

엑스선 촬영실의 공간산란선 발생 인자에 관한 연구

— A Study on the Factors of Spatial Scattered Ray Occurrence in the X-ray Radiography Room —

김천대학 방사선과·레이연구소 방사선부¹⁾

나수경·한상효¹⁾

— 국문초록 —

본 연구에서는 전리함을 이용하여 엑스선 촬영실 내에서 공간산란선량을 측정하고 산란선의 발생원과 조사 조건에 대한 산란율 의존성을 조사하였다. 아크릴 팬텀의 산란선 발생 인자를 조사하기 위해 관전압(40~140 kV)과 조사면(10×10 cm², 20×20 cm², 35×35 cm²)에 대한 산란율 변화를 측정하였다. 조사면이 35×35 cm² 일 때 측방산란율은 3.1~14.5%로 측정되었다. 촬영실 내에서 팬텀, 콜리메이터, 엑스선관, 벽면에서 발생하는 산란선량의 영향을 측정하였는데 전체 관전압에 대해 팬텀의 산란선 발생률은 95.4% 이상이었으며 콜리메이터, 엑스선관, 벽면의 산란선 발생률은 각각 2.6%, 1.3%, 0.7% 이하로 나타났다. 관전압 100 kV, 40 mAs 조사 조건에서 촬영실 내 팬텀으로부터 1 m 거리에서 측정된 공간선량은 최대 2 mR 정도로 나타나 조사조건의 최적화 등의 산란선 경감조치가 필요할 것으로 생각된다.

중심 단어: 공간산란선량, 산란율, 조사면, 측방산란율

I. 서 론

엑스선 촬영실 내에서 피사체나 주변 환경으로부터 발생하는 산란선은 진단영상의 질을 저하시킬 뿐만 아니라 불필요한 산란선에 노출된 환자, 보호자, 시술자 등은 방사선피폭이 가중될 가능성이 크다¹⁻⁴⁾. 일반적으로 알려진 바와 같이 조사면, 피사체 두께, 관전압 등은 산란선에 직접 영향을 미치는 요소로서 조사조건의 최적화를 통해 산란선으로 인한 피해를 방지할 수 있다⁵⁾. 한편 촬영실

내 산란선에 대한 관심과 정보 부족으로 인해 진단 및 방사선 장애가 실제로 존재하며 공간산란선의 발생인자와 특성에 대한 이해증진을 통한 방사선 이용과 관리의 질적 개선이 절실한 실정이다.

본 실험에서는 촬영실에서 발생할 수 있는 산란선의 원인과 특성을 분석하기 위해 조사면, 관전압에 따른 산란선 변화를 분석하였으며 팬텀, 콜리메이터, 엑스선관, 벽 등에서 발생하는 산란선량을 측정하여 각 산란 발생 요소들의 영향을 평가하였다. 또한 촬영실 내의 공간산란선의 분포를 분석하고 산란선 경감조건을 평가하고자 한다.

*접수일(2009년 10월 26일), 심사일(2009년 11월 6일), 2차 심사일(2009년 11월 23일), 확정일(2009년 12월 7일)

- 본 논문은 교육과학기술부의 2009년 우수인력양성 전문대학 교육역량강화사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

교신저자 : 나수경, (740-704) 경상북도 김천시 삼락동 754번지
김천대학교 방사선학과
TEL : 054-420-4046, FAX : 054-420-4047
E-mail : skna@gimcheon.ac.kr

II. 재료 및 방법

1. 연구 재료

1) 전리함(ion chamber)

- RADIATION PROTECTION CHAMBER

20X 6-1800(Radcal Corporation)

- 산란선 공간분포 측정
- Exposure Range : 0.1 uR to 240 R
- Energy dependence : $\pm 5\%$, 33 keV to 1.33 MeV
- Calibration Accuracy : $\pm 4\%$, 150 kVP

- SERVICE CHAMBER 20X6-60

- 산란율 측정

2) 엑스선 촬영장치

XDM-M1(Choongwae medical Corporation)

- 500 mA, 500 kVP

3) 피사체(팬텀)

- Acryl phantom, $36 \times 36 \times 18 \text{ cm}^3$

4) 납차폐체(lead shield)

- 2 mm Pb + 2 mm Al
- 12 cm(dia.) \times 15 cm(length)

