

# 일반촬영 시 거리역자승법칙에 따른 산란선 감약에 관한 연구

## — The Study About Attenuation of Scatter Ray According to Distance Inverse Square Law at General Projection —

충남대학교병원 영상의학과 · 충남대학교 의과대학 의공학교실<sup>1)</sup>

전민철 · 임현수<sup>1)</sup> · 한만석

### — 국문초록 —

거리 역자승 법칙에 관한 엑스선 감약의 정도를 파악하고 이를 산란선 발생에서 적용하여 방사선사의 피폭을 저감할 수 있는 공간을 찾도록 알아보고자 하였다.

관전류량 10 mAs, 관전압 60 kVp, 70 kVp, 81 kVp, 90 kVp, 각각의 거리 60 cm, 120 cm, 180 cm에서 1차 선량을 측정하고, 산란선은 관전류량 20 mAs, 관전압 70 kVp, phantom의 중심부로부터 전면과 후면으로 42.5 cm, 52.5 cm, 62.5 cm 떨어진 곳에서 음·양극(좌우측)으로 각각 10 cm씩 60 cm까지 측정하였고, 거리 역자승법칙과 비교하기 위해 전·후방 각각 42.5 cm, 85 cm, 127.5 cm에서 산란선을 측정하였다.

1차선은 거리가 2배에서는 20.52 mR(27.20%), 28.58 mR(25.20%), 38.82 mR(26.32%), 48.20 mR(26.27%)로 감약되고 거리가 3배에서는 7.06 mR(8.91%), 9.90 mR(8.73%), 13.64 mR(9.25%), 16.60 mR(9.05%)로 감약되는 것을 알 수 있었고, 산란선은 전·후방 각각 거리가 2배에서는 0.15 mR(23.09%), 0.15 mR(22.08%) 3배에서는 0.07 mR(10.43%), 0.06 mR(8.83%)로 감약되었다.

산란선의 발생량이 평균적으로 3사분면이 적게 발생하기에 환자를 붙잡고 촬영할 시에는 3사분면의 피사체에서 가능하면 거리를 두고 환자를 잡는 것이 피폭선량을 줄일 수 있다.

**중심 단어:** 거리역자승법칙, 1차선, 산란선, 피폭선량

## I. 서 론

인간은 항상 방사선을 받으면서 살아왔고 현재도 주위로부터 방사선을 받으며 살아가고 있다. 인간이 받는 방사선의 양은 순수한 자연방사선에 비하여 인공방사선, 특히 엑스선 검사에 의한 방사선 피폭이라는 보고도 있다<sup>1)</sup>.

방사선을 사용하는 경우 허용된 범위의 피폭이라 하더라도 방사선 피폭으로 인한 이익이 손실보다 클 경우에만 피폭을 허용하며, 가능한 방사선 피폭을 줄임으로서 확률적 영향과 결정적 영향의 발생을 감소시킬 수 있다<sup>2)</sup>.

이에 따라 국제방사선방호위원회(ICRP)에서는 “모든 피폭을 경제 및 사회적 인자를 고려하여 합리적으로 달성 가능한 낮게 유지되어야 한다(ALARA, As Low As is Reasonably Achievable)”라고 규정하였다<sup>3)</sup>.

의료용 엑스선 검사는 세계적으로 연간 5~15%씩 증가하고 있으며, 이 추세대로라면 약 7년마다 2배씩의 의료 피폭이 늘어나게 된다. 또한 우리나라의 피폭선량은 일본에 비해 약 2배 정도 높다는 조사결과도 있다<sup>4)</sup>.

환자의 피폭선량이 증가함에 따라 방사선사의 피폭선량도 증가할 수 있다. 방사선사의 피폭선량을 줄이기 위해서는 환자와 방사선사 간의 거리를 늘리는 것이 중요하다. 이 연구는 거리 역자승 법칙에 따른 산란선 감약 정도를 파악하고 이를 방사선 발생에서 적용하여 방사선사의 피폭을 저감할 수 있는 공간을 찾도록 알아보고자 하였다.

