

A Study of Various Filter Setups with FBP Reconstruction for Digital Breast Tomosynthesis

Haeng-Hwa Lee*, Ye-seul Kim*, Youngjin Lee*, Sunghoon Choi*, Seungwan Lee*,
Hye-Suk Park*, Hee-Joung Kim*[†], Jae-Gu Choi[‡], Young-Wook Choi[‡]

Departments of *Radiological Convergence Engineering, [†]Radiological Science, College of Health Science, Yonsei University, Wonju, [‡]Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), Ansan, Korea

Recently, digital breast tomosynthesis (DBT) has been investigated to overcome the limitation of conventional mammography for overlapping anatomical structures and high patient dose with cone-beam computed tomography (CBCT). However incomplete sampling due to limited angle leads to interference on the neighboring slices. Many studies have investigated to reduce artifacts such as interference. Moreover, appropriate filters for tomosynthesis have been researched to solve artifacts resulted from incomplete sampling. The primary purpose of this study is finding appropriate filter scheme with FBP reconstruction for DBT system to reduce artifacts. In this study, we investigated characteristics of various filter schemes with simulation and prototype digital breast tomosynthesis under same acquisition parameters and conditions. We evaluated artifacts and noise with profiles and COV (coefficient of variation) to study characteristic of filter. As a result, the noise with parameter 0.25 of Spectral filter reduced by 10% in comparison to that with only Ramp-lak filter. Because unbalance of information reduced with decreasing B of Slice thickness filter, artifacts caused by incomplete sampling reduced. In conclusion, we confirmed basic characteristics of filter operations and improvement of image quality by appropriate filter scheme. The results of this study can be utilized as base in research and development of DBT system by providing information that is about noise and artifacts depend on various filter schemes.

Key Words: Digital breast tomosynthesis, FBP reconstruction, Spectral filter, Slice thickness filter, Noise, Interference

서 론

최근 유방암은 한국 여성의 암 중 발병률 2위를 차지하고 있으며, 2013년 여성 사망자의 암 중 사망률 5위에 해당한다는 통계가 발표된 바 있다.¹⁾ 유방암의 5년 생존율은 0기 암의 경우 100%에 가까우나 4기의 경우 20% 미만이다. 그러므로 유방암의 생존율을 향상시킬 수 있는 가장 좋은 방법은 증상이 없을 때 조기 발견하는 것이다. 우리나라

여성의 경우 유방에 지방 조직이 적고 치밀한 유선 조직이 많아 디지털 유방촬영술(digital mammography, DM)만으로 검사가 불충분하다. 이는 3차원 물체를 통과한 X-선이 2차원 평면으로 영상화하여 물체의 깊이에 대한 정보를 손실하기 때문이다. 디지털 유방단층영상합성장치(digital breast tomosynthesis, DBT)는 X-선관이 제한된 각도로 회전을 하면서 얻은 영상을 3차원으로 재구성하여, 디지털 유방촬영 기기에 비해 물체의 깊이 정보를 획득할 수 있다. 이로 인해 오진율을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 유방에 대한 과한 압박이 없어 환자의 통증을 최소화시킬 수 있는 장점이 있다.^{2,3)} 또한 유방 CT (breast computed tomography)보다는 깊이 정보는 떨어지나 저선량으로 3-D 영상을 획득할 수 있다.

이러한 DBT 시스템에서 사용되는 영상 재구성 방법은 크게 역투영 개념의 SAA (shift-and-add) 방법과 필터링후역투영(filtered backprojection, FBP), 반복적 영상재구성(iterative image reconstruction) 방법이 있다.⁴⁻⁶⁾ 일반적으로 DBT

This research was financially supported by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE), Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) and Gangwon Institute for Regional Program Evaluation (GWIRPE) through the Economic and Regional Cooperation Industry. Received 8 December 2014, Revised 17 December 2014, Accepted 19 December 2014

Correspondence: Hee-Joung Kim (hjk1@yonsei.ac.kr)

Tel: 82-33-760-2983, Fax: 82-33-760-2562

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

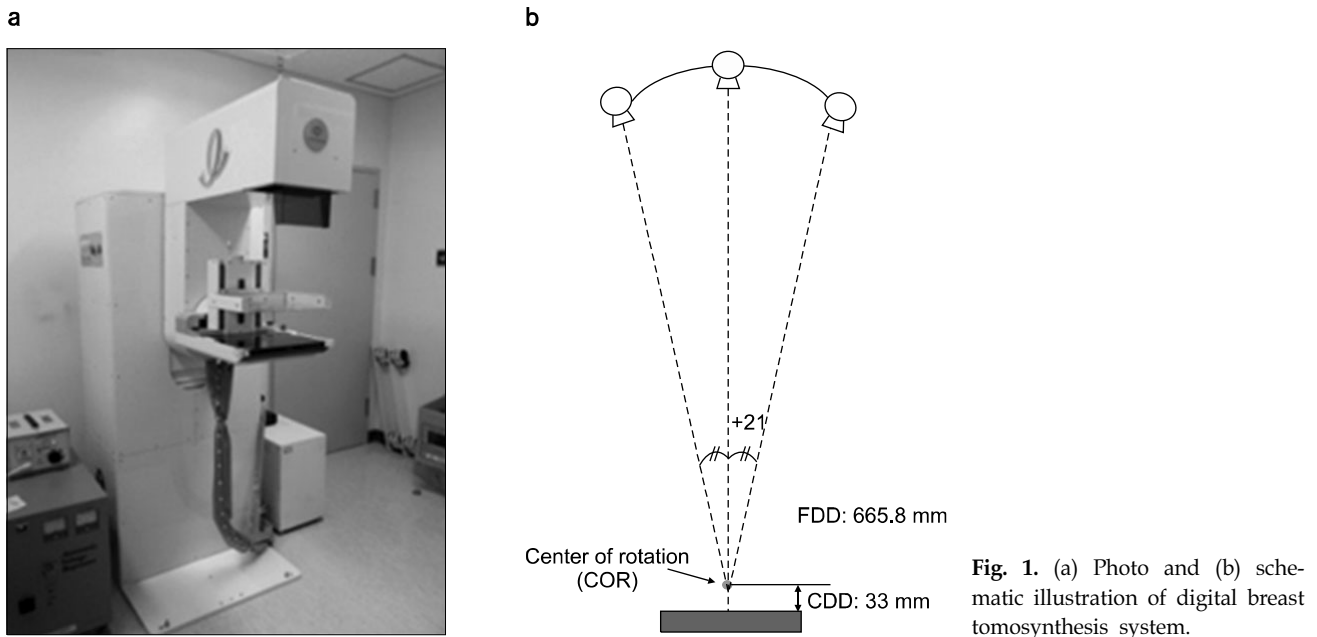


Fig. 1. (a) Photo and (b) schematic illustration of digital breast tomosynthesis system.