2. 산란선 측정 방법

1) 측정 조건

- 조사면 : $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $20 \times 20 \text{ cm}^2$, $35 \times 35 \text{ cm}^2$
- 관전압 : 40 kV to 140 kV
- 관전류 및 조사시간 : 200 mA, 0.2 sec
- 초점과 팬텀 하단 사이의 거리 : 100 cm

2) 측정 방법

본 연구에서는 전리함(ion chamber)을 이용하여 엑스선이 피사체에 입사한 후 피사체의 주위에서 발생한 산란선량과 촬영실 내의 팬텀, 콜리메이터, 엑스선관, 벽 등의 산란선 발생요소에서 발생한 선량 및 공간산란선량 분포를 측정하였다.

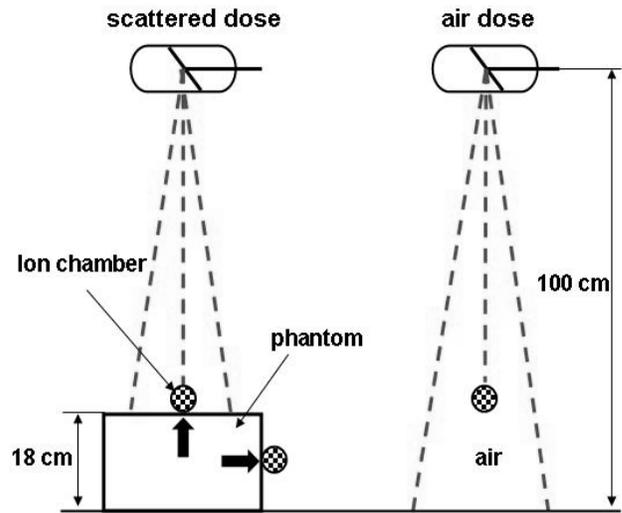


Figure 1. Schematic illustration for measurement of side-scatter, surface (left) and air dose (right).

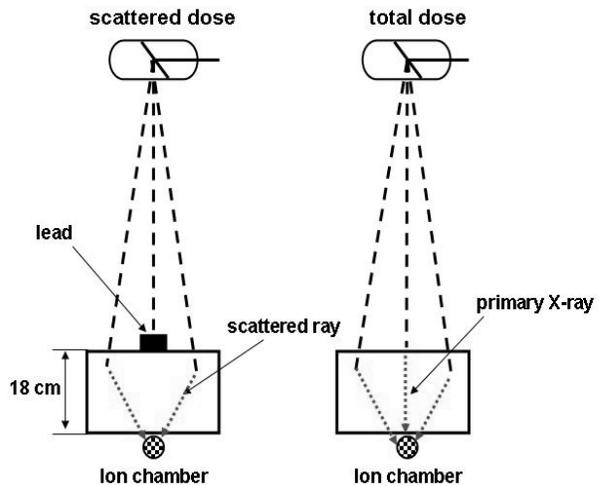


Figure 2. Schematic illustration for measurement of forward scattering rate.

(1) 측방산란율(side scattering rate)

엑스선과 팬텀의 상호작용으로 발생한 산란선 중 팬텀의 측면 중심에서 발생한 측방산란선량을 측정하고(Fig. 1, left) 이 값을 팬텀 표면 위치에서 팬텀이 없는 상태로 측정한 공중선량(Fig. 1, right)의 값으로 나누어 측방산란율을 구하였다.

$$\text{측방산란율} = \frac{\text{측방선량}}{\text{공중선량}} \times 100(\%)$$

(2) 후방산란율(back scattering rate)

팬텀의 표면에서 표면선량을 측정하고(Fig. 1, left) 이 값에서 공중선량을 뺀 후 공중선량으로 나누어 후방산란율^{6,7)}을 구하였다.