환자의 피폭선량이 증가함에 따라 방사선사의 피폭선

\*접수일(2011년 7월 28일), 심사일(2011년 8월 17일), 확정일(2011년 9월 9일)

교신저자: 한만석, (301-721) 대전광역시 중구 문화로 282  
충남대학교병원 영상의학과  
TEL: 042-280-7337, FAX: 042-280-7952  
E-mail: angio7896@naver.com

량도 증가함은 불가피하다. 환자 촬영 시 거동이 불편하거나 전신마비 환자의 경우에는 방사선사가 환자를 붙잡고 촬영하는 경우가 많은데 차폐를 하더라도 100% 차단할 수 없기에 산란선으로부터 엑스선 피폭을 최소화하기 위해서는 거리를 이용하는 방법이 있다.

거리역자승법칙은 거리에 따라 방사선 피폭을 줄이는 대표적인 법칙으로 알고 있다. 단, 이 법칙은 진공 상태에서 적용되는 법칙이다. 그러나 본 저자는 임상적(진공 상태가 아닌 경우)으로 거리역자승법칙에 관한 엑스선의 감약 정도를 정확히 파악하고 이를 통해 산란선 발생 시 환자를 잡고 촬영해야 할 방사선사의 피폭을 저감할 수 있는 공간을 찾고자 본 실험을 시행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험기기

- 1) X선발생장치: Philips Digital Diagnost
- 2) Phantom: Model DPA/QDR 1 Anthropomorphic Spine Phantom  
Phantom S/N: 4237

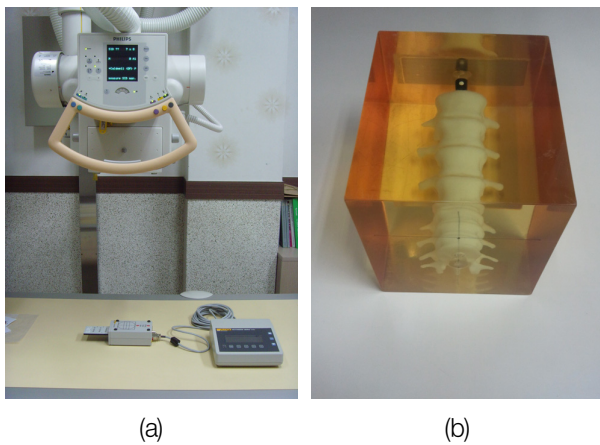


Fig. 1. The diagnosis radiation occurrence system(a) & phantom(b).

### 3) 선량계 :

- (1) Fluke Victoreen NERO mAx 8000
- (2) Victoreen 6000-523B  
(Scatter Ion Chamber)

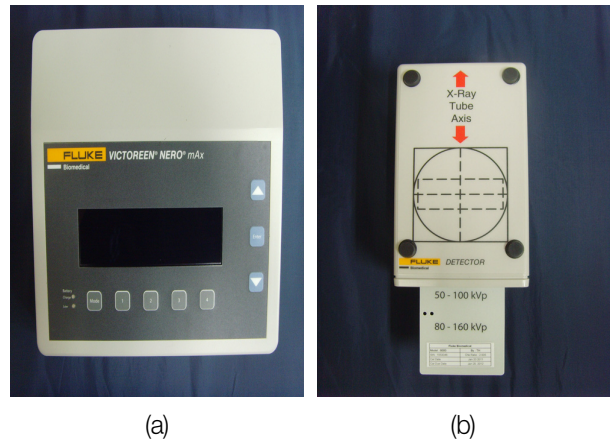


Fig. 2. Victoreen NERO mAx 8000 (a) & Detector (b)



Fig. 3. Victoreen model 6000-523B

### 2. 실험방법

#### 1) 백분율 평균오차, 조사선량 재현성

(1) 관전압 검사는 SID 100 cm, 그리고 조사야는 detector 크기의  $6 \times 6 \text{ cm}^2$ 로 하였으며 관전류량은 10 mAs, 20 mAs 측정할 관전압은 60 kVp, 70 kVp, 81 kVp에서 각각 5회 측정하여 그 평균값과 백분율 평균오차(PAE)를 산출하였다.