시스템에서 3-D 영상을 획득하기 위해 FBP 알고리즘을 이용하는데,^{6,7)} CT와는 다르게 제한된 각도에서 영상을 획득하기 때문에 급격한 데이터 결핍 부분이 발생되며, 이러한 결핍된 데이터는 영상에서 다른 층의 간섭으로 인한 인공물(artifacts)을 유발시킨다. 이를 완화하기 위해 적절한 필터가 필요하다.^{8,9)}

본 논문에서는 DBT 시스템에서 FBP 알고리즘을 이용하여 영상재구성 시 발생하는 인공물을 줄이기 위해 다양한 필터들의 특성이 화질에 미치는 영향을 분석하고, 이를 기반으로 실제 프로토타입 DBT 시스템을 이용하여 유방팬텀 영상을 다양한 필터조합들을 적용하여 재구성한 영상을 분석비교함으로써 적절한 필터를 찾고자한다.

재료 및 방법

1. 3차원 DBT 시스템

본 연구에서 프로토타입의 3차원 DBT 시스템(KERI DBT system, Korea Electrotechnology Research Institute, Korea)을 사용하여 영상을 촬영하였다(Fig. 1). 사용된 DBT 시스템은 Table 1과 같은 사양이며, 동일한 조건으로 얻은 프로섹션으로 영상 재구성을 수행하였다. DBT 시스템의 X-선관은 최대 $\pm 25^\circ$ 범위에서 촬영이 가능하며 아치형으로 움직인다. 선원-검출기간 거리(focus-detector distance, FDD)는 665.8 mm이고 X-선관의 회전중심(center of rotation, COR)은 검출기로부터 33 mm이다. 본 연구에서는 회전각도가

Table 1. Specification of used DBT system.

Parameter		Value
X-ray Tube	Mode	Step and shoot
	Motion	Arch
	FDD (focus-detector distance)	665.8 mm
	COR (center of rotation)	33 mm
Flat panel detector	Dimension	291×230 mm ²
	Matrix size	3888×3072
	Pixel pitch	0.0748 mm
	Total angle range	$\pm 21^\circ$
Reconstruction	Number of projection	15
	Slice thickness	1 mm
	FBP ima. Dim.	2592×1440

$\pm 21^\circ$ 범위에서 약 3° 씩 회전하며 얻은 총 15장의 영상을 FBP 알고리즘을 사용하여 재구성하였다.

2. 시뮬레이션

본 연구에서는 MATLAB[®] (R2014b, MathWorks, USA) 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 공간에서 필터들의 특성을 조사하기 위해 아래와 같은 팬텀을 구현하였다(Fig. 2a). 이 팬텀은 $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$ 의 크기를 가지며, 크기가 $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$ 인 복셀을 $50 \times 50 \times 50$ 으로 매트릭스를 구성했다. 이 팬텀 내의 25번째와 26번째 슬라이스에 볼이 위치하고 있으며, 볼의 지름은 2 mm이다. 볼이 위치한 슬라이스를 내면 (in-plane)이라 하며, 볼이 위치하지 않은 슬라이스를 외면

(out-of-plane)이라 한다. 분광필터(spectral filter)의 영향을 확인하기 위해 다양한 필터조합으로 재구성된 내면의 영상과 프로파일을 비교하였다. 절편두께필터(slice thickness filter)가 다른 층의 간섭현상을 완화시켜 줄 수 있는지 확인하기 위해 내면과 외면의 영상 및 프로파일을 이용하여 비교 평가하였다. 프로파일은 Fig. 2b와 같이 X-선관이 움직이는 방향으로 볼의 가운데 선을 따라 획득하였다.

3. 유방 팬텀

실제 DBT 시스템에서 필터특성을 분석하기 위해 균일한 조직의 유방팬텀 중 하나인 CIRS (Computerized Imaging Reference Systems) Mammography research set (012A 모델)을 이용하였다. 본 연구에서 사용된 012A 모델 팬텀은 1장의 평판은 두께가 10 mm로, 총 5장의 평판을 사용하였다. 이 유방 팬텀은 50%의 유선율을 가지는 유방조직과 같은 등가물질로 이루어져있으며, 여러 장의 균일한 평판들 중에는 미세석회화(micro-calcification), 지방(fat), 섬유(fiber), 종괴(mass) 등이 포함된 1장의 평판이 포함되어 있다. 영상

재구성시 미세석회화, 지방, 섬유조직, 종괴 등이 포함된 슬라이스가 내면을 의미한다. 분광필터의 값에 따른 영상화질을 비교하기 위해 내면의 미세석회화, 지방의 영상화질을 비교하였다. 절편두께필터에 대한 특성을 분석하기 위해서 내면의 공간분해능 분석 패턴 부분과 외면에서의 공간분해능 분석 패턴 영역의 영상을 비교 평가하였다.

4. FBP 알고리즘

본 연구에서는 DBT 시스템의 영상재구성을 위해 FBP 알고리즘을 이용하였다. 푸리에 박편(Fourier slice) 이론에 따라 획득한 영상 데이터를 푸리에 변환을 통해 획득 시 X-선관의 각도와 데이터들의 성분을 주파수 공간에 표현할 수 있다(Fig. 3a).^{5,8)} 역투영에서 나타나는 잔상이나 인공물은 필터링을 통해 완화시킬 수 있으며, 단층영상합성법의 필터링에 필요한 필터는 다음과 같이 표현된다.¹⁰⁻¹³⁾

$$H_{filter}(\omega_y, \omega_z) = H_{RA}(\omega_y, \omega_z) \cdot H_{SA}(\omega_y) \cdot H_{ST}(\omega_z) \quad (1)$$

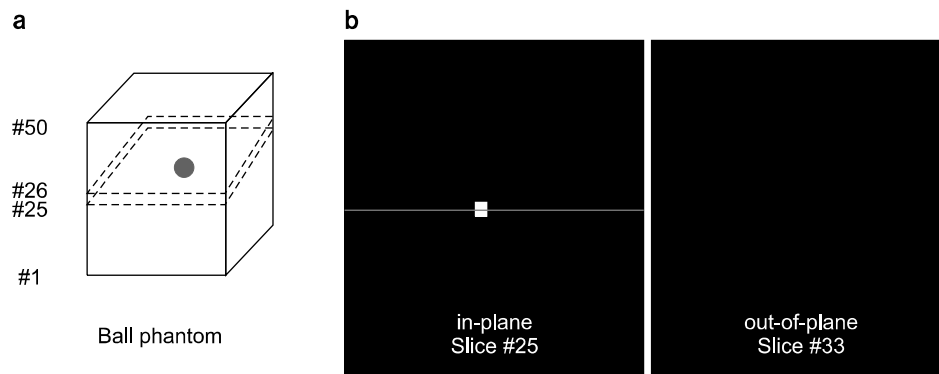


Fig. 2. (a) A schematic illustration of simulated phantom and (b) in-plane and out of plane of ball phantom.