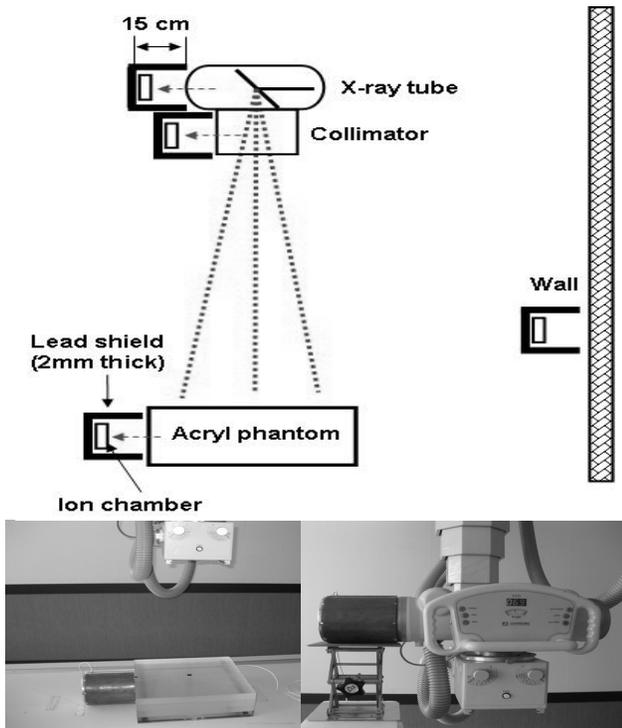


Figure 3. Schematic illustration and photographs for measurement of scattered radiation contribution.

$$\text{후방산란율} = \frac{\text{표면선량} - \text{공중선량}}{\text{공중선량}} \times 100(\%)$$

(3) 전방산란율(forward scattering rate)

3 mm두께의 납판을 팬텀 표면에 놓고 1차선을 차폐하고 팬텀 하단에서 산란선량(Fig. 2, left)을 측정 한 후, 이 값을 납판을 제거한 후 측정 한 총선량(Fig. 2, right)으로 나누어 전방산란율을 구하였다.

$$\text{전방산란율} = \frac{\text{산란선량}}{\text{총선량}} \times 100(\%)$$

(4) 촬영실 내의 산란선 발생요소의 영향

납 차폐체(전리함 입구 부분만 열려 있음) 속에 전리함을 넣고 촬영실 내의 팬텀, 콜리메이터, 엑스선관, 벽에서 발생하는 선량을 측정하여 각 요소의 영향을 평가하였다 (Fig. 3).

III. 실험 결과

1. 측방산란율

팬텀 측면의 중심에서 발생하는 산란선을 측정하기 위해서 조사면과 관전압을 변화시켜가며 측방산란율을 측정하

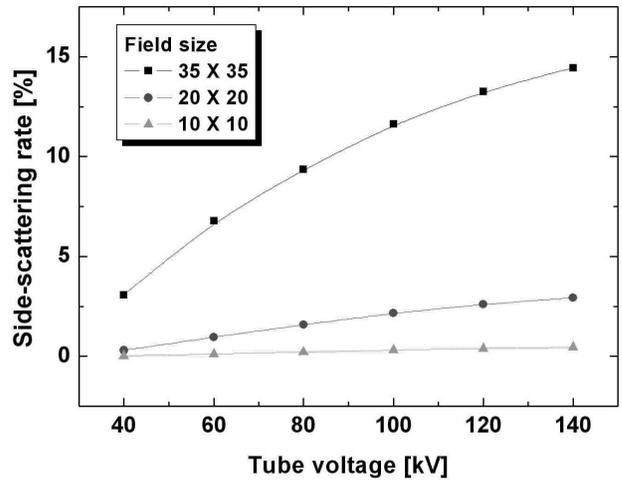


Figure 4. Side-scattering rate in the acrylic phantom with tube voltage of 40 kV to 140 kV

였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 각 조사면에 대해 관전압이 증가함에 따라 측방산란율은 증가하는 경향을 나타내었다. 조사면이 20×20 cm²인 경우 관전압이 40~140 kV로 증가할 때 측방산란율은 0.3%에서 2.9%로 증가하였으며 35×35 cm² 조사면에서는 3.1%에서 14.5%로 증가하였다. 조사면의 크기가 팬텀의 크기(36×36 cm²)에 가까워질수록 팬텀에서 흡수되는 산란선의 비율이 급격히 감소하고 이로 인해 측방산란율이 크게 증가함을 알 수 있다.

