

# X선 촬영실 내 공간선량의 분포와 거리 역자승 법칙과의 관련성

## Relationship between the Distribution of Space doses in X-ray Rooms and the "Inverse Square Law of Distance"

최성관

광주보건대학교 방사선과

Seong-Kwan Choi(skchoi@ghu.ac.kr)

### 요약

본 연구는 손, 머리, 복부 등의 X선 촬영 시에 발생하는 공간선량이 어느 정도인지를 알아보고, 산란선에 의한 공간선량의 강도가 “거리 역자승 법칙”에 의해 감쇠하는지를 파악했다. 첫째, 손처럼 X선 산란선 발생량이 적은 촬영의 공간선량은 대부분 “거리 역자승 법칙”에 근접한 감쇠가 이루어지면서, 2m 거리에서는 전혀 측정되지 않았다. 둘째, 머리나 복부처럼 X선 산란선 발생량이 많은 촬영의 공간선량은 조사야 중심을 기준으로 30cm에서 1m 거리까지는 “거리 역자승 법칙”보다 더 높은 비율의 감쇠가 이루어지고, 1m에서 2m 거리까지는 “거리 역자승 법칙”에 의한 감쇠가 이루어졌다. 따라서 X선 촬영실 내에서는 손 촬영의 경우 조사야 중심으로부터 적어도 2m 이상 떨어져 있어야 하고, 머리나 복부 촬영의 경우 촬영실 내 모든 공간에서 보호용구를 이용한 X선 피폭 방어조치가 요구된다.

■ 중심어 : | 공간선량 | 거리역자승법칙 | 산란선 | 선량감쇠 |

### Abstract

In the present study, space doses generated during X-ray radiography of hand, head, and abdomen, etc. were examined and whether the intensity of space doses of scattering rays is attenuated by the “inverse square law of distance” was figured out. First, the space doses of X-ray with small amounts of generated scattering rays such as hand radiography were mostly attenuated by the “inverse square law of distance” and were not detected at all at a distance of 2m. Second, the space doses of X-ray with large amounts of generated scattering rays such as head or abdomen radiography attenuated in higher rates than the rates under the “inverse square law of distance” at distances ranging from 30cm to 1m from the center of the irradiation field and were attenuated by the “inverse square law of distance” at distances ranging from 1m to 2m. Therefore, in X-ray rooms, the subject should be at least 2m away from the center of the irradiation field in the case of hand radiography and X-ray exposure prevention actions using protective devices are required in the entire spaces of the X-ray rooms in the case of head or abdomen radiography.

■ keyword : | Space Dose | Inverse Square Law of Distance | Scattering X-rays | Dose Attenuation |

## 1. 서론

인간의 X선에 대한 이용은 의료분야를 비롯하여 산

업분야로까지 날로 증가되고 있다. 하지만 눈에 보이지 않는 X선은 물체에 충돌하면서 발생하는 산란선으로 인해 장치실 내부에 상당한 양의 공간선량을 유지시키

게 되고, 차폐시설이 없거나 보호용구를 착용하지 않는 작업자와 관계자들에게 X선 피폭 장애의 발생확률을 한층 높이고 있다.

X선은 전하와 질량이 없는 전자기파의 일종으로서 어떤 물체와 충돌할 때 강한 투과력과 흡수 그리고 산란 현상이 일어나고, 선원으로부터 떨어진 거리에 따라 선량의 강도는 1/(거리)<sup>2</sup>로 감소되는 “거리 역자승 법칙”이 적용된다[1].

산란선은 관전압(kVp)이 높을수록, 피사체 두께가 두꺼울수록, 그리고 조사야 크기가 클수록 훨씬 다량으로 발생하고, 그 중에서 조사야 크기는 산란선 발생에서 가장 많은 영향을 미치는 인자 중의 하나이다[2].