$$PAE = (X_p - X_m) / X_p \times 100\%$$

$$PAE = \text{백분율평균오차}$$

$$X_p = \text{설정치(지시치)}$$

$$X_m = \text{조사선량 측정치의 평균치}^5)$$

백분율 평균오차는 0.84~1.5%로 진단용 방사선발생장치의 안전관리에 관한 규칙에서 정한  $\pm 10\%$ 로 실험에 적당한 장비임을 알 수 있었다(Table 1, 2).

**Table 1.** kVp quality control test -1 (단위: kVp)

| mAs | kVp  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | Mean  | PAE(%) |
|-----|------|------|------|------|------|------|-------|--------|
| 60  | 59.3 | 59.2 | 59.2 | 58.9 | 58.9 | 59.1 | 59.1  | 1.5    |
| 10  | 70   | 69.4 | 69.4 | 69.4 | 69.2 | 69.2 | 69.32 | 0.97   |
|     | 81   | 80.4 | 80.4 | 80.4 | 80.2 | 80.2 | 80.32 | 0.84   |

**Table 2.** kVp quality control test -2 (단위: kVp)

| mAs | kVp  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | Mean  | PAE(%) |
|-----|------|------|------|------|------|------|-------|--------|
| 60  | 58.9 | 58.8 | 58.8 | 58.9 | 59.1 | 58.9 | 58.9  | 1.83   |
| 20  | 70   | 69.3 | 69.2 | 69.3 | 69.3 | 69.3 | 69.28 | 1.03   |
|     | 81   | 80.5 | 80.5 | 80.4 | 80.4 | 80.3 | 80.42 | 0.72   |

(2) 조사선량의 재현성 검사는 관전압 검사와 동일한 SID, 조사야에서 관전압 60 kVp, 70 kVp에서 관전류량을 10 mAs, 16 mAs, 20 mAs의 조건으로 각각 5회 측정하여 평균값과 변동계수를 산출하였다.

$$CV = S / X_m = 1 / X_m$$

$$= [\sum_{i=1}^n [X_i - X_m]^2 / n - 1]^{1/2} \quad 5)$$

엑스선 조사선량을 측정한 평균치와 표준편차로부터 구한 변동계수(CV)로 나타낸 엑스선 조사선량의 재현성은 평균 0.002로서 진단용 방사선 발생자치의 안전관리 규칙에서 정한 0.05 이하로 실험에 적당한 장비임을 알 수 있었다(Table 3, 4).

**Table 3.** Dose quality control test -1 (단위: mR)

| kVp | mAs  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | Mean  | CV    |
|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 10  | 29.3 | 29.3 | 29.4 | 29.3 | 29.3 | 29.32 | 29.32 | 0.001 |
| 60  | 16   | 47.1 | 47.2 | 47.0 | 47.2 | 47.1  | 47.12 | 0.002 |
| 20  | 58.9 | 58.6 | 58.4 | 58.4 | 59.2 | 58.7  | 58.7  | 0.005 |

**Table 4.** Dose quality control test -2 (단위: mR)

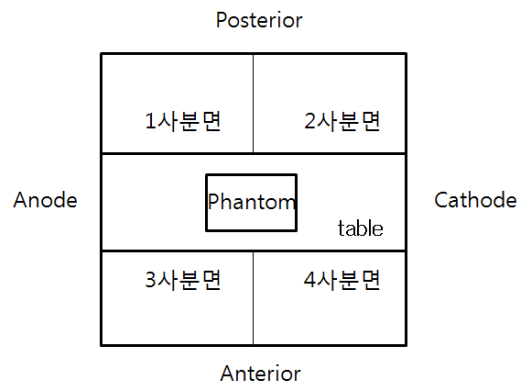
| kVp | mAs  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | Mean  | CV    |
|-----|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 10  | 41.0 | 41.0 | 41.0 | 41.0 | 41.0 | 41.0 | 41    | 0     |
| 70  | 16   | 65.7 | 65.7 | 65.7 | 65.9 | 65.8 | 65.76 | 0.001 |
| 20  | 82.2 | 82.2 | 82.2 | 82.2 | 82.2 | 82.2 | 82.2  | 0     |

