c(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \theta)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} g_c(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \theta) &= K_c \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} \Psi} d\varphi \int_R \int e^{j\frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \sqrt{1 - \lambda^2 f_x^2 - \lambda^2 f_y^2}} \\ &\quad e^{j2\pi(f_x \Delta x + f_y \Delta y)} df_x df_y \\ &= K_c g_{1c}(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \theta) g_2(\Delta x, \Delta y, \Delta z) \end{aligned} \tag{21}$$

여기서 첨자 c 는 회전을 나타내고 K_c 는 정규화상수이다. 시료 회전장치의 측방향에 대한 모호함수는 식(21)에 $\Delta z = 0$ 를 대입하여 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$g_c(\Delta x, \Delta y, 0, \theta) = K_c g_{1c}(\Delta x, \Delta y, 0, \theta) g_2(\Delta x, \Delta y, 0) \tag{22}$$

여기서

$$\begin{aligned} g_{1c}(\Delta x, \Delta y, 0, \theta) &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} (\Delta x \cos \varphi + \Delta y \sin \varphi) \sin \theta} d\varphi \\ &= J_0(A_{xy} \sin \theta) \end{aligned} \tag{23}$$

식(21)에 나타난 홀로그래픽 복원인자 $g_2(\Delta x, \Delta y, 0)$ 는 초음파변환기 회전시의 경우인 식(12)과 같다. 또한, 측방향에 대한 모호함수는 식(21)에 $\Delta y = 0, \Delta x = 0$ 를 각각 대입하여 다음식 같이 유도할 수 있다.

$$g_c(\Delta x, 0, \Delta z, \theta) = g_{1c}(\Delta x, 0, \Delta z, \theta) g_2(\Delta x, 0, \Delta z) \tag{24}$$

여기서

$$\begin{aligned} g_{1c}(\Delta x, 0, \Delta z, \theta) &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} [(\Delta x \sin \theta) \sin \theta + \Delta z \cos \theta]} d\varphi \\ &= J_0\left(\frac{2\pi \Delta x \sin \theta}{\lambda}\right) e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} \Delta z \cos \theta} \end{aligned} \tag{25}$$

그리고

$$g_c(0, \Delta y, \Delta z, \theta) = g_{1c}(0, \Delta y, \Delta z, \theta) g_2(0, \Delta y, \Delta z) \tag{26}$$

여기서

$$\begin{aligned} g_{1c}(0, \Delta y, \Delta z, \theta) &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} [(\Delta y \sin \theta) \sin \theta + \Delta z \cos \theta]} d\varphi \\ &= J_0\left(\frac{2\pi \Delta y \sin \theta}{\lambda}\right) e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} \Delta z \cos \theta} \end{aligned} \tag{27}$$

$g_2(\Delta x, 0, \Delta z)$ 와 $g_2(0, \Delta y, \Delta z)$ 는 각각 식(15), (18)과 같다.

III. 모의실험 및 고찰

STAM의 분해능을 정량적으로 해석하기 위하여 2장에서 구한 모호함수들 사용하여 측방향 및 축방향 분해능을 시뮬레이션하였다.

그림 3는 초음파변환기 회전장치로 구성된 STAM으로부터 얻을 수 있는 토모그래픽 영상의 측방향에 대한 진폭분포이다.

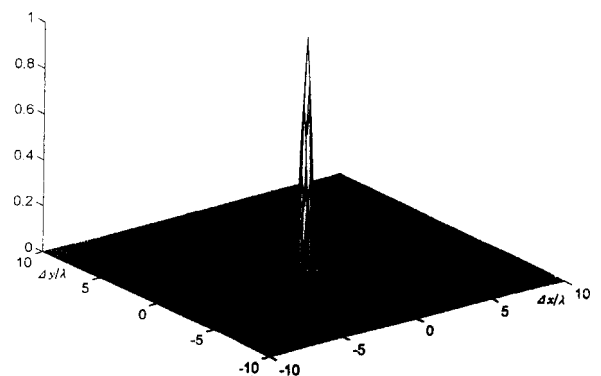
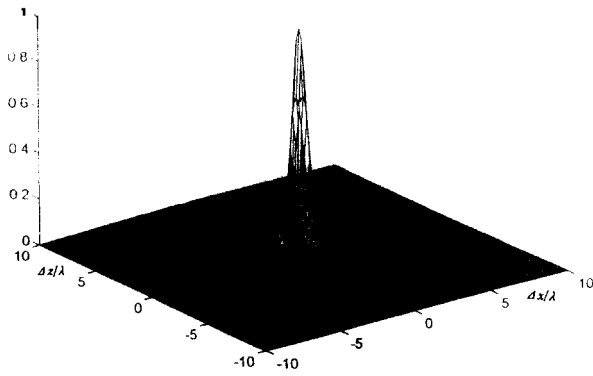
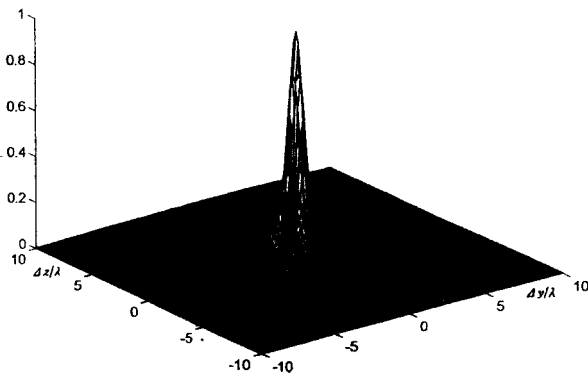