조사야는 1차선의 조사범위를 의미하는 것으로서 대개 X선 촬영의 경우 조작자의 콜리메이터 버튼조작에 의해 그 크기를 조절한다. 하지만 조작자의 무관심과 안전 불감증의 영향으로 X선 촬영 시 조사야크기를 제대로 열어둔 채 검사하는 행위가 빈번하게 일어나고 있고, 이로 인해 촬영실 내에 불필요한 산란선이 발생되어 공간선량을 대폭 증가시킴으로써 부득이하게 촬영실 내에 머물러야 하는 환자보호자와 관계 종사자에게 X선 피폭의 기회를 상승시키게 된다.

본 연구는 X선 촬영 시 조사야 중심으로부터 30cm, 1m, 2m 거리에서 발생하는 공간선량이 조사야 크기별로 어느 정도인지를 알아보고, 1차선에서처럼 산란선에 의한 공간선량에 있어서도 그 강도가 “거리 역자승 법칙”에 의해 동일하게 감소하는지를 규명하는데 그 목적이 있다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험장비

#### 1.1 X선 조사장치

X선 조사장치는 중원메디칼(한국)에서 제조하여 2008년에 공급한 Digital Radiography System(모델번호 : CXT-RD85DII)을 사용했다.

#### 1.2 전신팬텀

X선 조사 피사체인 전신팬텀은 일본 KYOTO

KAGAKU사에서 제조하여 2007년 한국 호남 M&D를 통해 공급한 TYPE PBU-31 모델을 사용했다.

#### 1.3 X선 선량측정기

X선 선량측정기는 스웨덴에서 제조하여 2010년에 공급한 Phiranha 657 모델을 사용했다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 X선 조사부위 설정

X선 조사부위는 손(hand), 머리(skull), 복부(abdomen) 3곳으로 정했다.

### 2.2 조사야 크기 설정

조사야 크기는 SID 100cm 상태에서 영상수신기 위치를 기준으로 조사야를 최소화했을 때와 최대화했을 때의 2가지로 정했다. 최소화의 경우 손 8×10, 머리 10×12, 복부 14×17 inch를 cm 단위로 환산하여 적용했고, 최대화의 경우 3개 조사부위 모두 콜리메이터를 제대로 열었을 때를 기준으로 적용했다. X선 조사 부위별 조사야 크기는 [표 1]과 같다.

표 1. X선 촬영부위별 조사야 크기

촬영부위	조사야 크기	
	최소화(cm)	최대화(cm)
손	20×25	56×56
머리	25×30	56×56
복부	35×43	56×56

### 2.3 X선 조사

X선은 전신팬텀을 촬영대에 바로 눕게 하고 조사부위 3 곳을 SID 100cm로 각각 30회씩 조사했다.

조사조건(kVp, mAs)은 X선장치 제조회사에서 사전에 설정된 성인 기본값을 사용했다[표 2].

표 2. X선 촬영부위별 조사조건

촬영부위	kVp	mA	second	mAs
손	55	100	0.10	10
머리	85	250	0.16	40
복부	85	250	0.16	40

1.4 X선 선량 측정

공간선량은 조사야 중심을 기준으로 30cm, 1m, 2m 떨어진 거리에서 촬영대와 동일한 높이를 적용하여 측정했고, 선량단위는  $\mu\text{Sv}$ 로 표시했다.

공간선량은 X선 튜브의 경사효과(heel effect)나 충돌체의 특성 등에 따라 측정위치마다 다르게 나타날 수 있는데, 이러한 현상을 고려하여 측정값의 객관성을 확보하기 위해 선량측정 위치를 360° 시계 방향으로 12°씩 총 30회 원 회전 이동하면서 측정했다.

3. 통계처리

실험결과는 평균 및 표준편차 (Mean±S.D.)로 표시했고, 각 실험결과 값 차이에 대한 유의성 검정은 SPSS 13.1 통계프로그램을 통한 ANOVA를 실시했다. 측정그룹 간 다중비교를 위한 사후검정으로서 Tukey-test를 실시했고, 통계적 검정은 유의수준  $\alpha = 0.05$  수준으로 처리했다.