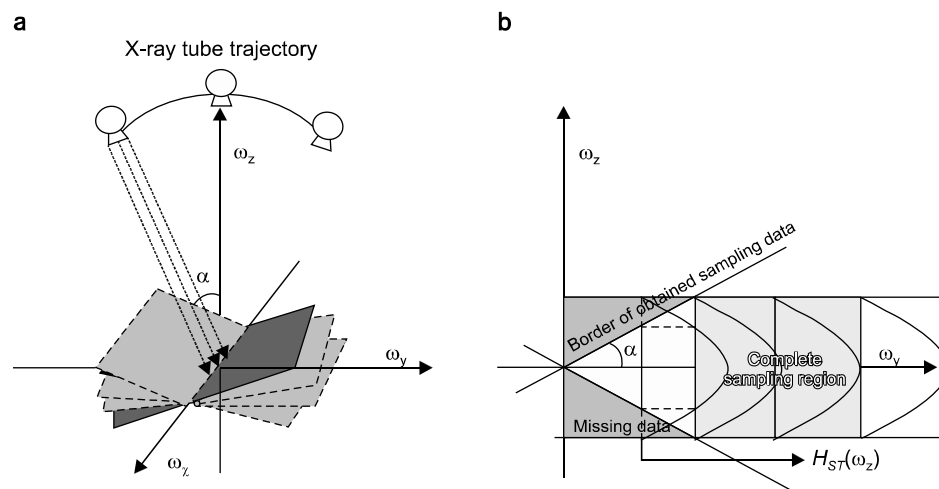


Fig. 3. (a) Sampled region in the frequency domain by the Fourier slice theorem, and (b) a schematic illustration of slice thickness filter in z-direction frequency that can be used to improve artifacts resulted from missing data.

여기서 $H_{RA}(\omega_y, \omega_z)$ 와 $H_{SA}(\omega_y)$, $H_{ST}(\omega_z)$ 는 각각 Ramp-lak 필터와 분광 필터, 절편두께필터를 의미한다. 투영-역투영과정에서 선원의 동심원 구동으로 인하여 주파수공간에서 반경의 역수로 표현되는 인공물을 보정하기 위해 필요한 필터는 다음과 같다.

$$H_{RA}(\omega_y, \omega_z) = 2\alpha \sqrt{\omega_y^2 + \omega_z^2}, |\omega_z| < \tan\alpha |\omega_y| \quad (2)$$

이와 같은 Ramp-lak 필터는 과잉으로 중첩된 저주파 영역의 정보를 효과적으로 보상하여 흐려짐 등의 인공물을 효과적으로 제거할 수 있는 반면, 고주파 영역에서 나타나는 잡음을 강조하는 현상이 나타난다.¹⁴⁾ Ramp-lak 필터의 이러한 단점을 해결하기 위해 분광필터의 일종인 Hann 윈도우를 사용하였다.

$$H_{SA}(\omega_y) = 0.5 \left(1 + \cos \left(\frac{\pi \omega_y}{A} \right) \right), |\omega_y| < A \quad (3)$$

이 식에서 A는 ω_y 축으로의 주파수 대역을 조절하는 파라미터이다. 디지털 단층영상합성 기법에서는 제한된 각도

ω_y 로 획득한 영상 데이터를 획득하므로 주파수 공간에서 축을 중심으로 방향으로의 급격한 데이터 결핍이 발생된다 (Fig. 3b). 주파수 공간에서 데이터의 결핍은 단층영상에서 발생하는 흐려짐의 주된 원인이 되며 다른 층의 간섭으로 인한 인공물을 유발시킨다. 위의 분광필터와 같은 디자인의 Hann 윈도우를 ω_z 방향으로 적용함으로써 이러한 인공물을 경감시킬 수 있으며, 이 필터를 절편두께필터라 부른다.

$$H_{ST}(\omega_z) = 0.5 \left(1 + \cos \left(\frac{\pi \omega_z}{A} \right) \right), |\omega_z| < B \quad (4)$$

여기서 파라미터 B는 ω_z 축으로의 주파수 대역을 조절할 수 있다.

DBT 시스템의 영상 재구성 시 필터링에 필요한 필터들 중 분광필터, 절편두께필터가 영상의 화질에 미치는 영향을 평가하기 위해 8가지의 필터조합을 사용하였다. 본 논

Table 2. Summary of used reconstruction filter schemes.

Reconstruction filter schemes	
Filter scheme 1	$H_{RA}(\omega_y)$
Filter scheme 2	$H_{RA}(\omega_y) \times H_{SA}(\omega_y)$, A=1
Filter scheme 3	$H_{RA}(\omega_y) \times H_{SA}(\omega_y)$, A=0.5
Filter scheme 4	$H_{RA}(\omega_y) \times H_{SA}(\omega_y)$, A=0.25
Filter scheme 5	$H_{RA}(\omega_y, \omega_z) \times H_{SA}(\omega_y)$, A=1
Filter scheme 6	$H_{RA}(\omega_y, \omega_z) \times H_{SA}(\omega_y) \times H_{ST}(\omega_z)$, A=1, B=1
Filter scheme 7	$H_{RA}(\omega_y, \omega_z) \times H_{SA}(\omega_y) \times H_{ST}(\omega_z)$, A=1, B=0.2
Filter scheme 8	$H_{RA}(\omega_y, \omega_z) \times H_{SA}(\omega_y) \times H_{ST}(\omega_z)$, A=1, B=0.12

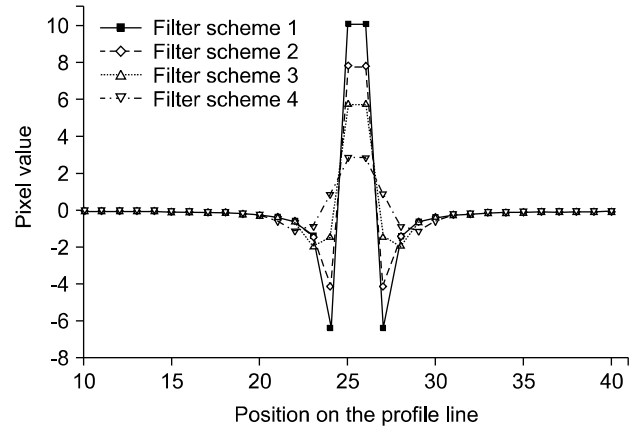


Fig. 5. Profiles through line #25 of reconstructed slice #25 with different spectral filters.