그림 3 초음파변환기 회전장치의 측방향 진폭분포
Fig 3. Lateral amplitude distribution of ultrasonic transducer rotating device

측방향에 대한 진폭분포에서 x방향의 분해능이 y방향의 분해능보다 좋음을 알 수 있다. 그림 4는 초음파변환기 회전장치로 구성된 STAM의 토모그래픽 영상에 대한 측방향의 진폭분포이다.



(a) x, z방향



(b) y, z방향

그림 4. 초음파변환기 회전장치의 축방향 진폭분포
Fig 4. Depth amplitude distribution of ultrasonic transducer rotating device

축방향에 대한 진폭분포에서도 x와 y방향에 대한 분해능이 동일하지 않음을 알 수 있다.

한편, 그림 5는 시료 회전장치로 구성된 STAM으로부터 얻을 수 있는 토모그래픽 영상의 축방향에 대한 진폭분포이다.

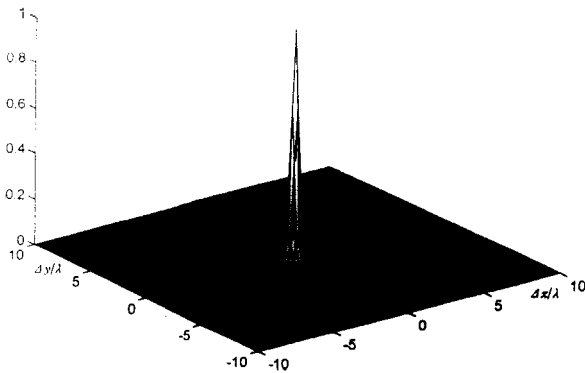


그림 5. 시료 회전장치의 축방향 진폭분포
Fig 5. Lateral amplitude distribution of specimen rotating device

그림 5에서 나타난바와 같이 시료 회전장치의 축방향에 대한 진폭분포에서 x와 y방향에 대한 축방향 분해능이 동일함을 알 수 있다. 그림 6은 시료 회전장치로 구성된 STAM의 토모그래픽 영상에 대한 축방향의 진폭분포이다.

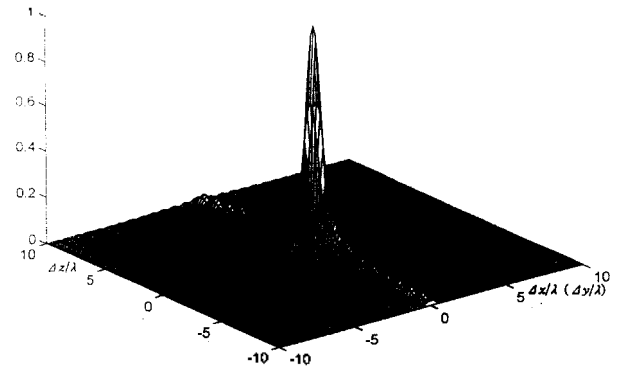


그림 6. 시료 회전장치의 축방향 진폭분포
Fig 6. Depth amplitude distribution of specimen rotating device

시료 회전장치의 축방향 분해능은 x와 y방향에 대하여 동일함을 알 수 있다.

초음파가 시료내부에서 45°로 입사될 때 STAM의 축방향에 대한 3dB 분해능은 초음파변환기 회전장치의 경우 x와 y방향에서 각각 0.56, 0.70 파장의 분해능을 나타내었고, 시료 회전장치의 경우 x와 y방향에서 0.53 파장의 동일한 분해능을 보였다. 또한 축방향에 대한 3dB 분해능은 초음파변환기 회전장치와 시료 회전장치에 대하여 각각 1.49 파장, 1.56 파장 정도로 약 1.5 파장 정도의 축방향 분해능을 나타내었다.

두 회전장치로 구성된 STAM에 대한 초음파의 입사각도가 분해능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각각의 회전장치에 대하여 동일한 방법으로 시뮬레이션한 결과는 표 1과 같다.