III. 연구 결과

1. 손(Hand) X선 촬영 시 조사야 중심으로부터 30cm, 1m, 2m 거리별 공간선량

1.1 조사야 최소화 시

손에 대한 X선 촬영 시 조사야 크기를 최소화했을 때 조사야 중심으로부터 30cm, 1m, 2m 거리에서의 공간선량은 각각 0.402, 0.030, 0.000  $\mu\text{Sv}$ 로 나타났다[표 3][그림 1]. 선량의 강도는 30cm에서 1m 거리의 경우 “거리 역자승 법칙”에 의한 감쇠가 있었고, 2m 거리에서는 산란선이 모두 소멸되어 전혀 측정되지 않았다[그림 2].

측정그룹 간 다중비교에서는 조사야 중심으로부터 30cm와 1m 거리의 경우 평균차가 0.373으로, 30cm와 2m 거리의 경우 평균차가 0.402로 나타나 매우 유의한 차이를 보였다( $P < 0.001$ )[표 3].

1.2 조사야 최대화 시

손에 대한 X선 촬영 시 조사야 크기를 최대화했을 때 조사야 중심으로부터 30cm, 1m, 2m 거리에서의 공간

선량은 각각 2.776, 0.103, 0.000  $\mu\text{Sv}$ 로 나타났다[표 3][그림 1]. 선량의 강도는 30cm에서 1m 거리의 경우 “거리 역자승 법칙”보다 더 높은 비율의 감쇠가 있었으나, 2m 거리에서는 산란선이 모두 소멸되어 전혀 측정되지 않았다[그림 2].

측정그룹 간 다중비교에서는 조사야 중심으로부터 30cm와 1m 거리의 경우 평균차가 2.672로, 30cm와 2m 거리의 경우 평균차가 2.776으로 나타나 매우 유의한 차이를 보였다( $P < 0.001$ )[표 4].

표 3. 손 X선 촬영에서 조사야 중심으로부터 거리별 공간선량

distance	field size	N	mean ± S.D. ( $\mu\text{Sv}$ )
30cm	최소화	30	0.402 ± 0.002
	최대화		2.776 ± 0.003
1m	최소화	30	0.030 ± 0.001
	최대화		0.103 ± 0.002
2m	최소화	30	0.000 ± 0.000
	최대화		0.000 ± 0.000

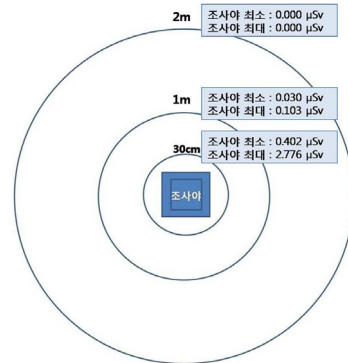


그림 1. 손 X선 촬영에서 조사야 중심으로부터 거리별 공간선량 분포 모식도

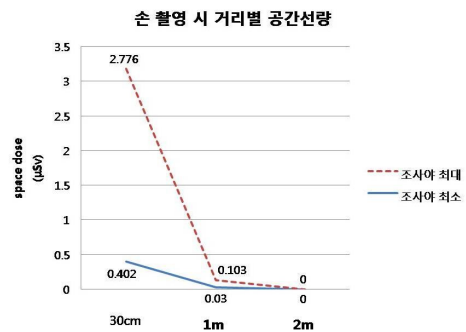


그림 2. 손 X선 촬영에서 조사야 중심으로부터 거리별 공간선량

표 4. 손 X선 촬영에서 조사야 중심으로부터 30cm 거리와 1m 및 2m 거리 측정그룹 간 다중비교

(I) distance (J) distance	field size	mean difference (I-J)
30cm	1m	0.373***
	2m	0.402***
30cm	1m	2.672***
	2m	2.776***

