

X-선 스펙트럼 변조 기술 연구

X-Ray Spectrum Modulation for Mammography

김광현*, 김경락**, 오창현*,**

*고려대학교 의공학협동과정 [전화:(02)3290-3984, 팩스:(02)924-4294, E-mail : khkim@mri.korea.ac.kr]

**고려대학교 전자및정보공학부 [전화:(02)3290-3984, 팩스:(02)924-4294, E-mail : glgreen@korea.ac.kr, E-mail : ohch@mri.korea.ac.kr]

Abstract : Energy spectrum modulation of X-ray source in digital mammography has been studied. In this study, we calculated various filtered spectra using the scattering data. Primary spectra were generated by Molybdenum(Mo) and Tungsten(W) targets. The materials of added filters are Molybdenum and Rhodium(Rh). For 40 kVp Mo. primary spectrum, the amounts of photons over whole energy ranges are attenuated to 0.43 with 0.03 mm Mo filter and 0.38 with 0.06 mm Mo filter while the photons of energy ranged from 17 keV to 20 keV. The photons of low energy ranged below 17 keV are considerably attenuated. This effect brings out reducing the scattered radiation and dose to the patient, and enhancing subject contrast in the image. The results show that filtered spectra are not seriously affected by X-ray tube loadability. Because the energy range from 17 keV to 20 keV is directly transmitted although low and high energies are mainly filtered.

Key words : X-ray spectrum, Attenuation coefficient, Molybdenum, Rhodium, Tungsten

I . Introduction

Mammography 영상의 질과 Dose는 X-선 스펙트럼에 따라 영향을 많이 받는다. 스펙트럼은 Anode의 물질에 따라 달라진다. 즉, 적절한 X-선 스펙트럼의 선정은 영상의 Contrast와 Dose사이의 Trade-off 관계가 되는 것이다. 본 연구에서는 X-선 Tube에서 사용되는 다양한 Filter를 선택하여 Primary Spectrum을 변조하여 Contrast와 Dose와 관련된 에너지대역을 감쇠시키는 시뮬레이션을 수행하였다.

Molybdenum - Molybdenum (Mo - Mo), Molybdenum - Rhodium (Mo - Rh), Tungsten - Rhodium (W - Rh)의 3가지 Assembly를 고려하여 Simulation 하였다.

일반적인 X-선 발생 장치 또는 System에서의 Filtering은 다음과 같이 3가지로 분류할수 있다.

- Inherent Filtration
- Additional Filtration
- Object Filtration

첫째, Inherent Filtration은 X-선 Tube 및 용기 등 장치상에서 발생하는 고유의 Filtration이다. 둘째, Additional Filtration은 X-선 Target 물질을 거쳐 나온 X-선이 Molybdenum, Rhodium 등과 같은 물질에 의해 X-선 에너지 특성이 변화되는 것이다. 셋째, Object Filtration은 조직을 빠져 나와 특성이 변화한 Filtration을 일컫는다. 이때의 X-선 Source를 Filtration을 거치면 X-선 속의 일부 에너지 부분을 감약하게 된다. 따

II . Theory and methods

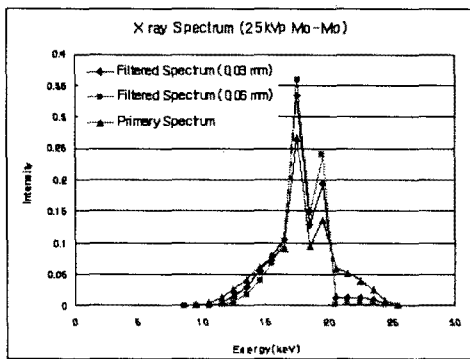
Digital Mammography System에서 가장 적절한 에너지를 선택하기 위해서는 다양한 Source - Filter의 Assembly Spectrum을 검토하여야 한다. 이번 연구는

라서, 고유의 Spectrum이 변형 (변조)되어, 영상을 얻음에 있어서 환자에게는 불필요한 영역의 Energy, Subject Contrast, 강도(Intensity) 등 다양한 변수들이 변화한다. 즉, Trade-Off 해야하는 요소들이 발생하게 된다.