2. 후방산란율

진단영역에서 관전압(입사선의 에너지)이 낮아지면 후방산란선량이 증가하지만 팬텀에서 산란선(≈입사선에너지)에 대한 선감약계수가 급격히 증가하기 때문에 산란선의 감약이 매우 커진다. 결국 관전압이 낮은 경우 전리함에 도달할 수 있는 산란광자의 유효체적은 작아져서 후방산란율은 오히려 낮게 나타나고 관전압이 증가함에 따라 일정한 값까지 증가하게 된다. Fig. 5는 조사야를 20×20 cm²로 고정하고 관전압을 증가시켜가며 후방산란율을 측정 한 결과를 나타낸다. 관전압을 40~140 kV로 증가시켰을 때 팬텀의 두께가 12 cm 및 18 cm인 경우의 후방산란율은 각각 13.8~32.2%, 28.5~47.5%로 증가하였다. 이 결과는 조직등가 물질에 대한 후방산란율 30~40%로 보고한 기존 연구결과⁸⁾와 유사한 경향을 나타내고 있었다. 팬텀의 두께가 두꺼울수록 산란선의 총 발생량 증가로 후방산란율이 증가함을 알 수 있다. 팬텀의 두께가 12 cm인 경우 관전압이 증가함에 따라 후방산란율의 증가율이 점차 둔화되다가 120 kV에서 포화상태에 도달하고 이

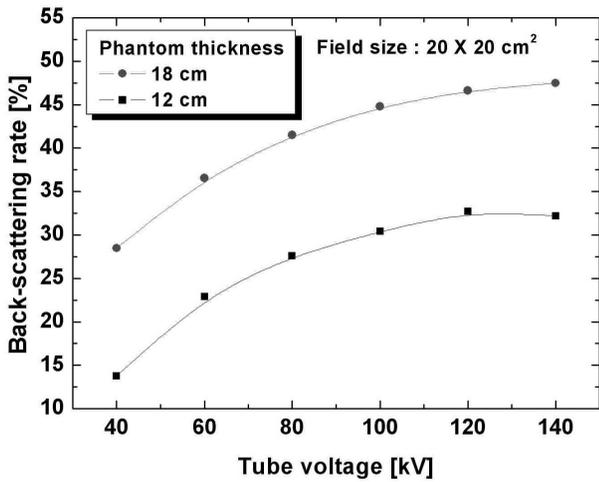


Figure 5. Back-scattering rate in the acryl phantom with tube voltage of 40 kV to 140 kV

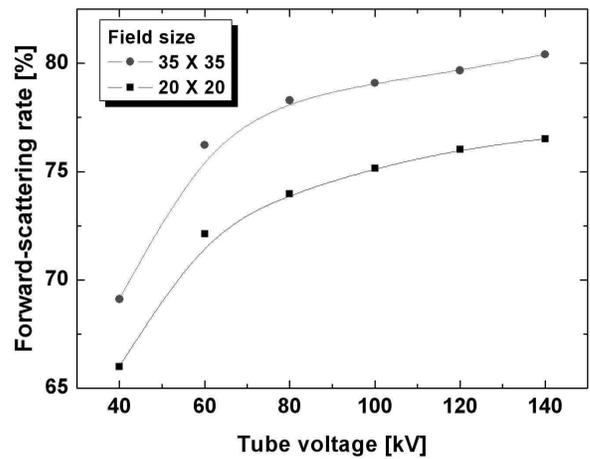


Figure 7. Forward-scattering rate in the acryl phantom with tube voltage of 40 kV to 140 kV