\*\*\*P<0.001

## 2. 머리(Skull) X선 촬영 시 조사야 중심으로부터 30cm, 1m, 2m 거리별 공간선량

### 2.1 조사야 최소화 시

머리에 대한 X선 촬영 시 조사야 크기를 최소화했을 때 조사야 중심으로부터 30cm, 1m, 2m 거리에서의 공간선량은 각각 14.514, 0.585, 0.136  $\mu$ Sv로 나타났다[표 5][그림 3]. 선량의 강도는 30cm에서 1m 거리의 경우 “거리 역자승 법칙”보다 훨씬 더 높은 비율의 감쇠가 있었으나, 1m에서 2m 거리에서는 “거리 역자승 법칙”에 의한 감쇠가 나타났다[그림 4].

측정그룹 간 다중비교에서는 조사야 중심으로부터 30cm와 1m 거리의 경우 평균차가 13.929로, 30cm와 2m 거리의 경우 평균차가 14.378로 나타나 매우 유의한 차이를 보였다(P<0.001)[표 6].

### 2.2 조사야 최대화 시

머리에 대한 X선 촬영 시 조사야 크기를 최대화했을 때 조사야 중심으로부터 30cm, 1m, 2m 거리에서의 공간선량은 각각 107.403, 1.623, 0.300  $\mu$ Sv로 나타났다[표 5][그림 3]. 선량의 강도는 30cm에서 1m 거리의 경우 “거리 역자승 법칙”보다 훨씬 더 높은 비율의 감쇠가 있었으나, 1m에서 2m 거리에서는 “거리 역자승 법칙”에 의한 감쇠가 나타났다[그림 4].

측정그룹 간 다중비교에서는 조사야 중심으로부터 30cm와 1m 거리의 경우 평균차가 105.780으로, 30cm와 2m 거리의 경우 평균차가 107.103으로 나타나 매우 유의한 차이를 보였다(P<0.001)[표 6].

표 5. 머리 X선 촬영에서 조사야 중심으로부터 거리별 공간 선량

distance	field size	N	mean $\pm$ S.D. ( $\mu$ Sv)
30cm	최소화	30	14.514 $\pm$ 0.002
	최대화		107.403 $\pm$ 0.003
1m	최소화	30	0.585 $\pm$ 0.001
	최대화		1.623 $\pm$ 0.002
2m	최소화	30	0.136 $\pm$ 0.000
	최대화		0.300 $\pm$ 0.000

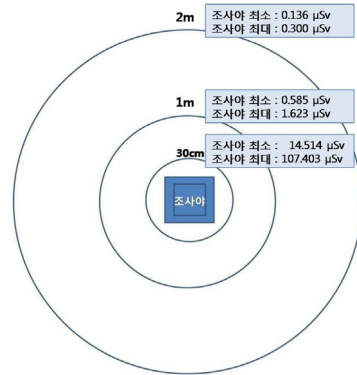


그림 3. 머리 X선 촬영에서 조사야 중심으로부터 거리별 공간선량 분포 모식도

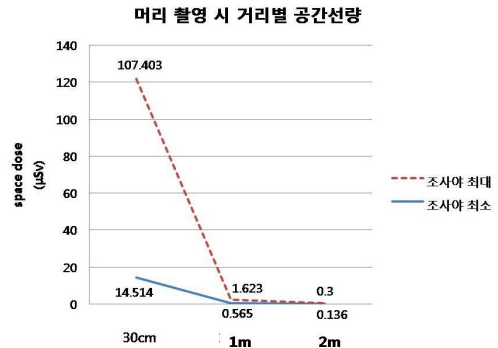


그림 4. 머리 X선 촬영에서 조사야 중심으로부터 거리별 공간선량

표 6. 머리 X선 촬영에서 조사야 중심으로부터 30cm 거리와 1m 및 2m 거리 측정그룹 간 다중비교

(I) distance (J) distance	field size	mean difference (I-J)
30cm	1m	13.929***
	2m	14.378***
30cm	1m	105.780***
	2m	107.103***