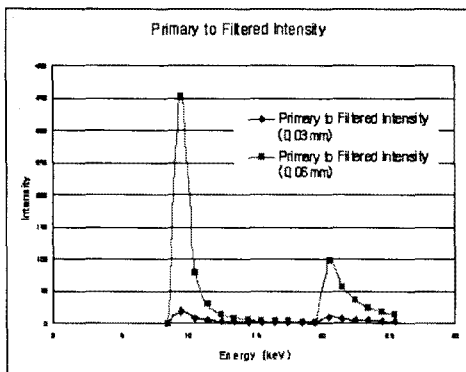
일반적으로 Subject Contrast, S/N, Dose 등은 에너지를 증가시키에 따라 감소한다. 또한, Beam 에너지를 감소시키에 따라 Contrast를 증가시키고 Dose를 감소시킨다. 이때, 사용하는 Filter의 역할은 이미지 형성에 기여하지 못하는 저 에너지 영역의 Photon을 제거하고, K-Shell 결합 에너지의 영역 에너지 부분에서 K 특성 복사 영역의 에너지대만을 잘 투과하게 하는데 있다.

III. Results

본 연구에서는 아래와 같이 Primary X-선 Spectrum에 대하여 Filter를 거쳐 변조된 X-선 스펙트럼을 시뮬레이션을 이용하여 계산하였다.



(a)

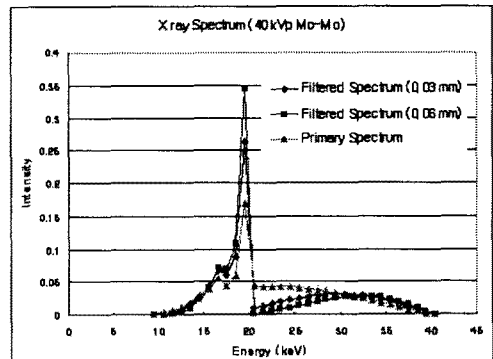


(b)

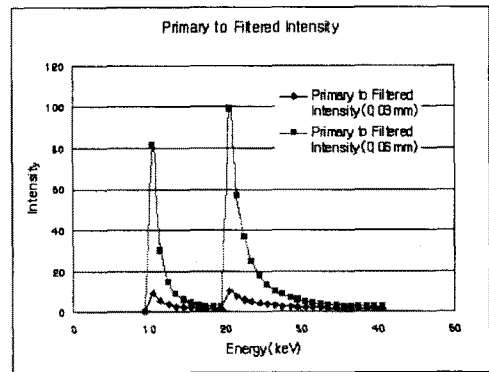
그림 1. (a) Mo. Filter 두께에 따른 Primary 및 Filterd X-선 스펙트럼 (b) 상대적 비율 (25 kVp, HVL : 0.42 mm Al., Mo.-Mo.)

X-ray Tube Voltage가 25 kVp 일때의 Mo. Primary Spectrum (HVL : 0.42 mm Al)을 0.03 mm 와 0.06 mm 일때의 Mo. Filter를 거친 Spectrum으로 계산한 결과를 <그림 1>에 보였다. 20 ~ 25 keV 영역의 에너지를 줄임으로써, 상대적인 Subject Contrast를 증가시킬 수 있는 것을 예측할 수 있다. 또한, 10 ~ 17 keV 영역의 Intensity를 감소시키으로써, 환자에게 불필요한 Dose를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

그러나, 17 ~ 20 keV 영역의 유효 에너지 부분의 Intensity가 0.03 mm, 0.06 mm 각각 1.8 배, 2.9 배 줄었다. 또한, 전체적으로는 0.03 mm, 0.06 mm 각각 2.1 배, 3.7 배 줄었다. 따라서, 초기 Spectrum에 대한 Intensity로 영상을 획득할 경우, 이에 해당하는 비율로 증가시켜서 X-선을 조사하여야 하므로, X-선 발생 장치의 Loadability (Effective Range : 10 %)가 증가하게 된다.



