

논문 2005-42TE-1-4

# 개선된 FBP 토모그래픽 알고리즘에서 분해능의 결정

( The Determination of Resolution on the Improved FBP Tomographic Algorithm )

구 길 모\*, 황 기 환\*\*, 박 치 승\*\*\*, 고 덕 영\*\*\*\*

( Kil-Mo Koo, Ki-Hwan Hwang, Chi-Seong Park, and Duck-Young Ko )

## 요 약

본 논문은 토모그래픽 영상시스템에 적합한 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘의 분해능에 관하여 연구하였다. 고정좌표계를 이용하는 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘으로부터 분해능을 분석할 수 있는 모호함수를 유도하였고, 이를 이용한 모의실험을 통하여 얻은 진폭분포로부터 측방향 및 축방향 분해능을 정량적으로 결정하였다.

개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘을 통해 기존의 SAM(Scanning Acoustic Microscope)시스템으로부터 얻을 수 있는 3dB와 6dB 측방향 분해능에 대해서도 각각 0.70 파장과 0.96 파장으로 SAM 영상의 3dB 측방향 분해능인 7 파장에 비하여 매우 개선된 분해능을 얻을 수 있음을 확인하였다. 평면 입사파의 회절 토모그래픽 영상복원을 위한 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘은 미세하고 복잡한 다층 박막구조를 갖는 시료에 대하여 좋은 분해능을 갖는 토모그래픽 영상시스템을 개발하는데 유용하게 활용할 수 있도록 하였다.

## Abstract

In this paper, we studied resolution to the FBP(Filtered Back-Propagation) tomographic image reconstruction algorithms. In order to analyze the resolution to the tomographic images, we derived ambiguity function to this algorithm which can be reconstructed from the improved FBP image reconstruction algorithm by using fixed coordinate system practically. Through simulation using this function, we determined the lateral and depth resolution quantitatively and then analyzed respectively. Simulation results show that the lateral and depth resolution to the improved FBP image reconstruction algorithm was determined  $0.27\lambda$  and  $0.70\lambda$  at the 3dB, and also  $0.89\lambda$  and  $0.96\lambda$  at the 6dB respectively, This results proved that improved FBP reconstruction algorithms for diffraction tomography of incident planar wave is useful to developed the tomographic image system. analyze the resolution to the tomographic images, we derived ambiguity function to this algorithm which can be reconstructed from the improved FBP image reconstruction algorithm by using fixed coordinate system,

**Keywords:** Filtered Back-Propagation, tomographic image, depth resolution, reconstruction algorithm

## I. 서 론

3차원 물체에 대하여 2차원적인 영상정보 밖에 얻지 못하는 제한 때문에 X-ray 단층촬영 기술에 널리 응용된 토모그래픽 (tomographic) 기술은 해양 신호처리를 비롯한 반도체, RF, 비파괴 등의 응용분야에 적용시켜 3차원 영상정보를 얻기 위한 연구에 많은 관심이 모아지고 있다<sup>[1,2,3]</sup>.

X-ray와는 달리 긴 파장의 초음파나 마이크로파를

\* 정희원, 한국원자력연구소, 열수력 안전관리팀  
(KAERI, Heat-Hydroelectric Safety Management Team)

\*\* 정희원, 경북전문대학, 컴퓨터정보공학부  
(Computer Information Division, Kyung-Buk College,)

\*\*\* 정희원, (주) 카이텍(주) 연구소  
(KAITEC, Research Center)

\*\*\*\* 정희원, 전주공업대학 디지털 전자정보과  
(Dept., Digital Electronic & Information, Jeon-Ju Technical College)

접수일자: 2004년12월17일, 수정완료일: 2005년1월31일

이용하여 토모그래피 영상을 복원하기 위해서는 긴 파장으로 인한 회절현상은 물론 실제 영상시스템 개발을 위한 데이터 획득방법이 반드시 고려해야 한다<sup>[4,5]</sup>.

회절현상을 고려하기 위하여 X-ray 토모그래피의 Filtered Back-Projection으로부터 FBP(Filtered Back-Propagation) 토모그래픽 영상복원 알고리즘을 유도하였으나, 토모그래픽 데이터 획득과정에서 검출되는 데이터는 입사파의 입사각도에 의존함으로 수신면이 항상 회전하는 회전좌표계로부터 유도된 알고리즘이다. 그러나 실제 평면파를 입사파로 사용하는 회절 토모그래피 영상 시스템에 대한 설계 및 제작에 있어서 기하학적, 물리적으로 제약을 가지므로 고정된 좌표계에서 토모그래픽 데이터 검출이 요구된다<sup>[6,7,8]</sup>. 따라서 본 연구에서는 X-ray에 비해 긴 파장의 입사파에 대한 회절 토모그래피(tomograph)데이터 획득을 위하여 기존의 회전좌표계 대신 고정좌표계를 사용하는 개선된 FBP 토모그래피 영상복원 알고리즘을 유도한다. 또한 개선된 FBP 알고리즘을 이용하여 복원할 수 있는 토모그래피 영상에 대한 분해능을 분석할 수 있는 모호함수를 유도한다. 모호함수를 이용한 모의실험을 통하여 개선된 FBP 토모그래피 영상복원 알고리즘으로부터 복원할 수 있는 토모그래피 영상에 대한 축방향 및 축방향 분해능을 정량적으로 결정하고 분석함으로써 개선된 FBP 토모그래피 영상복원 알고리즘에 대한 유용성을 확인한다.

## 2. 기존의 FBP 영상복원 알고리즘

X-ray 토모그래픽에서 사용된 Filtered Back-Projection 알고리즘으로부터 파장이 긴 입사파를 갖는 토모그래피에 적용시키기 위하여 회절을 고려한 FBP(Filtered Back-Propagation) 알고리즘을 유도하였다. 잡음이 없는 경우, FBP 알고리즘은 Born 및 Rytov 근사법에 의해 파 성분(Wave fields)과 물체와의 상호작용을 이론적으로 묘사함으로써 완벽하게 복원시킬 수 있다.