\*\*\*P<0.001

3. 복부(Abdomen) X선 촬영 시 조사야 중심으로 부터 30cm, 1m, 2m 거리별 공간선량

3.1 조사야 최소화 시

복부에 대한 X선 촬영 시 조사야 크기를 최소화했을 때 조사야 중심으로부터 30cm, 1m, 2m 거리에서의 공간선량은 각각 18.862, 1.378, 0.325  $\mu\text{Sv}$ 로 나타났다[표 7][그림 5]. 선량의 강도는 30cm에서 1m 거리의 경우 “거리 역자승 법칙”보다 더 높은 비율의 감쇠가 있었으나, 1m에서 2m 거리에서는 “거리 역자승 법칙”에 의한 감쇠가 나타났다[그림 6].

측정그룹 간 다중비교에서는 조사야 중심으로부터 30cm와 1m 거리의 경우 평균차가 17.484로, 30cm와 2m 거리의 경우 평균차가 18.538로 나타나 매우 유의한 차이를 보였다( $P < 0.001$ )[표 8].

3.2 조사야 최대화 시

복부에 대한 X선 촬영 시 조사야 크기를 최대화했을 때 조사야 중심으로부터 30cm, 1m, 2m 거리에서의 공간선량은 각각 117.520, 2.080, 0.467  $\mu\text{Sv}$ 로 나타났다[표 7][그림 5]. 선량의 강도는 30cm에서 1m 거리의 경우 “거리 역자승 법칙”보다 훨씬 더 높은 비율의 감쇠가 있었으나, 1m에서 2m 거리에서는 “거리 역자승 법칙”에 의한 감쇠가 나타났다[그림 6].

측정그룹 간 다중비교에서는 조사야 중심으로부터 30cm와 1m 거리의 경우 평균차가 115.440으로, 30cm와 2m 거리의 경우 평균차가 117.053으로 나타나 매우 유의한 차이를 보였다( $P < 0.001$ )[표 8].

표 7. 복부 X선 촬영에서 조사야 중심으로부터 거리별 공간 선량

distance	field size	N	mean $\pm$ S.D. ( $\mu\text{Sv}$ )
30cm	최소화	30	18.862 $\pm$ 0.002
	최대화		117.520 $\pm$ 0.003
1m	최소화	30	1.378 $\pm$ 0.001
	최대화		2.080 $\pm$ 0.002
2m	최소화	30	0.325 $\pm$ 0.000
	최대화		0.467 $\pm$ 0.000

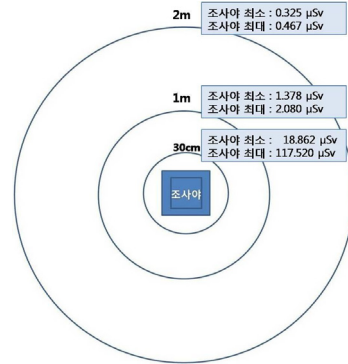


그림 5. 복부 X선 촬영에서 조사야 중심으로부터 거리별 공간선량 분포 모식도

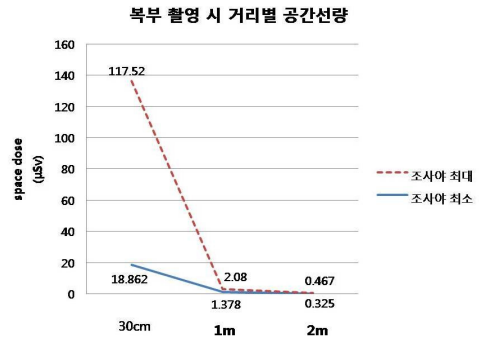


그림 6. 복부 X선 촬영에서 조사야 중심으로부터 거리별 공간선량

표 8. 복부 X선 촬영에서 조사야 중심으로부터 30cm 거리와 1m 및 2m 거리 측정그룹 간 다중비교

(I) distance	(J) distance	field size	mean difference (I-J)
30cm	1m	최소화	17.484***
	2m		18.538***
30cm	1m	최대화	115.440***
	2m		117.053***

\*\*\* $P < 0.001$

IV. 고 찰

방사선 관계종사자나 일반인들은 막연히 X선 촬영 시 촬영실 내부공간에 일정량의 산란선이 존재하고 있고, 이로 인해 어느 정도의 피폭을 받는다고 생각해온 것이 보편화된 사실이다[3].