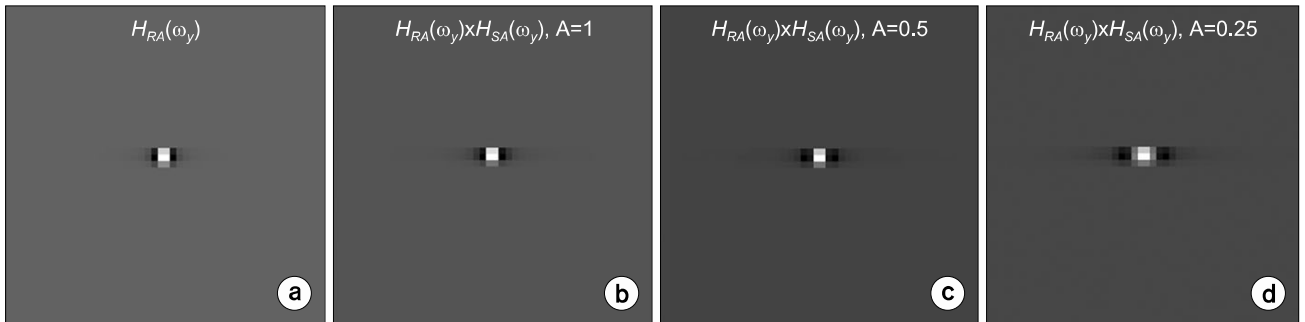


Fig. 4. Reconstructed images of ball phantom with filter scheme (a) 1, (b) 2, (c) 3, and (d) 4.

문에서 사용된 재구성 필터조합은 Table 2와 같다. 필터조합 1부터 4는 분광필터의 특성을 확인하기 위해 사용했다. 분광필터가 Ramp-lak 필터에 의한 영향을 완화시킬 수 있는지 분석하기 위해 재구성된 3차원 영상의 내면 영상을 비교했으며, 프로파일을 분석하였다. 필터조합 5부터 8은 절편두께필터의 특성을 확인하기 위해 사용했다. 절편두께필터가 다른 층의 간섭으로 인한 인공물을 완화시킬 수 있는지 확인하기 위해 내면과 외면의 영상과 프로파일을 비교 분석하였다.

실제 DBT 시스템에서 분광필터의 특성을 분석하기 위해 노이즈를 평가하는 방법 중 하나인 COV (coefficient of variation)를 식(5)를 이용하여 계산했다.¹⁵⁾

$$COV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100(\%) \quad (5)$$

식(5)에서 σ 와 μ 는 팬텀의 백그라운드(background)에 30×30 픽셀로 된 관심영역(region of interest, ROI)에서 각각 표준편차와 평균 픽셀값이다.

결 과

1. 시뮬레이션 결과

분광필터, 절편두께필터의 효과를 확인하기 위해 볼 팬텀(Fig. 2)을 이용하였다. Fig. 4는 시뮬레이션 공간에서 필터조합 1부터 4에 따라 재구성한 볼 팬텀의 영상(in-plane, 25번째 슬라이스)을 보여준다. 이 결과는 분광필터의 효과를 보여주는데, 분광필터의 파라미터 A값이 줄어들수록 볼 팬텀의 선예도와 강도가 감소하였다.

Fig. 5는 Fig. 4에서 획득한 25번째 슬라이스에서 볼 팬텀의 선을 따라 얻은 프로파일이다. 필터조합 1의 프로파일에서 픽셀 값이 음수인 부분은 Ramp-lak 필터에 의한 영향을 의미한다.^{7,10)} 분광필터의 파라미터 A값이 줄어들수록 전체적인 픽셀값이 감소하고, 볼의 경계 부분에 존재하는 픽셀 값들이 음수에서 0으로 다가간다.

Fig. 6는 절편두께필터의 영향을 보여주기 위한 실험결과로, 필터조합 5부터 8을 이용하여 재구성하였다. Fig. 6a, b, c와 d는 각각 필터조합 5, 6, 7와 8로 재구성된 영상으로 볼 팬텀의 25번째 슬라이스(in-plane)와 33번째 슬라이스(out-of-plane)를 보여주고 있다.

Fig. 7는 Fig. 6에서 획득한 25번째 슬라이스(out-of-plane)