본 FBP 알고리즘의 데이터 획득방법은 전통적인 X-ray 토모그래피에서 사용된 데이터 검출방법이 기본적으로 사용된다. 즉, 토모그래피 데이터는 입사파의 입사각도에 따라 회전하는 회전좌표계를 통해 획득된다.

그림 1은 물체에 입사각  $\varphi$ 로 평면파를 입사시키는 경우, 입사각도에 따라 수신면이 회전하는 회전좌표계를 이용한 데이터 획득구조이다.

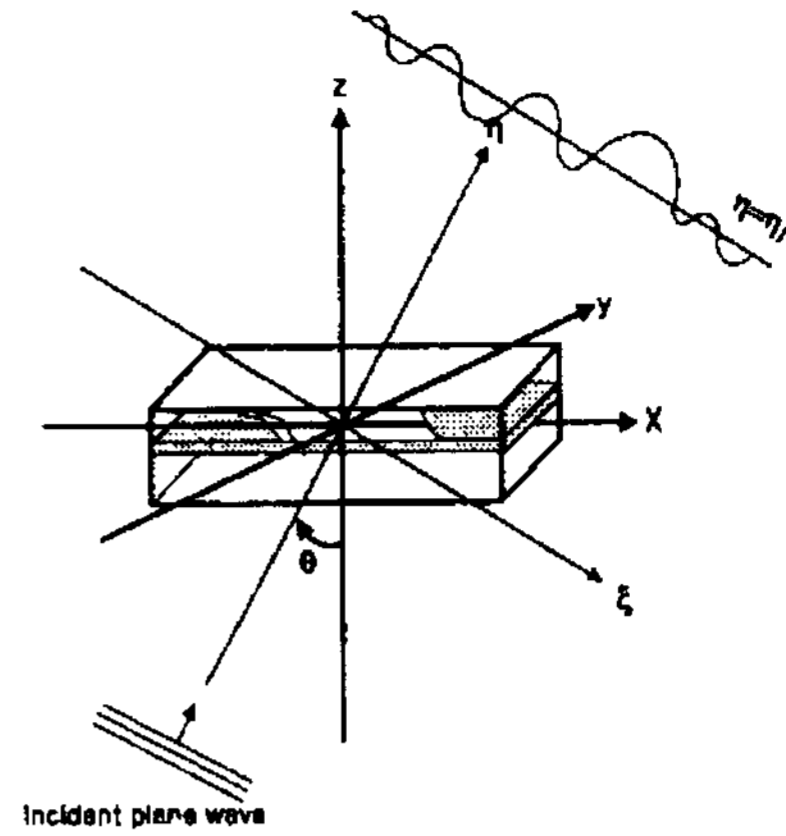


그림 1. 회전좌표계 데이터 획득구조  
Fig. 1. A data acquisition scheme to the rotated coordinate system.

물체가 없는 경우, 입사된 평면파의 전파는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} v_{\varphi} &= U_0 e^{jk \cdot R} \\ &= U_0 e^{jk(x \sin \varphi + z \cos \varphi)} \\ &= U_0 e^{j \frac{2\pi}{\lambda} (x \sin \varphi + z \cos \varphi)} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $U_0$ 는 입사파의 복소 진폭이고,  $\lambda$ 는 파장이다. 물체가 존재하는 경우, 입사된 파 성분은 산란되므로 수신면에 도달하는 전체 파 성분은 입사된 평면파 성분과 산란된 파 성분으로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_{\varphi} = v_{\varphi}(x; z) + u_{s, \varphi}(x; z) \quad (2)$$

입사파와 물체와의 상호작용을 Helmholtz 방정식으로 표현하면 다음 식과 같다<sup>[5]</sup>.

$$(\nabla^2 + k^2)u_{\varphi}(x; z) = -k^2 o(x; z)u_{\varphi}(x; z) \quad (3)$$

여기서  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 는 파의 파수이고,  $o(x; z)$ 는 원하는 물체의 분포이다.

물체 분포  $o(x; z)$ 는 물체의 입사파 굴절률  $n(x; z)$ 과 관계되며 다음 식과 같다.

$$o(x; z) = n^2(x; z) - 1 \quad (4)$$

위의 파동방정식의 정확한 해를 구하기는 불가능하다. 계산을 용이하게 하기 위해 약한 산란을 가정한 Born 근사법을 이용한다.

$$|u_{s,\varphi}(x; z)| \ll |v_\varphi(x; z)| \quad (5)$$

이를 식(2)와 식(3)에 적용시킴으로써 파동방정식은 약한 산란을 가정하여 다음 식과 같이 표현할 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$(\nabla^2 + k^2)u_{s,\varphi} = -k^2 o(x; z)v_\varphi(x; z) \quad (6)$$

물체에 대한 분포  $o_b(x; z)$ 는 회전자표계의  $\eta = \eta_\gamma$ 를 따라 측정된 산란파성분의 푸리에변환  $U_{s,\varphi}(f_\xi; \eta_\gamma)$ 과 관계된다<sup>[5,6]</sup>. 물체 분포  $o_b(x; z)$ 는 적분경계조건  $f_x^2 + f_z^2 \leq \frac{2}{\lambda^2}$ 에서 다음 식과 같이 정의된다.

$$o_b(x; z) = \iint o(f_x; f_z) e^{j2\pi(f_x x + f_z z)} df_x df_z \quad (7)$$

(7)식은 X-ray 토모그래피의 Filtered Back-Projection 알고리즘과 유사한 공간영역에서 토모그래픽 영상을 복원하기 위한 적분식이다. 따라서 FBP (Filtered Back-Propagation)는 Filtered Back-Projection을 일반화한 알고리즘이다.

### 3. 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘

평면파를 입사파로 사용하여 회절 토모그래픽 영상 시스템을 제작하는데 있어서는 실제로 기존의 FBP 알고리즘에 사용된 회전자표계는 기하학적, 물리적으로 제약을 받는다. 따라서 고정좌표계를 사용하는 토모그래픽 데이터 획득방법이 요구되며, 이에 따른 수정된 알고리즘이 유도되어야 한다.