본 연구는 X선 촬영실 내에 존재하고 있는 공간선량에 대해 촬영부위별, 측정거리별, 그리고 조사야크기별 등으로 구분하여 어떻게 분포하고 있는지를 실험을 통해 구체적으로 파악했다.

진민철 등(2011)은 X선 촬영대에 팬텀을 올려놓고 2차선에 의한 전방 공간선량을 측정하였는데, 42.5cm 거리의 선량을 100%로 하였을 때 거리가 2배 되었을 때는 23.09%로, 거리가 3배가 되었을 때는 10.43%로 감소되었고, 이는 “거리 역자승 법칙”보다 더 많이 감소된 것이라 보고했다[4].

나수경 등(2009)은 팬텀을 이용한 X선 촬영실 내 산란선 공간분포 연구에서 팬텀으로부터 1m, 2m, 3m 떨어진 거리에서 측정한 산란선량 값은 각각 “거리 역자승 법칙”에 따라 감소하였다고 보고했다[5].

이인자 등(2006)은 다른 촬영실에 비해 공간이 협소한 유방촬영실의 공간산란선량 조사 연구에서 X선관으로부터 50cm에서의 선량을 100%로 하였을 때 100cm에서 26.8%, 200cm에서 6.6%로 나타나 “거리 역자승 법칙”에 따라 감소하였다고 보고했다[6].

권덕문 등(2001)은 이동형 X선 촬영 시의 공간산란선량 분포 연구에서 80 kVp, 20 mAs, 조사야 30cm × 30cm, SID 100cm 촬영조건에서 조사 중심으로부터 50cm, 100cm, 150cm에서 880  $\mu$ R, 180  $\mu$ R, 50  $\mu$ R의 산란X선이 발생하였다고 보고했다[7].

오현주 등(1994)은 X선 촬영실 내의 공간산란선량 변동에 관한 연구에서 조사 중심으로부터 1m에서 2m로 멀어지면 공간선량은 전방이 3.6배, 측방 2.4배, 후방 2배 등으로 감소하고, 산란선량은 모든 위치에서 “거리 역자승 법칙”이 적용되지 않는다고 보고했다[8].

본 연구에서는 첫째, 조사조건(kVp, mAs)이 낮아 산란선 발생량이 적은 손 촬영의 공간선량은 조사야 최소화와 최대화 시 모두 조사야 중심으로부터 1m 거리까지 “거리 역자승 법칙”에 근접한 감쇠가 이루어졌고, 2m 거리로 멀어질 경우 조사야 최소화와 최대화 시 모두 산란선이 소멸되어 전혀 측정되지 않았다. 둘째, 조사조건(kVp, mAs)이 높아 산란선 발생량이 많은 머리나 복부 촬영의 공간선량은 조사야 중심으로부터 30cm에서 1m 거리에서는 조사야 최소화와 최대화 시 모두

“거리 역자승 법칙”보다 더 높은 비율의 감쇠가 이루어졌고, 1m에서 2m 거리에서는 조사야 최소화와 최대화 시 모두 “거리 역자승 법칙”에 의한 감쇠가 이루어졌다. 조사야 중심으로부터 1m 거리까지 “거리 역자승 법칙”보다 더 높은 비율의 감쇠가 이루어진 이유로는 X선에 의한 산란선은 조사 중심으로부터 반경 1m 거리 이내에 동심원상으로 집중되어 있고[9], 이들은 대부분 투과력이 약한 연선으로서 1m 이내에서 공기 중 흡수를 일으켜 거의 모두 소멸되기 때문이다.