2) 거리역자승 법칙

관전류량 10 mAs, 조사야 6×6 cm<sup>2</sup>로 고정된 상태에서 관전압을 60 kVp, 70 kVp, 81 kVp, 90 kVp로 변화시키고 거리를 60 cm, 120 cm, 180 cm로 변화시키면서 거리에 따라 거리 선량 값의 감약 정도를 실험하였다.

3) 산란선 측정

Lumbar spine phantom, 관전압 70 kVp, 관전류량 20 mAs, SID 100 cm, 조사야 30×26 cm<sup>2</sup>로 고정된 상태에서 선량계를 phantom의 중심부로부터 전면과 후면으로 42.5 cm, 52.5 cm, 62.5 cm 떨어진 곳으로부터 phantom 음·양극(좌우측)으로 각각 10 cm씩 60 cm까지 측정하였다. (전면과 후면으로 42.5 cm부터 측정은 Table 중앙에서 바깥부분 전 후면까지의 거리가 42.5 cm이기에 이곳부터 측정한 것이고, 최대 62.5 cm으로 측정한 것은 성인 기준으로 팔 길이를 고려하여 측정하였다) 임의대로 phantom으로부터 양극 후면을 1사분면, 음극 후면을 2사분면, 양극 전면을 3사분면, 음극 전면을 4사분면 이라 정하였다. 산란선 에서도 phantom의 전방, 후방에서 42.5 cm, 85 cm, 127.5 cm에서 각각 측정하여 거리에 따른 감약 정도를 실험하였다(Fig. 4).



**Fig. 4.** The position of scatter dose measurement.

III. 결 과

1. 거리역자승법칙에 의한 1차선 선량 값

관전류량을 10 mAs로 고정하고 관전압을 60 kVp, 70 kVp, 81 kVp, 90 kVp로 각각 거리를 60 cm, 120 cm, 180 cm으로 변경하며 선량을 측정하였다(Table 5).

**Table 5.** The value of first dose (단위: mR)

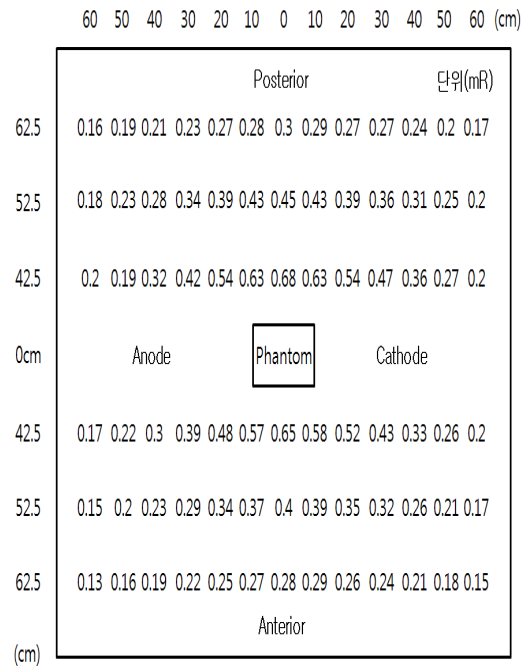
| mAs | kVp | Distance (cm) | Min.  | Max.  | Mean   | Attenuation (%) |
|-----|-----|---------------|-------|-------|--------|-----------------|
| 10  | 60  | 60            | 79.2  | 79.3  | 79.24  | 100             |
|     |     | 120           | 20.5  | 20.6  | 20.52  | 27.20           |
|     |     | 180           | 70.0  | 7.1   | 7.06   | 8.91            |
|     | 70  | 60            | 113.2 | 113.5 | 113.4  | 100             |
|     |     | 120           | 28.3  | 28.8  | 28.58  | 25.20           |
|     |     | 180           | 9.9   | 10.0  | 9.9    | 8.73            |
| 90  | 81  | 60            | 147.4 | 147.6 | 147.46 | 100             |
|     |     | 120           | 38.8  | 38.9  | 38.82  | 26.32           |
|     |     | 180           | 13.6  | 13.7  | 13.64  | 9.25            |
|     | 90  | 60            | 183.4 | 183.6 | 183.46 | 100             |
|     |     | 120           | 48.1  | 48.3  | 48.2   | 26.27           |
|     |     | 180           | 16.6  | 16.6  | 16.6   | 9.05            |