그림 2은 고정된 좌표계에서 파의 성분을 측정하도록 설계된 데이터 획득구조이다. 따라서 회절 토모그래피의 평면파 데이터 획득을 위한 수정된 FBP 영상복원 알고리즘의 적분식을 유도할 수 있다.

물체와 입사파 사이의 상호작용을 만족하는 파동방정식은 다음 식(8)과 같다. 물체에 입사각  $\varphi$ 로 평면파를 입사시키면 입사된 파 성분은 산란되므로 수신면에 도달하는 전체 파 성분은 입사된 평면파 성분과 산란된

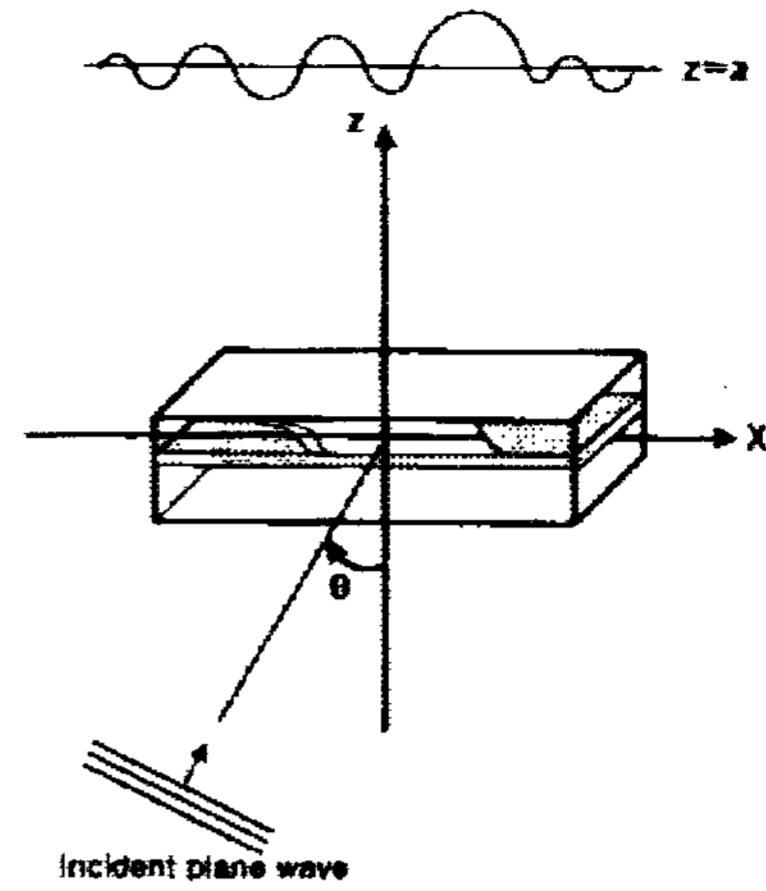


그림 2. 고정좌표계 데이터 획득구조  
Fig. 2. A data acquisition scheme to the fixed coordinate system.

파 성분으로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_\varphi = v_\varphi(x; z) + u_{s,\varphi}(x; z) \quad (8)$$

입사파와 물체와의 상호작용을 Helmholtz 방정식으로 표현하면 다음 식과 같다<sup>[5]</sup>.

$$(\nabla^2 + k^2)u_\varphi(x; z) = -k^2 o(x; z)u_\varphi(x; z) \quad (9)$$

여기서  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$   $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 는 파의 파수이고,  $o(x; z)$ 는 원하는 물체의 분포이다.

물체 분포  $o(x; z)$ 는 물체의 입사파 굴절율  $n(x; z)$ 과 관계되며 다음 식과 같다.

$$o(x; z) = n^2(x; z) - 1 \quad (10)$$

산란파성분은 Born 근사법에서 0차 Hankel 함수  $H_0(x; z)$ 를 갖는 다음 식과 같이 표현된다<sup>[6,7]</sup>.

$$u_{s,\varphi}(x; z) = \frac{jk^2}{4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} o(x'; z') v_\varphi(x'; z')^* H_0(x - x'; z - z') dx' dz' \quad (11)$$

그림 1에서 평면 입사파 토모그래픽 데이터는  $z = z_\gamma$ 를 따라 산란파성분이 측정된다. 고정된 좌표계에서 Hankel 함수는 다음 식과 같다<sup>[6]</sup>.

$$H_0(x-x';z-z') = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\gamma} e^{j 2\pi[f_x(x-x') + \gamma(z-z')] } df_x \quad (12)$$

여기서  $\gamma \equiv \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 f_x^2}$  이다.

고정좌표계  $z = z_\gamma$ 에서 측정되는 산란파성분은 입사파와 Hankel 함수인 식(11)을 식(12)에 대입하여 다음 식과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$u_{s,\varphi}(x,z_\gamma) = \frac{jk^2 U_0}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} O\left(f_x - \frac{\sin\varphi}{\lambda}; \gamma - \frac{\cos\varphi}{\lambda}\right)^* \frac{e^{j 2\pi(f_x x + \gamma z_\gamma)}}{\gamma} df_x \quad (13)$$

$x$ 에 대한  $u_{s,\varphi}(x; z_\gamma)$ 의 1차 푸리에변환은 다음 식과 같다.

$$U_{s,\varphi}(f_x; z_\gamma) = \int_{-\infty}^{\infty} u_{s,\varphi}(x; z_\gamma) e^{-j 2\pi f_x x} dx = \frac{jk^2 U_0}{4\pi\gamma} e^{j 2\pi\gamma z_\gamma} O\left(f_x - \frac{\sin\varphi}{\lambda}; \gamma - \frac{\cos\varphi}{\lambda}\right) \quad (14)$$

이 식은 토모그램을 복원하기 위해 사용되는 방정식이다. 각각의 입사각  $\varphi$ 에 대해 측정된 파성분  $u_{s,\varphi}(x; z_\gamma)$ 의 1차원 푸리에변환  $U_{s,\varphi}(x; z_\gamma)$ 은 물체 분포의 2차원 푸리에변환에 관한 정보를 제공한다.