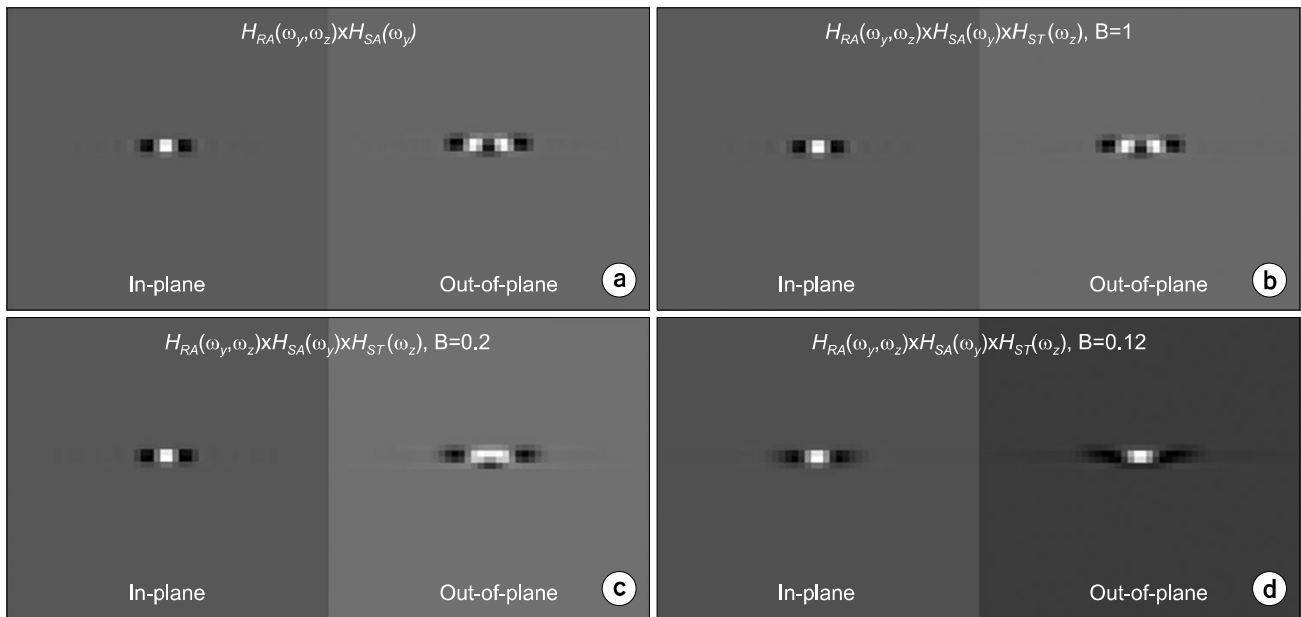


Fig. 6. Reconstructed images of ball phantom with filter scheme (a) 5, (b) 6, (c) 7, and (d) 8. The in-plane slices through the balls center, and the out-of-planes with distance of 8 mm were shown.

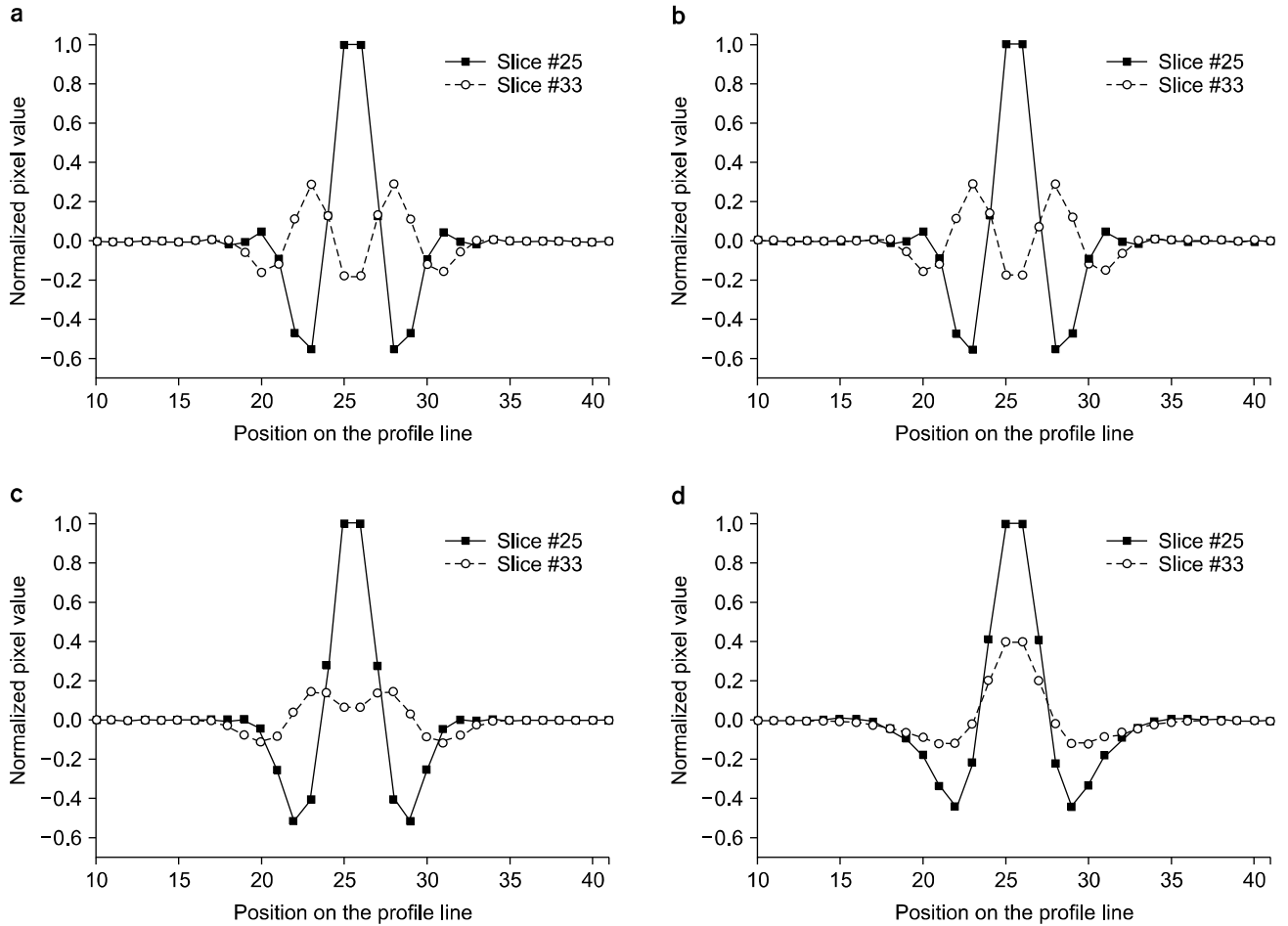


Fig. 7. Profiles through line #25 of reconstructed slice #25 and #33 with filter scheme (a) 5, (b) 6, (c) 7, and (d) 8. The normalized profiles in the slice #25 through the object ($z=0$) were drawn with black lines, the profiles for the slice #33 ($Z=8$ mm) with red lines.

와 33번째 슬라이스(in-plane)의 25번째 선에서 획득한 프로파일을 보여준다. 내면과 외면의 프로파일을 비교하기 위해 내면의 프로파일로 외면의 프로파일을 정규화하여 픽셀 값을 표현하였다.

2. 프로토타입 DBT 시스템의 결과

Fig. 8는 프로토타입 DBT 시스템으로 Model 012A 유방 팬텀을 재구성한 영상이다. 필터조합 1부터 4를 이용하여 획득한 영상들을 비교함으로써 분광필터의 특성을 확인하였다. 잡음이 감소하는 것을 정량적으로 확인하기 위해 팬텀의 백그라운드에 30×30 픽셀로 된 관심영역(region of interest, ROI)에서의 COV를 Table 3에 나타냈다.