(a)

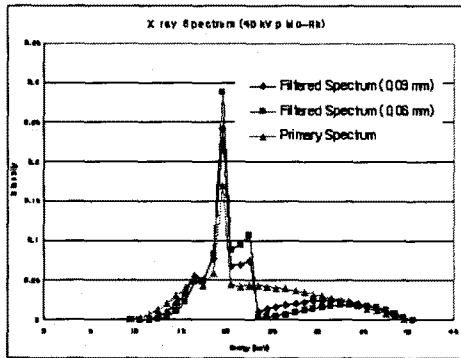


(b)

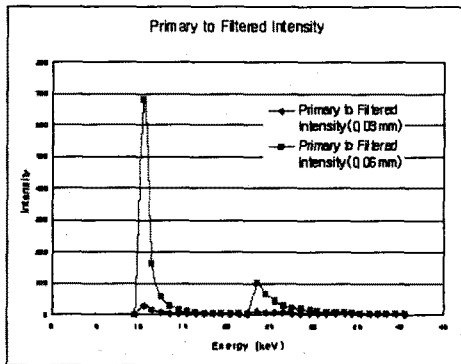
그림 2. (a) Mo. Filter 두께에 따른 Primary 및 Filterd X-선 스펙트럼 (b) 상대적 비율 (40 kVp, HVL : 0.56 mm Al., Mo.-Mo.)>

X-ray Tube Voltage가 40 kVp 일때의 Mo. Primary Spectrum (HVL : 0.56 mm Al)을 0.03 mm 와 0.06 mm 일때의 Mo. Filter를 거친 Spectrum으로 계산한 결과를 <그림 2>에 보였다. 20 ~ 40 keV 영역의 에너지를 줄임으로써, 상대적인 Subject Contrast를 증가시킬 수 있는 것을 예측할 수 있다. 또한, 10 ~ 18 keV 영역의 Intensity를 감소시킴으로써, 환자에게 불 필요한 Dose를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

그러나, 18 ~ 20 keV 영역의 유효 에너지 부분의 Intensity가 0.03 mm, 0.06 mm 각각 1.7 배, 2.6 배 줄었다. 또한, 전체적으로는 0.03 mm, 0.06 mm 각각 2.3 배, 4.3 배 줄었다. 따라서, 초기 Spectrum에 대한 Intensity로 영상을 획득할 경우, 이에 해당하는 배율로 증가시켜서 X-선을 조사하여야 하므로, X-선 발생 장치의 Loadability가 증가하게 된다.



(a)

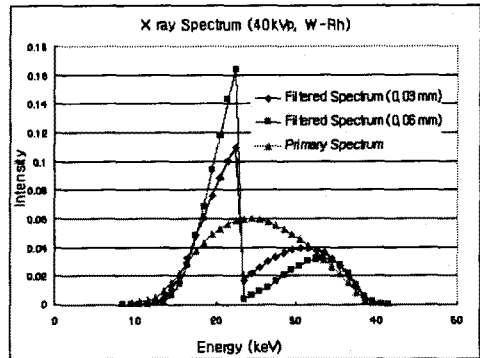


(b)

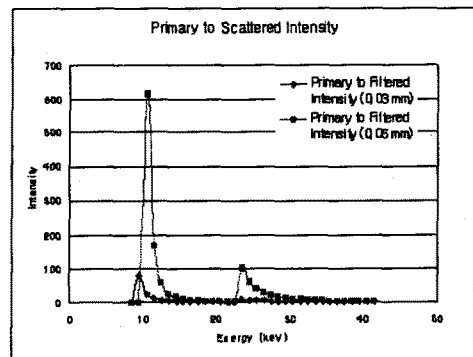
그림 3. (a) Rh. Filter 두께에 따른 Primary 및 Filterd X-선 스펙트럼 (b) 상대적 비율 (40 kVp, HVL : 0.56 mm Al., Mo.-Rh.)