공간주파수 영역  $|f_x| < \frac{1}{\lambda}$ 에서 점 궤적  $(f_{x,\varphi} \equiv f_x - \frac{\sin\varphi}{\lambda}; f_{z,\varphi} \equiv \gamma - \frac{\cos\varphi}{\lambda})$ 은 중심이  $(-\frac{\sin\varphi}{\lambda}; -\frac{\cos\varphi}{\lambda})$ 인 반경  $\frac{1}{\lambda}$ 을 갖는 반원이다. 입사각이  $\varphi = -\frac{\pi}{2}, -\frac{\pi}{4}, 0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}$ 인 경우  $O(f_x - \frac{\sin\varphi}{\lambda}; \gamma - \frac{\cos\varphi}{\lambda})$ 에 대한 점 궤적은 그림 3과 같다.

입사각  $-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$ 을 갖는 수신된 파성분의 푸리에변환  $O(f_x; f_z)$ 은 각각의 입사각에 대해 위쪽 반원에서만 얻어지므로 그림 3과 같이 두 원영역 내부에서

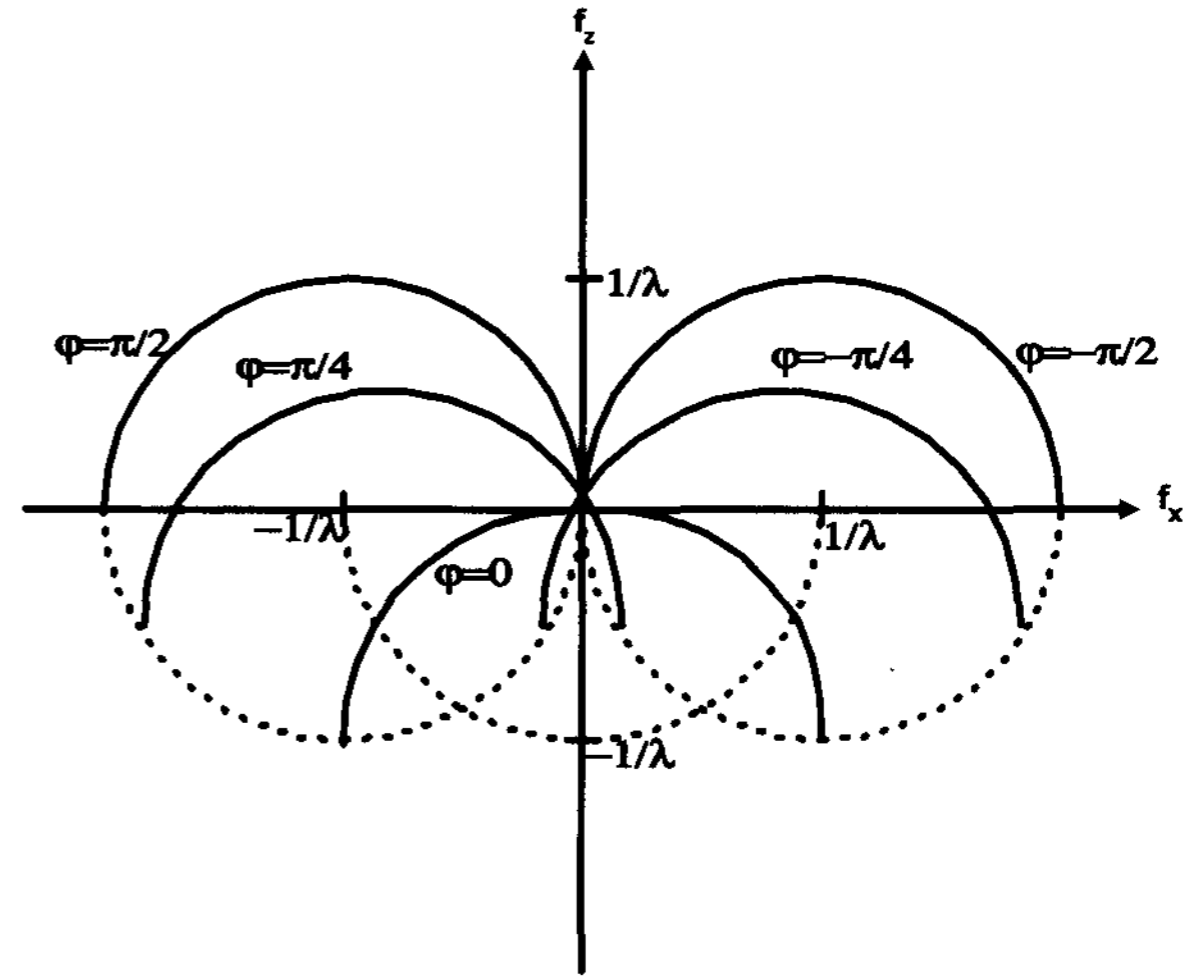


그림 3. 입사각에 따른 공간주파수 영역의 점 궤적  
Fig. 3. Point locus of space frequency along the incident angle.

만 결정할 수 있다.

그림 4의 공간주파수 스펙트럼으로부터 복원된 토모그램(tomogram) 즉, 물체의 횡단면에 대한 분포함수는 다음 식과 같다.

$$o_{ar}(x; z) = \int_S \int O(f_x; f_z) e^{j 2\pi(f_x x + f_z z)} df_x df_z \quad (15)$$

여기서  $S$ 는 그림 4의  $S$ 영역으로 적분구간이다.  $f_x$ 와  $f_z$ 를 축으로 좌표 변환시킨 고정좌표계에 대한 적분변수는 다음 식과 같다.

$$f_x = f'_x - \frac{\sin\varphi}{\lambda}, f_z = \gamma' - \frac{\cos\varphi}{\lambda} \quad (16)$$

여기서  $\gamma' = \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 f_x'^2}$  이고,

$$df_x df_z = \frac{1}{\lambda\gamma'} |\gamma' \sin\varphi + f'_x \cos\varphi| df'_x d\varphi$$

이 식을 물체 분포함수에 대입하여 스펙트럼으로부터 복원한 토모그램에 대한 적분 식은 다음 식과 같이 투과함수를 구할 수 있다.