Fig. 9는 DBT 시스템에서 유방팬텀을 필터조합 5부터 8을 이용하여 재구성한 결과이다. 재구성된 3-D 영상은 50개의 슬라이스로 되어 있으며, 미세석회화, 종괴, 공간분해

능 분석 패턴이 포함된 내면의 위치는 17번째였다. Fig. 9에서의 외면의 위치는 25번째 슬라이스로 내면($z=0$ mm)보다 +8 mm 위에 위치한다.

고찰 및 결론

DBT 시스템에서 FBP 알고리즘으로 영상 재구성 시, 분광필터와 절편두께필터의 영향을 확인하기 볼 팬텀의 시뮬레이션과 실제 시스템을 이용하였다. 시뮬레이션에서 분광필터의 영향을 확인하기 위해 분광필터의 파라미터 A값을 조절하여 주파수 영역에서의 cut-off frequency를 설정하였다. 분광필터의 파라미터 A값이 줄어든다는 의미를 공간도메인에서 보았을 때 물결 파동 현상이 적어지고 흐려지는 것을 의미한다. 이러한 이유로 재구성된 볼 팬텀의 내면(25번째 슬라이스)에서 파라미터 A값이 줄어들수록 볼 팬

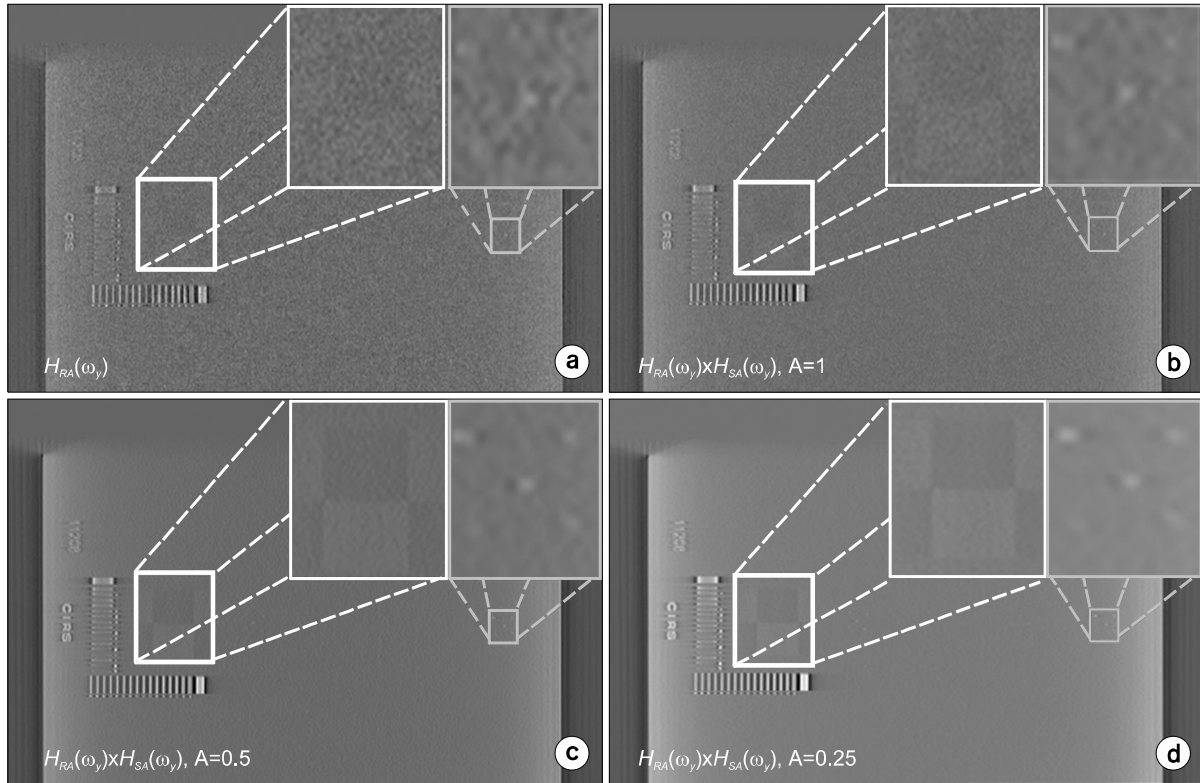


Fig. 8. Central slices of breast phantom reconstructed with filter scheme (a) 1, (b) 2, (c) 3, and (d) 4.

Table 3. COV of background in reconsteucted image.

Filter	ρ	μ	COV (%)
Filter scheme 1	0.028	0.014	195.07
Filter scheme 2	0.013	0.014	97.058
Filter scheme 3	0.006	0.014	45.925
Filter scheme 4	0.003	0.014	20

텀의 선예도와 강도가 감소하였다(Fig. 4). Fig. 5는 Fig. 4의 영상에서 X-선관이 움직이는 방향을 따라 영상의 중앙에서 획득한 프로파일이다. 필터조합 1은 Ramp-lak 필터만으로 구성된 필터조합으로, Ramp-lak 필터를 공간도메인에서 고려했을 때 물결파동 현상에 의한 영향을 재구성된 영상의 프로파일에서도 확인이 가능하다. 분광필터의 파라미터 A 값이 줄어들수록 Ramp-lak 필터에 의한 영향이 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 6, 7은 절편두께필터에 의한 영향을 확인하기 위해 획득한 볼 팬텀의 재구성 영상과 프로파일이다. 절편두께 필터는 ω_y 축과 ω_z 축 방향의 정보들의 불균형을 줄여줌

으로써 단층영상에서 발생하는 흐려짐이나 다른 층의 간섭으로 인한 인공물을 감소시킬 수 있다. Fig. 6a의 외면에서는 인공물이 두 개로 분리되어 인공물이 영상에 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이에 비해 Fig. 6c나 Fig. 6d의 외면에서는 두 개로 분리되어 보이던 인공물이 하나로 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 절편두께필터로 cut-off frequency 영역을 조절함으로써 다른 슬라이스에 대한 간섭이 줄어드는 것으로 보인다. Fig. 6에서 획득한 영상에서 각각 볼을 지나는 선을 따라 프로파일을 획득하여 Fig. 7로 나타냈다. 프로파일은 각각의 영상의 내면을 기준으로 외면을 정규화해서 나타내었다. Fig. 7a에서는 33번째 슬라이스에서 다른 층에 대한 인공물이 두 개로 분리되어 보인다. Fig. 7b는 a와 큰 차이는 보이지 않으나 Fig. 7d로 갈수록 33번째 슬라이스에서의 아티팩트가 균일하게 퍼진다. 결과적으로 적절한 절편두께필터의 파라미터를 사용하면 다른 층의 간섭을 줄일 수 있음을 알 수 있다. 하지만 모든 외면에서 인공물이 보이는 것을 확인할 수 있었다.