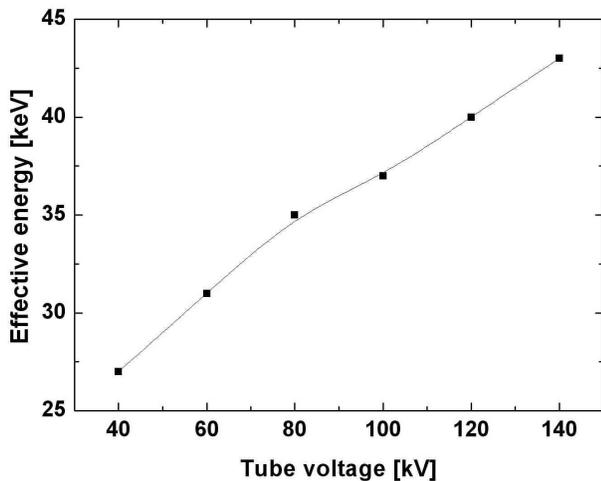


Figure 6. Effective energy and X-ray tube voltage

후로는 감소하는 경향을 나타내었다. 관전압 증가에 따른 입사선의 에너지 상승은 후방산란선의 유효체적을 증가시키지만 팬텀에서의 후방산란선량은 감소하기 때문에 전리함에 측정되는 후방산란율의 증가경향을 둔화시키게 된다. Fig. 6은 알루미늄 흡수체를 이용하여 X-선 발생 장치의 선질을 측정된 결과를 나타낸다. 관전압이 40~140 kV로 증가할 때 실효에너지(effective energy)는 27~43 keV로 증가하였다. 이 결과로부터 관전압이 증가하면 입사 X-선의 에너지가 증가하고 팬텀에서 발생하는 산란선의 에너지도 함께 증가하게 된다. 따라서 관전압이 높을 때 후방산란율이 포화상태에 도달한 후 140 kV에서는 오히려 낮아진 원인은 산란선의 유효체적이 조사면 내 팬텀의 전 체적에 이르게 된 상태에서 산란선 감소와 더불어

산란선의 에너지가 증가하였기 때문이다.

3. 전방산란율

Fig. 7은 조사면이 20×20 cm² 및 35×35 cm² 일 때의 전방산란율을 나타낸다. 관전압이 40~140 kV로 증가할 때 전방산란율은 66~80%로 측방산란율 및 후방산란율보다 높은 값을 나타내었다. 관전압이 증가함에 따라 전리함에 도달하는 산란선의 유효체적이 증가하여 전방산란율이 증가하였다. 하지만 관전압이 80 kV 이상이 되면 선감약계수의 감소경향이 둔화되고 산란선 발생률이 감소함에 따라 전방산란율이 점차 포화상태에 이르렀다.

4. 촬영실 내 산란선 발생요소의 영향

엑스선 촬영실 내 공간산란선의 주요 발생요소들의 영향을 분석하기 위해 팬텀, 콜리메이터, 엑스선관, 벽 등의 측방에서 발생하는 산란선량과 그 산란선량의 발생비율(발생률)을 측정하였다(Table 1). 산란선량 측정에서 조사면은 35×35 cm²로 고정하였고 관전압을 80 kV에서 140 kV까지 변화시켰다. 또한 Fig. 3과 같이 전리함의 입구를 제외하고는 남으로 차폐하고 산란선 발생요소와 15 cm 거리를 두었다. 총 산란선 중 95.4% 이상은 팬텀에서 발생하였고, 0.7~2.6%는 콜리메이터에서 발생하였다. 그리고 엑스선관과 벽에서 각각 0~1%, 0~1% 정도 발생하였다. 관전압이 80 kV에서 140 kV로 증가할 때 팬텀의 산란선 발생률은 98.8%에서 95.4%로 감소하였으나 콜리메이터, 엑스선관, 벽에서 발생한 산란선 비율은 증가하였다. 특히 위 관전압 증가에 대해 콜리메이터와 엑스선

Table 1. The scattered ray contributions measured from the phantom, collimator, X-ray tube and wall.

Exposure condition	Position	kV		80		100		120		140	
		mR	%	mR	%	mR	%	mR	%	mR	%
200 mA 0.2 sec 35×35 cm ²	Phantom(18 cm)	5.97	98.8	11.46	97.7	18.23	96.6	25.7	95.4		
	Collimator	0.04	0.7	0.15	1.3	0.37	1.9	0.70	2.6		
	X-ray tube	0.01	0.2	0.05	0.4	0.15	0.8	0.34	1.3		
	Wall	0.02	0.3	0.07	0.6	0.13	0.7	0.2	0.7		
	Total	6.04	100	11.73	100	18.88	100	26.94	100		

관에서 발생하는 산란선량은 0.05 mR에서 1.04 mR으로 20배 이상 증가하였고 산란선 비율도 0.9%에서 3.9%로 증가하였다. 따라서 콜리메이터와 엑스선관에서 발생하는 산란선은 관전압이 높아질수록 공간산란선량에서도 그 발생률이 증가할 것으로 예측된다. 한편 콜리메이터를 닫았을 때 콜리메이터에서 발생하는 산란선은 1/5 정도 감소하였으나 엑스선관에서 발생한 산란선량은 거의 변화가 없었다.