$$P_{s,\varphi}(f_x; z_\gamma) \equiv \frac{-j \lambda U_{s,\varphi}(f_x; z_\gamma)}{U_0 e^{j \frac{2\pi}{\lambda} (x \sin\varphi + z_\gamma \cos\varphi)}} \quad (17)$$

여기서 전파함수는  $e^{j 2\pi(\gamma - \frac{\cos\varphi}{\lambda})(z - z_\gamma)}$ , 그리고

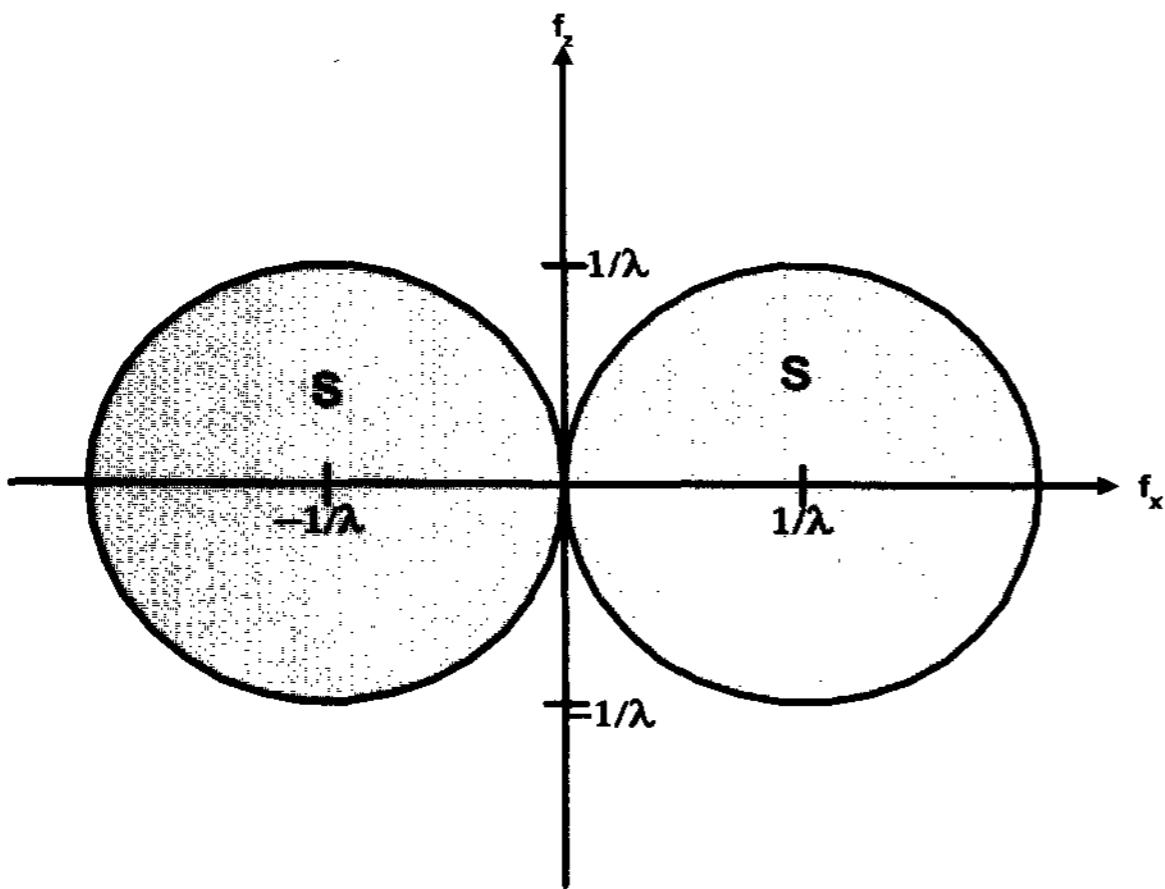


그림 4. 입사각  $-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$  을 갖는 수신파성분의 공간주파수 스펙트럼

Fig. 4. Space frequency spectrum of the receive wave with incident angle.

$\gamma \sin \varphi + f_x \cos \varphi$  는 필터함수로 표현 할 수 있다. 식 (17)은 회절 토모그래피의 평면파 데이터 획득을 위하여 고정좌표계를 사용하여 토모그래픽을 복원  $O_{ar}(x ; z)$ 로 표현하여 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘의 적분식으로 나타낼 수 있다.

### 3. 개선된 FBP 알고리즘의 모호함수

토모그래픽 영상에 대한 분해능을 분석하기 위하여 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘으로부터 복원할 수 있는 모호함수를 유도한다. 주파수 영역에서 이 문제를 다루는 것이 더욱 편리하므로, FBP 알고리즘을 사용하여 수신된 파성분의 푸리에변환으로부터 그림 4에 나타낸 두 원 영역내에서 물체의 공간주파수를 얻을 수 있다. 먼저,  $x, z$ 축의 2차원에서 물체를  $x_0; z_0$ 에 위치한 선 산란자로 가정한 물체에 대한 푸리에변환은 다음과 같다.

$$O(f_x, f_z) = e^{-j 2\pi (f_x x_0 + f_z z_0)} \quad (18)$$

공간주파수 스펙트럼은 그림 3의 영역내에서 얻어지므로 복원되는 선 산란자의 푸리에변환을 한다.