거리가 2배가 되면 선량은 거리역자승으로 25%로 감소가 되어야 하는데 60 cm을 기준으로 했을 때 거리가 2배가 되었을 때는 60 kVp, 70 kVp, 81 kVp, 90 kVp 각각의 관전압에서 선량값이 20.52 mR(27.20%), 28.58 mR(25.20%), 38.82 mR(26.32%), 48.20 mR(26.27%)로 감소가 되는 것을 알 수 있었다. 거리가 3배, 즉 180 cm 일 때는 11.1%로 감소가 되어야 하는데 7.06 mR(8.91%), 9.90 mR(8.73%), 13.64 mR(9.25%), 16.60 mR(9.05%)로 감소가 되는 것을 알 수 있었다.

**2. 2차선의 공간선량 값**

Table에 phantom을 올려놓고 전·후방 42.5 cm, 52.5 cm, 62.5 cm을 기준으로 음·양극으로 10 cm 씩 60 cm 까지 총 78번 측정하였다(Fig. 5).

phantom을 중심으로 선량을 측정했을 때 1사분면의 평균의 합은 5.49 mR, 2사분면의 평균의 합은 5.85 mR, 3사분면의 평균의 합은 4.93 mR, 4사분면의 평균의 합은 5.35 mR으로 나타났다. 음극과 양극을 비교했을 때 음극 측의 2, 4사분면 합의 값이 양극 측의 1, 3사분면 합의 값보다 높게 나타났다. 이는 heel effect의 영향으로 판단된다. 음극 측에서도 2사분면의 값이 4사분면의 값보다 높게 나타났다.



**Fig. 5.** The distribution of secondary dose

**3. 2차선의 거리역자승 선량**

Table에 phantom을 올려놓고 전·후방 42.5 cm, 85 cm, 127.5 cm을 측정하였다(Table 6).

**Table 6.** The dose of distance square at secondary (단위: mR)

| mAs | kVp | Position  | Distance (cm) | Min. | Max. | Mean | Attenuation (%) |
|-----|-----|-----------|---------------|------|------|------|-----------------|
| 20  | 70  | Posterior | 42.5          | 0.67 | 0.69 | 0.68 | 100             |
|     |     |           | 85            | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 22.08           |
|     |     |           | 127.5         | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 8.83            |
|     |     | Anterior  | 42.5          | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 100             |
|     |     |           | 85            | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 23.09           |
|     |     |           | 127.5         | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 10.43           |

phantom을 중심으로 전·후방에서 거리를 42.5 cm 의 선량을 기준 값으로 100%로 보았을 때 전방에서는 거리가 2배 되었을 때는 0.15 mR(23.09%), 3배 되었을 때는 0.07 mR(10.43%)로 감약되었고, 후방에서는 거리가 2배, 3배되었을 때는 각각 0.15 mR(22.08%), 0.06 mR(8.83%)로 감약되었다. 이는 거리역자승법칙보다 더 많이 감약되

는 것으로 보아 공기에 의한 X선 흡수 영향 때문으로 사료된다.