5. 촬영실 내 산란선 공간분포

엑스선 촬영실 내에서의 산란선량은 조사조건, 피사체, 주변 물체 등에 따라 영향을 많이 받을 수 있는데 본 연구에서는 관전압 100 kV, 관전류 200 mA, 조사시간 0.2 sec, 35×35 cm² 조사면 조건에서 팬텀 주변공간의 산란선량을 1 m 간격으로 측정하였다(Fig. 8). 공간선량 측정 시 전리함의 높이는 바닥으로부터 80 cm로서 팬텀 높이와 동일하며 팬텀 위치에서의 공중선량은 687 mR이었다. 팬텀으로부터 1 m, 2 m, 3 m 떨어진 거리에서 측정한 산란선량 값은 각각 거리의 역자승 법칙에 따라 감소하였다. 팬텀 하부의 1 m 지점과 3 m 지점에서의 산란선량은 각각 2.014 mR, 0.165 mR으로 92% 감소하였다. 또한 팬텀의 좌측 1 m 지점과 2 m 지점에서의 산란선량은 각각 1.51 mR과 0.383 mR으로 75% 감소하였다. 팬텀의 좌측과 우측 산란선량은 비슷한 값을 나타내었으나 팬텀의 하부(음극측) 산란선량이 상부(양극측) 산란선량 값 보다 높게 측정되었는데 이는 heel effect의 영향으로 판단된다. 한편 촬영실의 문이 열린 상태에서 촬영실 밖에서 관측한 산란선량은 0.066 mR으로 측정값 중 가장 낮은 값을 나타내었고 팬텀 하부 1 m 지점에 비해 97% 산란선이 감소하였다.

촬영실 내의 공간선량은 팬텀을 중심으로 다양한 분포를 나타내고 있으나 방사선작업종사자의 주당 허용선량인 100 mR을 고려한다면 팬텀으로부터 1 m 거리에서 1 mR 정도의 선량은 매우 높은 값으로 평가할 수 있다. 조사야, 관전압, 팬텀의 두께 등의 조건에 따라 공간선량값의 변화가 클 것으로 예측되므로 조사조건을 최적화하고 팬텀으로부터 충분한 거리를 확보하여야 방사선 피폭으로부터 안전을 보장받을 수 있을 것으로 사료된다.

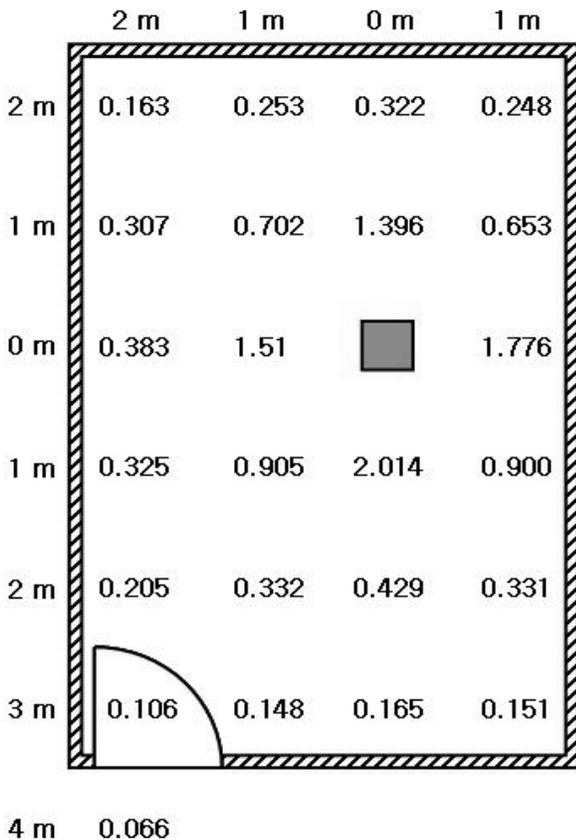


Figure 8. The free space scatter dose distribution measured in the X-ray radiography room