선 산란자에 대한 공간분포는  $(x_0 ; z_0)$ 에 가까운  $(x_0 + \Delta x ; z_0 + \Delta z)$  위치에서 복원되므로 물체의 분포함수 식(15)를 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$O_{ar}(x_0 + \Delta x ; z_0 + \Delta z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} O_{ar}(f_x, f_z)^* e^{j 2\pi [f_x(x_0 + \Delta x) + f_z(z_0 + \Delta z)]} df_x df_z \quad (19)$$

$$= \left(\frac{2}{\lambda^2}\right) \frac{2\pi J_1(A_{xz})}{A_{xz}} \cos\left(\frac{2\pi \Delta x}{\lambda}\right)$$

위 식에 대한 모호함수(ambiguity function)를 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$g_f(\Delta x, \Delta z) \equiv K_f \frac{J_1(A_{xz})}{A_{xz}} \cos\left(\frac{2\pi \Delta x}{\lambda}\right) \quad (20)$$

여기서  $A_{xz} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\Delta x^2 + \Delta z^2}$ ,  $J_n$ 은  $n$ 차 제1종 Bessel 함수, 그리고  $K_f$ 는 정규화상수로  $g_f(0, 0) = 1$ 이다. 따라서 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘으로부터 복원할 수 있는 토모그래픽 영상에 대한 측방향 및 축방향의 모호함수는 식(13)에 각각  $\Delta z = 0$ 와  $\Delta x = 0$ 를 대입하여 다음 식과 같이 유도할 수 있다.

$$g_f(\Delta x, 0) = K_f \frac{\lambda}{2\pi \Delta x} J_1\left(\frac{2\pi \Delta x}{\lambda}\right) \cos\left(\frac{2\pi \Delta x}{\lambda}\right) \quad (21)$$

$$g_f(0, \Delta z) = K_f \frac{\lambda}{2\pi \Delta z} J_1\left(\frac{2\pi \Delta z}{\lambda}\right)$$

## IV. 모의실험 및 고찰

평면 입사파의 회절 토모그래피 영상시스템 개발에 적용시키기 위해 개선한 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘으로부터 복원할 수 있는 토모그래픽 영상에 대한 분해능을 정량적으로 결정하기 위하여 앞절에서 유도한 모호함수를 Matlab을 이용하여 모의실험을 하였다.

그림 5는 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘으로부터 복원할 수 있는 평면 입사파의 회절 토모그래픽 영상에 대한 선 산란자의 진폭분포를 나타냈다.

그림 6은 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘의 측방향 분해능을 분석하기 위하여  $\Delta z = 0$ 함수를 갖는 모호함수 식(15)을 모의실험 통하여 얻은 결과이다.

개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘을 이용하여 복원할 수 있는 회절 토모그래픽 영상에 대한 측방향 분해능은 3dB와 6dB에서 각각 0.27 파장과 0.89 파장의 분해능을 얻으므로써 측방향 분해능을 정량적으

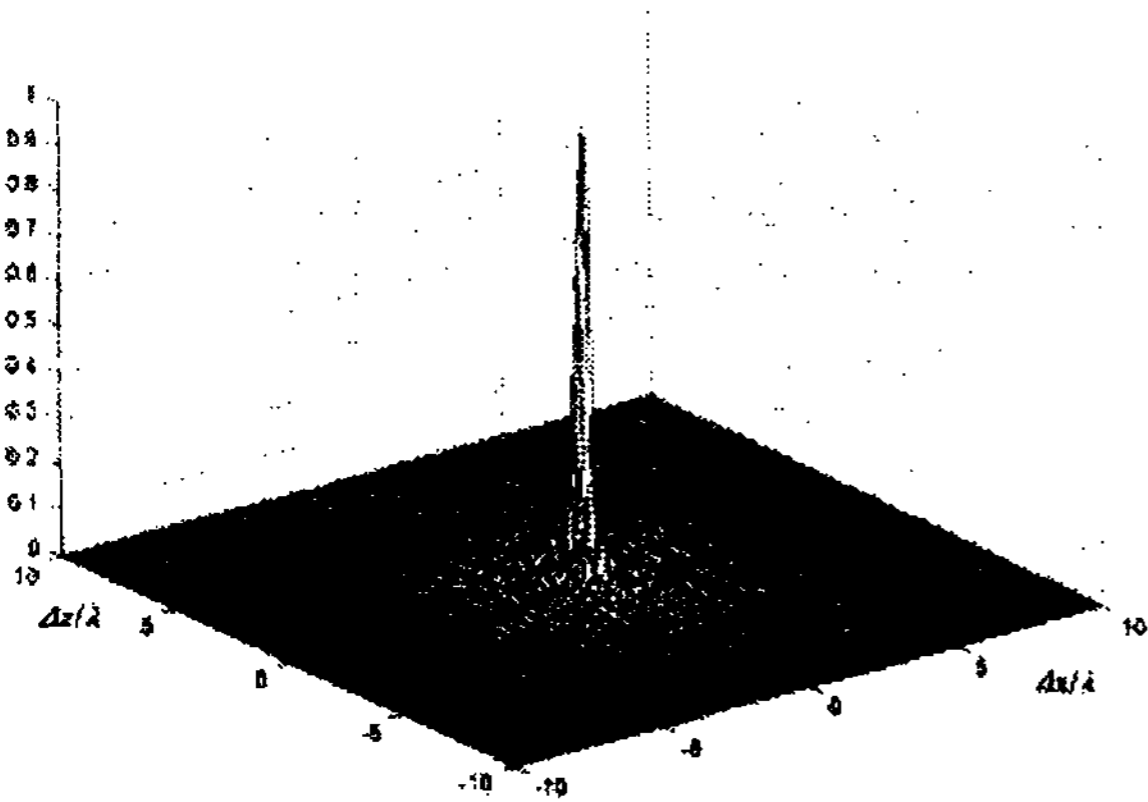


그림 5. 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘의 선 산란자 진폭분포  
Fig. 5. Line dispersion amplitude distribution of the improved FBP tomographic image reconstruction algorithm.