#### IV. 고 찰

세계 각국은 방사선 관계종사자를 방사선 위해로부터 보호하기 위하여 병·의원 등 의료기관에 설치된 의료방사선장치를 사용하는 종사자에 대한 방사선피폭선량을 주기적으로 모니터링하고, 그 결과 국제방사선방어위원회(ICRP)의 권고에 따라 평생관리하고 있다. 식품의약품안전청 식품의약품안전평가원에서도 방사선 관계종사자를 방사선 위해로부터 보호하고자 피폭선량관리센터(national dose registry, NDR)를 2004년부터 설치·운영하고 있다.

국제방사선방어위원회(ICRP)의 최근 권고안인 ICRP 60(1990)에서는 방사선관계종사자의 개인피폭선량의 값을 50 mSv/년 및 100 mSv/5년 미만으로 유지되도록 국제적으로 규정하고 있다. 따라서 ICRP에서 제시하고 있는 100 mSv/5년을 초과하지 않기 위해서는 5 mSv/분기 또는 20 mSv/년 미만이 되도록 피폭선량을 관리할 필요가 있다. 이에 따라 「진단용방사선안전관리규정」은 5 mSv/분기 초과자에게 주의통보를 시행하도록 규정하고 있으며, 2009년도 5 mSv분기를 초과한 방사선관계종사자는 총 방사선관계종사자 50,885명 중 1.6%인 834명으로 2008년의 47,823명 중 1.5%인 719명과 인원수 대비 조금 증가하였다.

2009년도 국내 개인피폭선량 평균값은 0.66 mSv/년로 2008년 0.67 mSv/년, 2007년 0.73 mSv/년 2006년도의 0.77 mSv/년, 2005년도의 0.79 mSv/년, 2004년도의 0.97 mSv/년 및 2003년도 1.18 mSv/년부터 지속적으로 감소한 것으로 나타났다<sup>6)</sup>. 피폭선량을 모니터링을 하는 것 때문만이 아니라도 자신의 피폭선량을 가능하면 줄일 수 있도록 해야 한다.

피폭선량을 제한하기 위해서는 방사선 방어의 3원칙인 시간(time), 거리(distance), 차폐(shielding)<sup>7)</sup>를 준수해야 한다.

거리역자승법칙, 산란선 실험에 앞서 정확한 실험을 위해 엑스선 발생장치의 성능을 분석하였다. 관전압의 정확도는 각 관전압에서 평균치와 지시치의 백분율 평균오차(percent average error, PAE)로 나타낼 때 값이 0.84~1.5%로 진단용 방사선 발생장치의 안전관리에 관한 규칙에서 정한 ±10% 이하임을 알 수 있었고, 엑스선 흡

수선량을 측정된 평균치와 표준편차로부터 구한 변동계수(coefficient variation, CV)로 나타낸 엑스선 조사선량의 재현성은 평균 0.002로서 진단용 방사선 발생장치의 안전관리에 관한 규칙에서 정한 0.05 이하로서 검사에 적합함을 알 수 있었다.

엑스선 강도는 거리의 자승에 반비례한다. 초점 F에서 거리가 r만큼 떨어진 곳의 엑스선 강도를  $I_r$ 이라고 하면 초점 F를 중심으로 하여 반경 r의 구면상의 전체 강도는  $4\pi r^2 \times I_r$ 이다. 또 2r의 거리인 곳에서는  $4\pi(2r)^2 \times I_{2r}$ , 3r의 거리에서는  $4\pi(3r)^2 \times I_{3r}$ 로 된다. 이는 거리가 2배, 3배로 됨에 따라 강도는 1/4, 1/9로 감약된다. 이는 도중에 물질과 상호작용 없는 진공 상태에서의 감약 방식이고, 선원이 점 선원일 경우에만 성립된다. 이때의 방사선은 발산되므로 단위면적당의 광자 수는 거리의 제곱에 반비례한다. 그 결과 엑스선이나  $\gamma$ 선의  $r_1$  거리에서의 강도를  $I_1$ ,  $r_2$  거리에서의 강도를  $I_2$ 라하면  $I_1/I_2=(r_2)^2/(r_1)^2$ 의 관계식이 성립된다<sup>8)</sup>.