## V. 결론 및 제언

지금까지 손, 머리, 복부 등에 대한 X선촬영 시행 시 조사야 중심으로부터 30cm, 1m, 2m 거리에서 발생하는 공간선량이 어느 정도인지를 알아보고, 1차선에서처럼 산란선에 의한 공간선량이 있어도 선량의 강도가 “거리 역자승 법칙”에 의해 동일하게 감소하는지의 여부를 파악했다.

첫째, 손처럼 조사조건(kVp, mAs)이 낮아 산란선 발생량이 적은 촬영의 공간선량은 조사야 최소화와 최대화 시 모두 조사야 중심으로부터 대부분의 거리에서 “거리 역자승 법칙”에 근접한 감쇠가 이루어지면서, 2m 거리에서는 산란선이 모두 소멸되어 공간선량이 전혀 측정되지 않았다.

둘째, 머리나 복부처럼 조사조건(kVp, mAs)이 높아 산란선 발생량이 많은 촬영의 공간선량은 조사야 최소화와 최대화 시 모두 조사야 중심을 기준으로 30cm에서 1m 거리에서는 “거리 역자승 법칙”보다 더 높은 비율의 감쇠가 이루어지고, 1m에서 2m 거리에서는 “거리 역자승 법칙”에 의한 감쇠가 이루어졌다.

따라서 X선 촬영 시 부득이하게 촬영실 내에 머물러 있는 종사자나 환자보호자들은 손처럼 산란선 발생량이 적은 촬영의 경우 조사야 중심으로부터 적어도 2m 이상 떨어져 있어야 하고, 머리나 복부처럼 산란선 발생량이 많은 촬영의 경우 촬영실 내 모든 공간에서 보호앞치마나 차폐칸막이를 이용한 X선 피폭 방어를 요구된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 신귀순, 방사선물리학, 신광출판사, 2005.
- [2] 박수성, 김건상, 이관세, 오용호, 이용철, 박경진, 김진중, 진단방사선원리, 대학서림, 2000.
- [3] 조평곤, “흉부 X선 촬영 시 산란선 분포 연구”, 한국콘텐츠학회논문지, 제12권, 제12호, p.256, 2012.
- [4] 전민철, 임현수, 한만석, “일반촬영 시 거리역자승 법칙에 따른 산란선 감약에 관한 연구”, 대한방사선기술과학, 제34권, 제3호, pp.186-187, 2011.
- [5] 나수경, 한상호, “엑스선 촬영실의 공간산란선 발생 인자에 관한 연구”, 대한방사선기술과학, 제32권, 제4호, p.397, 2009.
- [6] 이인자, 박계연, 김성수, “유방촬영의 실태와 유방 촬영실의 공간산란선량에 관한 조사 연구”, 방사선기술과학, 제29권, 제1호, p.26, 2006.
- [7] 권덕문, 박명환, 남효덕, “이동형 X선촬영에서 공간산란선량 분포 측정”, 한방기학지, 제24권, 제1호, pp.23-26, 2001.
- [8] 오현주, 김성수, 김영일, 임한영, 김홍태, 이후민, 김학성, 이상석, “X선촬영실 내에서의 공간산란선량 변동에 관한 연구”, 한방기학지, 제17권, 제2호, p.25, 1994.
- [9] 권덕문, 박명환, 남효덕, “이동형 X선촬영에서 공간산란선량 분포 측정”, 한방기학지, 제24권, 제1호, p.24, 2001.

## 저 자 소 개

최 성 관(Seong-Kwan Choi)

정회원



- 1998년 8월 : 순천대학교 행정대학원(행정학석사)
- 2007년 2월 : 조선대학교 대학원 보건학과(보건학박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 광주보건대학교 방사선과 교수

<관심분야> : 방사선과학기술, 방사선보건