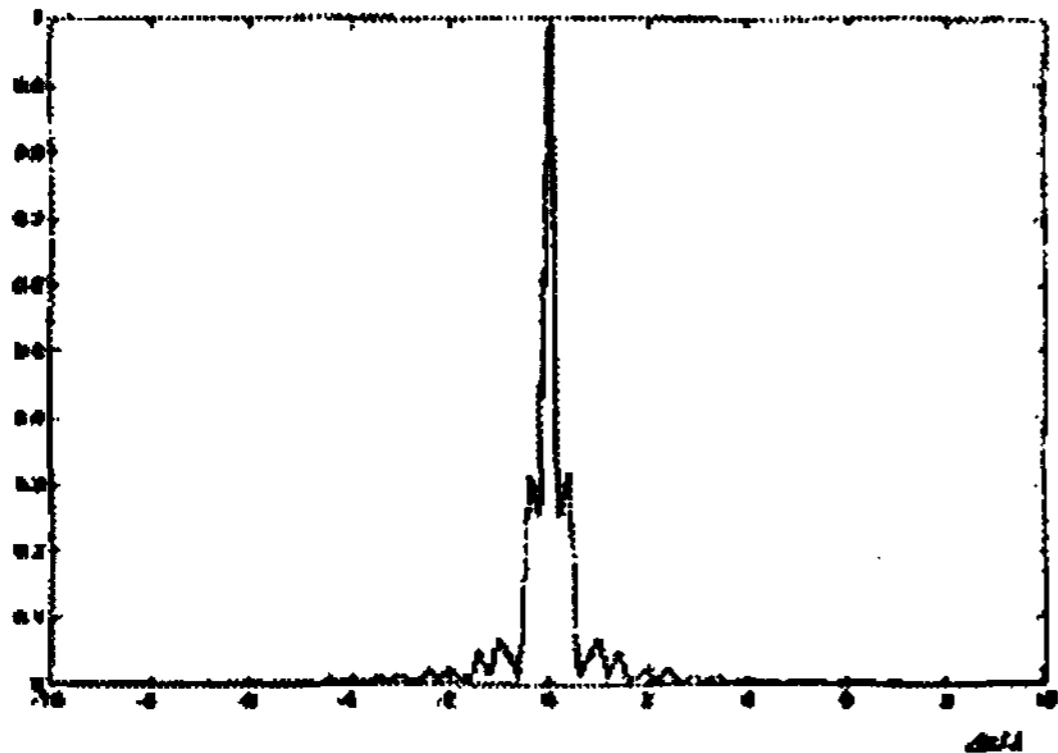


그림 6. 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘의 측방향 분해능  
Fig. 6. An lateral resolution from the improved FBP image reconstruction algorithm.

로 결정하였다.

그림 7은 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘의 축방향 분해능을 나타낸다.

개선된 FBP 알고리즘의 축방향에 대한 3dB와 6dB 분해능은 각각 0.70 파장과 0.96 파장의 분해능을 정량적으로 얻었다.

정량적으로 결정한 측방향 및 축방향에 대한 분해능을 분석한 결과, 그림 7에서 보여진 비대칭적인 공간주파수 스펙트럼으로 인하여 측방향 분해능에 비해 축방향 분해능이 3dB에서 0.43과 6dB에서 0.07이 각각 향상됨을 확인할 수 있다.

평면 입사파 회절 토모그래픽 영상복원을 위해 개선

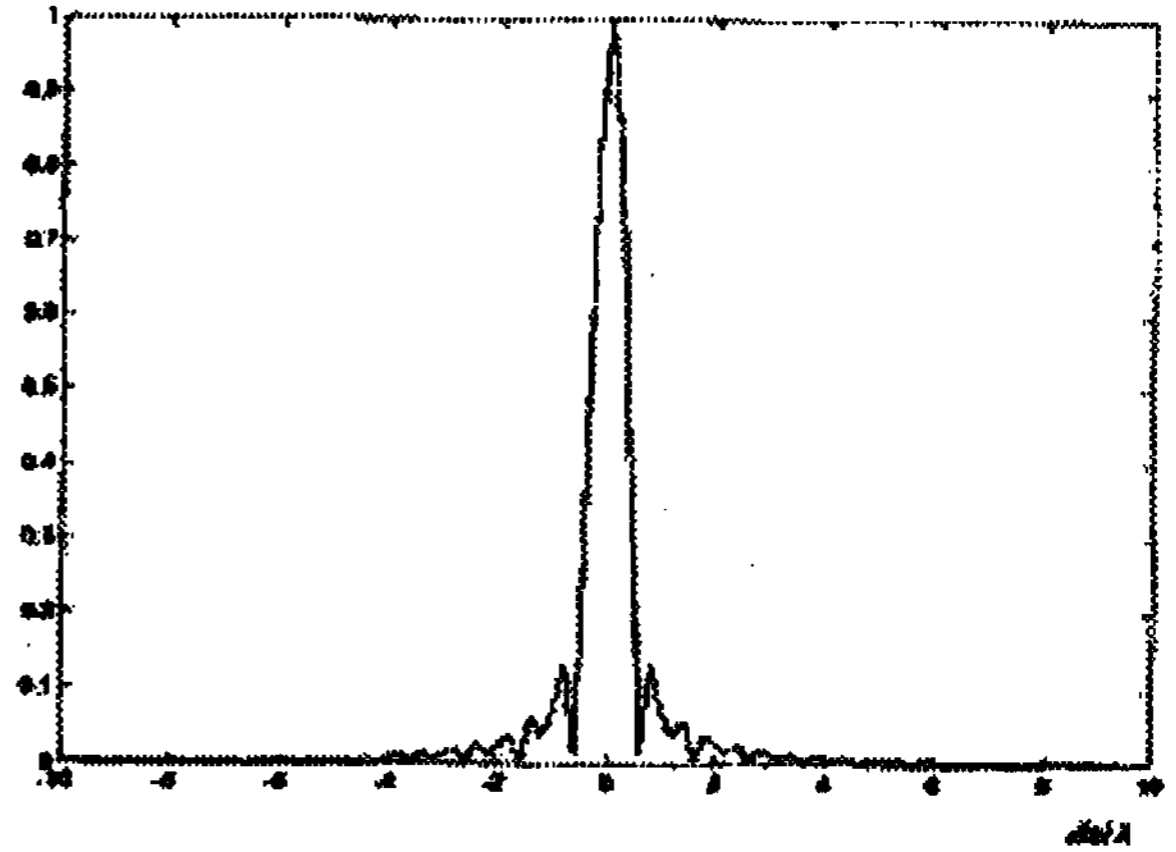


그림 7. 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘의 축방향 분해능  
Fig. 7. An depth resolution from the improved FBP image reconstruction algorithm.

표 1. 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘의 분해능

Table 1. Resolution of the Improved FBP tomographic image reconstruction algorithm.