표 1. STAM 분해능

Table 1. The resolution of STAM

회전장치	입사각	축방향 분해능(λ)				축방향 분해능(λ)	
		x		y		z	
		3dB	6dB	3dB	6dB	3dB	6dB
초음파 변환기	0°	0.70	0.95	0.70	0.95	1.56	2.34
	30°	0.63	0.86	0.70	0.95	1.53	2.28
	60°	0.51	0.70	0.70	0.95	1.32	1.87
	90°	0.42	0.62	0.70	0.95	0.95	1.33
시료	0°	0.70	0.95	0.70	0.95	1.56	2.34
	30°	0.60	0.80	0.60	0.80	1.56	2.34
	60°	0.47	0.65	0.47	0.65	1.56	2.34
	90°	0.42	0.62	0.42	0.62	1.56	2.34

입사각을 증가시킬수록 축방향 분해능은 초음파변환기 회전장치의 경우 x방향에서만 분해능이 향상되는 반면, 시료 회전장치는 x와 y방향에서 모두 동일하게 분해능이 향상되었다. 그리고 축방향 분해능은 입사각의 증가에 따라 초음파변환기 회전장치는 조금 향상되는 반면 시료 회전장치는 초음파의 스캔방향 즉 x방향에 대해 동일한 입사각을 가지므로 분해능 변화가 없다.

IV. 결 론

본 논문에서는 BFP 토모그래픽 복원 알고리즘을 이용하여 STAM 시스템으로부터 얻을 수 있는 토모그래픽 영상에 대한 분해능을 해석하였다. STAM의 초음파변환기 회전장치 및 시료 회전장치에 대한 진폭분포를 얻고 입사각에 따른 토모그래픽 영상의 축방향과 축방향 분해능을 시뮬레이션을 통하여 비교분석하였다.

시뮬레이션 결과, 초음파가 시료내부에서 45°로 입사될 때 초음파변환기 회전장치의 축방향 분해능은 x와 y방향에서 각각 0.56, 0.70 파장의 분해능을 보였고 시료 회전장치는 x와 y방향에서 0.53 파장의 동일한 분해능을 보임으로써 기존의 초음파 현미경 시스템의 축방향 분해능인 1 파장에 비하여 좋은 분해능을 나타내었다. 또한 입사각을 증가시킬수록 초음파변환기 회전장치는 x방향에서만 분해능이 향상되었으나, 시료 회전장치에 대한 분해능은 x와 y방향에서 동일하게 향상되었다. 축방향 분해능은 두 회전장치 모두 약 1.5 파장 정도로 기존의 초음파 현미경 시스템의 축방향 분해능인 7 파장에 비하여 매우 높다는 것을 확인하였다. 그러나 축방향에 대한 분해능과 데이터 검출을 위한 나이프-에지(knife-edge)의 비대칭적인 전달함수를 고려할 때 시료 회전장치가 더욱 적합함을 판단할 수 있다.

본 연구의 결과는 STAM 시스템의 국내개발에 있어서 성능분석과 회전장치의 선택, 그리고 입사각도의 결정에 유용하게 이용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. G. S. Kino, "Acoustic Waves: Device, Imaging and Analog Signal Processing", Prentice-Hall Signal Processing Series Alan V. Oppenheim, Series Edit. 1987.
2. G. Wade, "A History of Acoustic Imaging", Acoustic Imaging, Vol. 17, pp. 1-28, 1989.
3. G. Wade, "Acoustic Imaging", IEEE Ultrason. Symp. pp. 821-826, 1989.
4. L. W. Kessler, "Acoustic Microscopy-an Industrial View", IEEE Ultras. Symp. pp. 725-728, 1988.
5. Z. Lin, H. Lee, G. Wade, M. G. Oravec, and L. W. Kessler, "Holographic image reconstruction in scanning laser acoustic microscopy", IEEE Trans. on Ultrason. Ferroelectrics. and Frequency Control. vol. UFFC-34, no. 3. pp.

- 293-300, May 1987.
6. Z. Lin, H. Lee, G. Wade, "Data Acquisition in Tomographic Acoustic Microscopy" IEEE Ultrasonic Symp. pp. 627-631, 1983.
7. Z. Lin, H. Lee, and G. Wade, "Back-and-forth propagation for diffraction tomography", IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, vol. Su-31, no. 6, pp. 626-634, Nov. 1984.
8. H. Lee, C. F. Schueler, G. Flesher and G. Wade, "Ultrasound Planar Scanned Tomography", Acoustical Imaging, Vol. 11, pp. 309-323, Ed. John Powers, Plenum Press, New York, 1982.
9. J. W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics", McGraw-Hill, Chap. 3, pp. 54, 1968.

▲참 기 원(Ki-Hwan Hwang)



1991년 2월: 경희대학교 물리학과(이학사)
 1993년 2월: 경희대학교 전자공학과(공학석사)
 1994년 3월~현재: 경희대학교 전자공학과 박사과정 재학중
 ※주관심분야: 초음파 토모그래피 및 광음향 신호처리, 영상처리, 비파괴검사

▲고 대 식: Vol.15, No.3 1996 참조

▲전 계 석

현재: 경희대학교 전자공학과 교수