볼 팬텀의 시뮬레이션을 통한 다양한 필터들의 조합을 실제 프로토타입 DBT 시스템을 이용하여 획득한 유방 팬

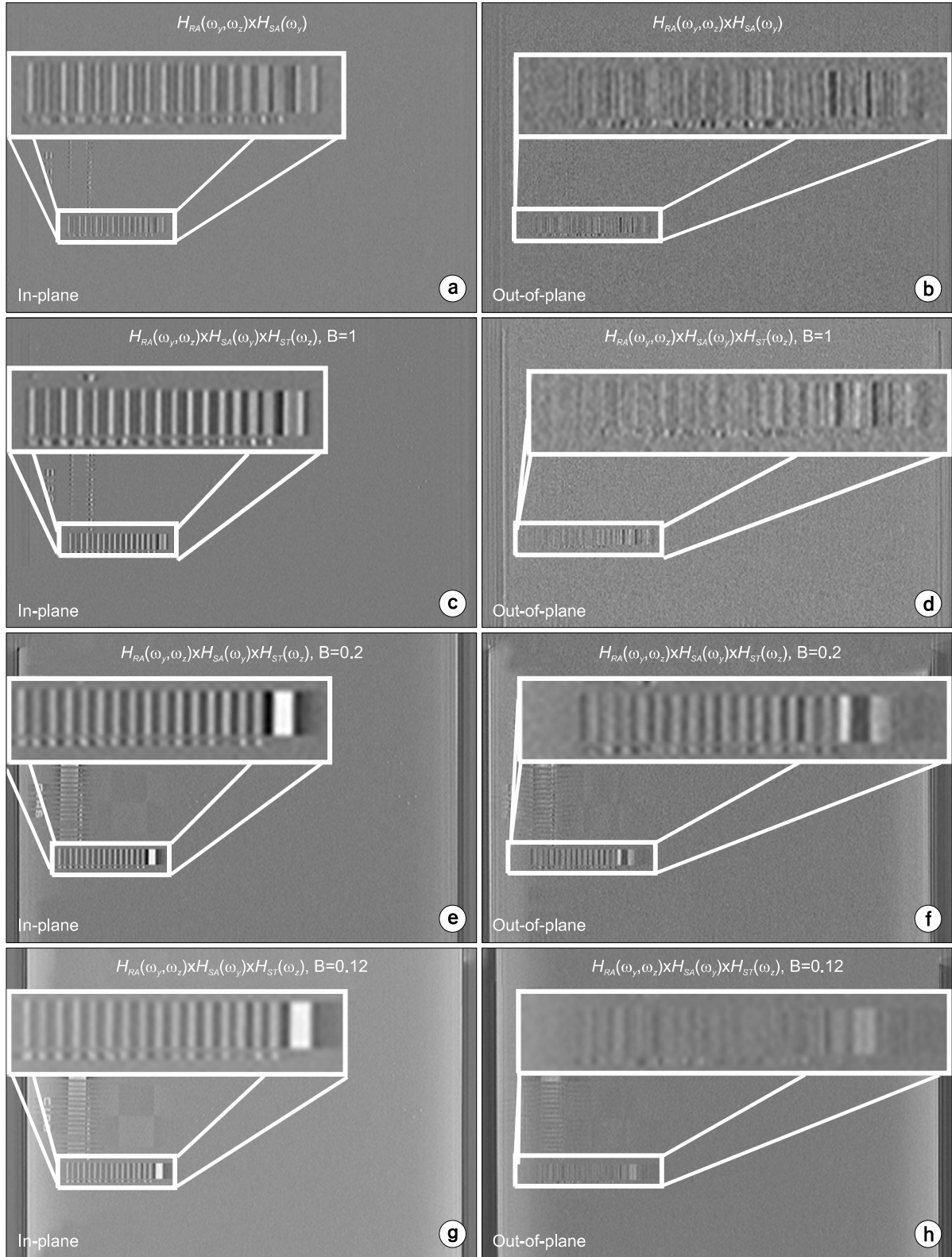


Fig. 9. The reconstructed images of breast phantom. The in-planes (slice #17) reconstructed with filter scheme (a) 5, (c) 6, (e) 7, and (g) 8. The out-of-planes (slice #25) reconstructed with filter scheme (b) 5, (d) 6, (f) 7, and (h) 8.

텀의 3-D 영상 재구성에 적용해보았다. 필터조합 1의 경우 Ramp-lak 필터에 의해 고주파 영역에서 나타나는 잡음이 강조된 것을 확인할 수 있다. 분광필터의 파라미터 A를 조절하여 획득한 재구성 영상 결과는 볼 팬텀의 시뮬레이션의 결과와 비슷하게 Ramp-lak 필터에 의한 영향을 줄일 수 있었다(Fig. 8). 실제 시스템에서 획득한 영상에서는 분광필터를 적용하지 않은 경우는 COV 값이 약 195%였으며, 분광필터를 적용한 경우는 COV 값이 약 97%로 감소한 것을 확인할 수 있었다. 또 분광필터의 파라미터 인자 값들이 0.5와 0.25일 때는 각각 COV 값이 약 46%와 약 20%였다. 분광필터의 파라미터 인자들을 조절하여 잡음이 감소함으로써 미세석회화, 지방 등의 영상화질이 개선되었다. Fig. 9은 절편두께필터의 영향을 확인하기 위해 획득한 유방팬텀의 17번째 슬라이스와 30번째 슬라이스이다. 파라미터 B가 작아질수록 30번째 슬라이스에 공간분해능 분석 패턴이 퍼지는 길이가 줄어들면서 슬라이스간의 데이터 간섭이 완화되는 것을 확인할 수 있다. 유방팬텀의 다양한 필터조합을 적용하여 재구성한 결과는 볼 팬텀의 시뮬레이션의 결과와 비슷하였다.