알고리즘	측방향 분해능		축방향 분해능	
	3dB	6dB	3dB	6dB
개선된 FBP	0.27	0.89	0.70	0.96

된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘에 대한 분해능은 기존의 SAM(Scanning Acoustic Microscope)으로부터 얻을 수 있는 SAM 영상의 3dB 측방향 분해능인 1.02 파장에 비해 양호한 분해능을 나타낸다. 따라서 미세한 구조의 시료에 대하여 향상된 측방향 분해능을 갖는 영상을 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 3dB 측방향 분해능에 대해서도 SAM영상의 7 파장보다 매우 좋은 분해능을 나타냄으로써 박막 다층구조물을 갖는 시료에 대해서도 개선된 분해능의 토모그래픽 영상을 복원하는데 유용하게 이용할 수 있음을 확인하였다.

### V. 결 론

본 논문에서는 토모그래픽 영상시스템에 적합한 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘의 분해능에 관하여 연구하였다. 먼저 X-ray 단층촬영기법에 응용된 Filtered Back-Projection 알고리즘으로부터 유도된 기존의 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘에 대하여 분

석하였다. 기존의 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘에 사용된 데이터 획득구조는 회전좌표계로 실제 토모그래픽 영상시스템을 구현하는데 기하학적, 물리적인 제약을 받았다. 따라서 본 논문에서는 이를 개선시키기 위하여 고정좌표계를 이용하는 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘으로부터 분해능을 분석할 수 있는 모호함수를 유도하였고, 이를 이용한 모의실험을 통하여 얻은 진폭분포로부터 결정한 축방향 및 축방향 분해능을 정량적으로 결정할 수 있었으며, 비대칭적인 공간 주파수 스펙트럼으로 인하여 축방향 분해능에 비해 축방향 분해능이 향상되었음을 확인할 수 있었다.

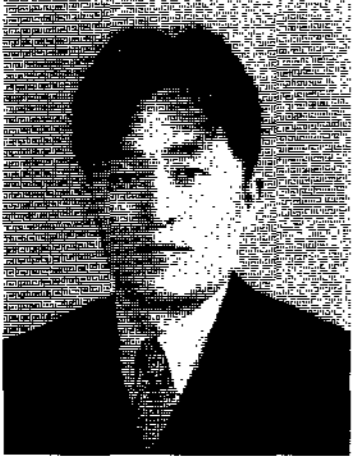
본 연구를 통하여 평면 입사파의 회절 토모그래픽 영상복원을 위한 개선된 FBP 토모그래픽 영상복원 알고리즘은 미세하고 복잡한 다층 박막구조를 갖는 시료에 대하여 좋은 분해능을 갖는 토모그래픽 영상시스템을 개발하는데 유용하게 활용되어질 것으로 기대된다.

한 STAM 시스템 구현에 관한 연구”, 경희대학교 박사학위 논문, 1999.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Y. Semenov and G. P. Tatsis, "Microwave Tomography", IEEE Trans. Microwave, Vol. 46, No. 2, pp. 133-141, Feb. 1998.
- [2] G. S. Kino, "Acoustic Waves : Device, Imaging and Analog Signal Processing", Prentice-Hall Signal Processing Series Alan V. Oppenheim, Series Edit. 1987.
- [3] G. Wade, "A History of Acoustic Imaging", Acoustic Imaging, Vol. 17, PP. 1-28, 1989.
- [4] M. Soumekh, M. Kaveh and R. K. Mueller, "Fourier Domain Reconstruction Methods with Application to Diffraction Tomography", to be published in Acoustical Imaging, Vol. 13, 1984.
- [5] S. X. Pan and A. C. Kak, "A Computational Study of Multi-frequency Diffraction Tomography." IEEE Trans. Sonics Ultrasonic, Vol. SU-24, pp. 213-217, July 1982.
- [6] A. J. Devancy. "A Filtered Back propagation Algorithm for Diffraction Tomography." Ultrasonic Imaging. Vol. 4. No. 4. pp. 336-350. 1982.
- [7] Z. Lin, " A Planar Ultrasonic Tomographic Imaging System" Ph.D. dissertation, Department of Electrical and Computer Engineering, UCSB, CA, 1984.
- [8] 황기환, "다층구조물의 토모그래픽 영상 구성을 위

— 저 자 소 개 —



**황 기 환(정회원)**  
 1999년 경희대학교 전자공학과  
 (공학박사)  
 2000년 정보통신시스템 연구조합  
 선임연구원  
 2001년 중앙 인터빌 선임연구원

2001년~현재 경북전문대학 컴퓨터정보계열 교수  
 <주관심분야: 영상처리, 광 음향신호처리, 멀티  
 미디어>



**박 치 승(정회원)**  
 1981년 2월 한양대학교  
 공대 재료공학(공학사)  
 1984년 2월 한양대 대학원  
 재료공학(공학석사)  
 2004년 2월 한양대대학원  
 재료공학(공학박사)

1984년 2월~1997년 9월 한국원자력연구소  
 (선임연구원)  
 1997년 9월~현재 (주)카이텍 설비안전진단 그룹  
 (그룹장)  
 <주관심분야: 초음파 영상신호처리, 원전 비파괴  
 검사법 개발>



**구 길 모(정회원)**  
 1980년 광운대학교  
 전자공학과 (공학사)  
 1983년 경희대 대학원  
 전자공학과(공학석사)  
 1996년 경희대 대학원  
 전자공학과 (공학박사)

1985년 1월~현재 한국원자력연구소 열수력  
 안전연구부 (책임연구원)  
 <주관심분야: 초음파 신호처리, 비파괴검사법,  
 원자력 발전특수 계측 개발>



**고 덕 영(정회원)**  
 1973년 한양대학교  
 전자공학과 (공학사)  
 1982년 건국대학교 대학원  
 전자공학과(공학석사)  
 1990년 건국대학교 대학원  
 전자공학과 (공학박사)

1979년~현재 전주공업대학 디지털전자정보과 교수  
 <주관심분야: 초음파 영상신호처리, 비파괴  
 검사, 정보통신정책, 통신보안>