방사선 방어의 3원칙을 준수한다면 ICRP에서 제시하고 있는 방사선 관계종사자의 개인피폭선량을 초과하지 않을 것이라 사료된다.

#### V. 결 론

본 연구를 통해 거리역자승법칙을 진공, 점선원에서가 아닌 임상에서 사용하는 선량을 가지고 실험했을 때

- 1차선은 거리가 2배에서는 평균 26.25%, 거리가 3배에서는 평균 8.99%로 감약되는 것을 알 수 있었고,
- 2차선은 거리가 2배에서는 평균 22.59%, 3배에서는 9.63%로 감약되는 것을 알 수 있었다.

이로써 거리역자승법칙이 정확히 성립되지 않는 것으로 나타났다. 부득이하게 촬영 시 환자를 잡고 촬영할 경우를 위해 어느 위치에서 환자를 잡고 촬영해야 산란선으로부터 종사자가 덜 피폭 받을 수 있는가를 알아보았다. 산란선의 발생량이 평균적으로 3사분면이 적게 발생하기에 환자를 잡고 촬영할 시에는 3사분면의 피사체에서 가능하면 거리를 두고 보호 장구를 착용한 상태에서 환자를 잡는 것이 피폭선량을 줄일 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. 안봉선 외: portable 흉부촬영시 공간 산란선량에 대

- 한 연구, 대한방사선기술학회지, 제23권 제2호, pp.63-67, 2000
2. ICRP, Recommendation of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, Pergamon Press, Oxford, New York, 1997
  3. ICRP Publication 60, Recommendations of the ICRP, Annals of the ICRP, Pergamon Press, Oxford, 1990
  4. 신수인, 김종일, 김성철: 디지털 흉부 촬영에서 구리 필터사용에 따른 환자 표면선량 감소효과에 관한 연구, 방사선기술과학, 31(3): 223-228, 2008
  5. 보건복지부령 제 349호, 진단용 방사선발생장치의 안전관리에 관한 규칙 2011년 6월 27일 개정, 2011
  6. 2009년도 의료기관 방사선관계종사자의 개인피폭선량 연보 발간, 식품의약품안전청, 2011
  7. Anthony Brinton Wolbarst, Ph. D: PHYSICS OF RADIOLOGY, Prentice-Hall International, inc
  8. 주광태, 고신관, 전만진: 방사선 물리학, 고문사

---

• Abstract

## The Study About Attenuation of Scatter Ray According to Distance Inverse Square Law at General Projection

Min-Cheol Jeon · Hyun-Soo Lim<sup>1)</sup> · Man-Seok Han

*Department of Radiology, Chungnam University Hospital ·*

<sup>1)</sup>*Department of Bio-Medical Engineering, Chungnam University*

We studied the optimal location where the radiation dose of radiological technologists is minimally measured. The measured scatter dose has been compared with the distance inverse square law.

We measured the primary X-ray with different tube conditions (60, 70, 81 and 90 kVp) and distances (60, 120 and 180 cm). The scatter ray has been measured with various locations (42.5, 52.4 and 62.4 cm for front and back side, 0 to 60 cm with 10 cm interval for left and right side).

The results of this study showed that the dose of primary X-ray was attenuated to 20.52 (27.20%), 28.58 (25.20%), 38.82 (26.32%) and 48.20 mR (26.27%) for each tube voltages at 120 cm. In addition, The dose were 7.06 (8.91%), 9.90 (8.73%), 13.64 (9.25%) and 16.60 mR (9.05%) at 180 cm. As for the scatter in front and back side, the attenuated dose were 0.15 mR (23.09%) and 0.15 mR (22.08%) at 120 cm, and 0.07 mR (10.43%) and 0.06 mR (8.83%) at 180 cm.

Scatter was decreased in third quadrant. Therefore, it is recommended that radiological technologists should keep long distance from the object.

---

**Key Words :** distance inverse square law, first ray, scatter ray, radiation dose