IV. 결 론

엑스선 촬영실에서 산란선을 발생시킬 수 있는 주요소는 피사체 즉, 환자이며 그 외에 콜리메이터, 엑스선관 등에서 일부 누설된 산란선과 이 산란선들에 의해 벽에서 발생한 산란선이 촬영실 내 공간산란선에 기여하게 된다. 팬텀 피사체에서 발생한 산란선은 관전압 및 조사면의 크기와 함께 증가하였으며 특히 측방산란율은 조사면이 팬텀 크기에 가까워짐에 따라 크게 증가하는 경향을 나타내었다. 한편 팬텀의 두께가 12 cm인 경우 후방산란율은 관전압이 120 kV일 때 거의 포화상태에 도달하였으며 140 kV 이상에서는 감소할 것으로 예측된다. 이는 산란선의 유효체적이 팬텀의 전 체적으로 확대된 상태에서, 관전압 증가에 따라 산란선 발생율이 감소하고 산란선의 에너지가 증가하는 것에 원인이 있다. 관전압 증가에 따라 전방산란율은 66~80%로 증가하였으나 높은 관전압에서 팬텀의 선감약계수 감소등화 및 산란선 발생율 감소, 산란선 에너지 증가 등의 이유로 전방산란율이 점차 포화상태에 이르렀다.

촬영실 내 산란선 발생요소 중 팬텀이 차지하는 비율은 최대 98.8%이었으며 관전압이 80 kV에서 140 kV로 증가할 때 팬텀의 산란선 발생률은 3.4% 만큼 감소하였다. 반면에 관전압이 증가할 때 콜리메이터, 엑스선관에서 산란선 발생률은 3% 만큼 증가하였다.

촬영실 내 공간산란선량은 팬텀을 중심으로 거리역자승 법칙으로 감소하였으나 팬텀의 중심으로부터 1 m 거리에서 측정된 선량이 1 mR 이상으로 환자나 방사선작업자의 주의를 요구된다. 따라서 환자 외에는 엑스선 발생장치로부터 충분한 거리를 확보하여야 하며 관전압과 조사면 크기를 가능한 낮추어 산란선을 경감시키려는 노력이 요구된다.

참 고 문 헌

1. Taro Hayashi, Yuji Ishida, Mika Maeda 외 : Effects of the Scattered Radiation on Image Quality and Exposure Dose in Chest Radiography, 대한방사선기술학회지, 16(2), 27-38, 1993
2. 오현주, 김성수, 김영일 외 : X선촬영실 내에서의 공간산란선량 변동에 관한 연구, 대한방사선기술학회지, 17(2), 21-27, 1994
3. 조평곤, 이준협, 김윤식, 이창엽 : 전산화 단층촬영실의 산란선 측정에 대한 연구, 대한방사선기술학회지, 26(2), 37-42, 2003
4. 오현주, 김성수, 김영일 외 : X선촬영시 산란선 방향의 존성에 관한 연구, 대한방사선기술학회지, 18(1), 63-70, 1995
5. 허 준, 김창균, 강홍석, 김정민 : X선촬영에 있어서 관전압과 피사체가 선질 및 선량에 미치는 영향의 실험, 대한방사선기술학회지, 7(1), 41-46, 1984
6. 김영일 : 방사선치료, 신광출판사, 175, 1992
7. 허 준 : 방사선화학기술실험, 대학서림, 275-304, 1981
8. Faiz M. Khan : The Physics of Radiation Therapy, Williams & Wilkins, 191, 1994

• Abstract

A Study on the Factors of Spatial Scattered Ray Occurrence in the X-ray Radiography Room

Soo-Kyung Na · Sang-Hyo Han¹⁾

Department of Radiological Science, Gimcheon College

¹⁾*Department of Radiation, Ray Laboratory*

In this study, we measured the dose distribution of scattered ray in X-ray radiography room using an ion chamber and examined the dependency of scattered ray content on the scattered ray source and exposure condition. To study the factors of scattered ray occurrence in the acryl phantom, we measured the change in the scatted ray content according to the X-ray tube voltage (40~140 kV) and the field size (10×10 cm², 20×20 cm², 35×35 cm²). For the 35×35 cm² field size, the side-scattering rate ranged from 3.1% to 14.5%. The scattered ray contributions of the phantom, collimator, X-ray tube and wall were also measured. The scattered ray contribution of the phantom was higher than 95.4% for the entire tube voltage, and those of the collimator, X-ray tube and wall were 2.6%, 1.3% and 0.7%, respectively.

Key Words : spatial distribution, scattered ray, field size, contribution