본 연구에서는 단층영상합성법에 이용되는 분광필터와 절편두께필터가 재구성시 영상에 미치는 영향을 확인하기 위해 시뮬레이션과 실제 프로토타입 디지털 유방단층영상합성 시스템을 이용하였다. 그 결과 분광필터의 파라미터 A를 조절하여 ω_y 의 주파수 대역을 설정함으로써 영상의 잡음과 공간 해상도를 조절할 수 있었다. 또한 절편두께필터를 이용하여 제한된 각도에서 영상 획득으로 인한 인공물을 감소시킬 수 있었다. 본 연구는 DBT 시스템에서 잡음과 데이터 결핍에 의한 인공물을 줄이기 위한 다양한 필터 조합에 대한 정보를 제공함으로써 DBT 시스템 기초연구 및 임상적용에 활용도가 높을 것으로 기대된다.

References

1. National Cancer Information Center: <http://www.cancer.go.kr> (2009)
2. Smith A: Full field breast tomosynthesis, Radiol Manage, Vol. 27 (2005), pp. 25-31
3. Kim Ys, Park HS, Choi JG, et al: Comparison of digital mammography and digital breast tomosynthesis, Prog Med Phys, Vol. 23 (2012), pp261-268
4. Shon CS, Cho MK, Limv CH, Cheong MH, Kim HK, Lee SS: Enhancement of image sharpness in x-ray digital tomosynthesis using self-layer subtraction backprojection method, Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 27(2007), pp 8-14
5. Lauritch L, Haerer WH: A theoretical framework for filtered backprojection in tomosynthesis. SPIE, Vol. 3338 (1998)
6. Dobbins III JT, Godfrey DJ: Digital x-ray tomosynthesis : current state of the art and clinical potential. Phys. Med. Biol, 48, R65 (2003)
7. Sechopoulos I: A review of breast tomosynthesis. Part II. Image reconstruction, processing and analysis, and advanced applications. Med. Phys., 40(1), (2013)
8. Mertelmeier T, Orman J, Haerer WH, Dudam MK: Optimizing filtered backprojection reconstruction for a breast tomosynthesis prototype device. SPIE, Vol. 61420F (2006)
9. Hu YH, Zhao B, Zhao W: Image artifacts in digital breast tomosynthesis : Investigation of the effects of system geometry and reconstruction parameters using a linear system approach. Med. Phys., 35, 5242 (2008)
10. Youn H, Kim JS, Cho MK, Jang SY, Song WY, Kim HK: Optimizing imaging conditions in digital tomosynthesis for image-guided radiation therapy, Korean J Med Phys, Vol. 21(3) (2010)
11. Cong L, Zhao W, Chen Y: Effects of slice thickness filter in filtered backprojection reconstruction with the parallel breast tomosynthesis imaging configuration. Proc. IEEE-International Symposium on Intelligent Biological Medicine (2011)
12. Oh JE, Cho HS, Kim DS, Choi SI, Je UK: Application of digital tomosynthesis of optimal deblurring filters for dental X-ray imaging. JKPS (2012), p.1161-1166
13. Mertelmeier T: Filtered backprojection-based methods for tomosynthesis image reconstruction. I. Reier, S. J. Glick : Tomosynthesis imaging, Taylor & Francis, New York (2014), pp. 101-106
14. Gonzalez RC, Woods RE: Digital imaging processing : international edition, 3rd, Pearson Education, NJ (2002)
15. Lee S, Lee CL, Cho HM, et al: Effects of reconstruction parameters on image noise and spatial resolution in cone-beam computed tomography, JKPS, Vol. 59 (2011) pp. 2825-2832

디지털 유방단층영상합성법의 FBP 알고리즘 적용을 위한 다양한 필터 조합에 대한 연구

연세대학교 보건과학대학 *방사선융합공학과, [†]방사선학과, [‡]안산 한국전기연구원

이행화* · 김예슬* · 이영진* · 최성훈* · 이승완* · 박혜숙* · 김희중*[†] · 최재구[‡] · 최영욱[‡]

최근에 디지털 유방촬영술(digital mammography, DM)의 해부학적 구조의 겹침 현상과 컴퓨터단층촬영영상(computed tomography, CT)의 높은 환자 선량을 해결하기 위해 디지털 유방단층영상합성장치(digital breast tomosynthesis, DBT)에 대한 연구 개발이 활발하게 수행되고 있다. 하지만 DBT 시스템은 제한된 각도로 영상을 획득하면서 급격한 데이터 결핍으로 인해 다른 층의 간섭으로 인한 인공물(artifacts)이 발생한다. 이를 완화시키기 위해 적절한 필터가 필요하다. 본 논문에서는 DBT 시스템에서 FBP 알고리즘을 이용하여 영상재구성 시 발생하는 인공물을 줄이기 위해 적절한 필터조합을 찾는 것이 궁극적인 목적이다. 시뮬레이션과 실제 실험을 통해 동일한 영상 획득조건에서 FBP 알고리즘을 이용해 재구성된 영상을 분석하여 다양한 필터 조합들의 특성을 조사했다. 필터 특성에 대한 평가를 하기 위해 영상 및 프로파일의 분석과 COV (coefficient of variation)를 이용하여 인공물과 잡음에 대한 평가를 하였다. 본 연구 결과를 통해 분광필터(spectral filter)의 파라미터 인자 값들을 조절하여 cut-off frequency를 설정함으로써 고주파 영역에 있는 영상의 잡음을 줄일 수 있었다. DBT 시스템에서 유방팬텀을 재구성한 영상들을 비교했을 때 분광필터의 파라미터 인자를 0.25로 적용한 영상의 결과는 분광필터를 적용하지 않았을 때보다 영상의 잡음을 10%로 감소시킬 수 있었다. 절편두께필터(slice thickness filter)의 파라미터 인자의 값들을 조절하여 정보들의 불균형을 줄임으로써 다른 층의 간섭으로 인한 인공물을 감소시킬 수 있었다. 결론적으로, 본 연구를 통해 FBP 알고리즘으로 재구성했을 때 필터들의 기본 특성을 확인 할 수 있었으며, 적절한 필터 조합이 실제 화질 개선에 기여한 것으로 확인할 수 있었다. 이 연구 결과는 다양한 필터 조합에 따른 잡음과 데이터 결핍에 의한 인공물에 대한 정보를 제공하여 DBT 시스템의 개발 및 임상화적용 연구에 기반이 될 것으로 기대된다.

중심단어: 디지털 유방단층영상합성법, 필터링후역투영, 분광필터, 절편두께필터, 잡음, 간섭현상