X-ray Tube Voltage가 40 kVp 일때의 Mo.

Primary Spectrum (HVL : 0.56 mm Al)을 0.03 mm 와 0.06 mm 일때의 Rh. Filter를 거친 Spectrum으로 계산한 결과를 <그림 3>에 보였다. 20 ~ 25 keV 영역의 에너지를 줄임으로써, 상대적인 Subject Contrast를 증가시킬 수 있는 것을 예측할 수 있다. 또한, 10 ~ 17 keV 영역의 Intensity를 감소시킴으로써, 환자에게 불 필요한 Dose를 줄일 수 있음을 알 수 있다. 그러나, 17 ~ 20 keV 영역의 유효 에너지 부분의 Intensity가 0.03 mm, 0.06 mm 각각 1.8 배, 3.4 배 줄었다. 또한, 전체적으로는 0.03 mm, 0.06 mm 각각 2.55 배, 5.4 배 줄었다. 따라서, 초기 Spectrum에 대한 Intensity로 영상을 획득할 경우, 이에 해당하는 배율로 증가시켜서 X-선을 조사하여야 하므로, X-선 발생 장치의 Loadability가 증가하게 된다.



(a)



(b)

그림 4. (a) Rh. Filter 두께에 따른 Primary 및 Filterd X-선 스펙트럼 (b) 상대적 비율 (40 kVp, HVL : 0.83 mm Al., W.-Rh.) >

X-ray Tube Voltage가 40 kVp 일때의 W. Primary

Spectrum (HVL: 0.83 mm Al)을 0.03 mm 와 0.06 mm 일때의 Rh. Filter를 거친 Spectrum으로 계산한 결과를 <그림 4>에 보였다. Intensity 로 분석해 보면, 17 ~ 22 keV 영역의 유효에너지 부분이 0.03 mm, 0.06 mm 각각 3.7 배, 2.1 배 줄었다. 전체적으로는 0.03 mm, 0.06 mm 각각 2.7 배, 6.1 배 줄었다. 따라서, 초기 Spectrum에 대한 Intensity로 영상을 획득할 경우, 이에 해당하는 배율로 증가시켜서 X-선을 조사하여야 하므로, X-선 발생 장치의 Loadability가 증가하게 된다.

IV. Discussion

위와 같은 Simulation 결과로부터 Source-Filter Assembly의 특성을 분석하여 Filtration이 높은 에너지 영역을 감소시킴으로써 Subject Contrast를 증가시키는데 기여함과 낮은 에너지 영역에서 Dose량을 감소시킬 수 있음을 보였다. 이는 우수한 Subject Contrast를 유지 하면서 환자에게는 낮은 Dose량을 주어야 하는 최적의 X-선 Spectrum을 선별가능케 한다. 그러나, Dose량을 낮춘다면 영상의 질 또한 감소시킨다. 또한, 실제적인 Effective Range인 17 ~ 20 keV 영역의 에너지대에서는 Filtration에 의한 감쇠가 약 10% 이내로 거의 일어나지 않음을 알수 있었다. 이는 전체적인 X-ray Tube Loadability가 Filtering에 의해 영향을 거의 받지 않음을 확인케 한다.

Acknowledgements

본 연구는 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 지원을 받았습니니다.

Reference

- [1] Thomas R. Fewell and Ralph E. Shuping Med. HEW Publication(FDA) (1978)79-8071.
- [2] Martin J. Yaffe, Robert J. Jennings, Rebecca Fahrig, and Thomas R. Fewell. RSNA Categorical Course in Phys.(1993) 63-72.
- [3] C.T. Chantler, J. Phys. Chem. Ref. Data 24, 71-123, 1995.