JOURNAL OF RADIATION INDUSTRY

Technical paper

16(4) : 543-549 (2022)
https://doi.org/10.23042/radin.2022.16.4.543

방사선 검사 시 2차 누출 방사선에 대한 연구

박환규[1], 구은회[1,*]

[1]청주대학교 보건의료과학대학 방사선학과

A Study on Leakage Radiation in Radiographic Examination

Hwan Kyu Park[1] and Eun Hoe Goo[1,*]

[1]Department of Radiological Science, Cheongju University, 298, Daeseong-ro, Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do 28503, Republic of Korea

Abstract During radiological examination, exposure should be minimized, and there should be no unnecessary exposure. But, 93 out of 100 radiation workers who examine with the control room door open were identified. The purpose of this study was to investigate the effect on radiation workers by measuring the scattering ray, leakage ray with an active dosimeter during radiological examination with the control room door open. Among the five tests frequently performed in upper hospitals, two were identified, chest and spine. To study the difference according to the equipment, Listem's Analog and Gemss-medical's Digital Radiography equipment were used. Control room door opening angles of 25°, 50°, 75°, 100°, Measurements were made by changing the conditions by setting the distance from the door to 25 cm, 50 cm, and 100 cm. It was measured 10 times and represented by standard deviation, and Chest, both instruments measured values below the radiation control area. Spine measurement result 25 cm, 100 degree A device 2,325±33.6 μSv w^{-1}, D device 2,572±38.4 μSv w^{-1} maximum measurement, The minimum value was measured at 100 cm 25 degrees A device 159±16.4 μSv w^{-1} and D device 325±27.6. Except for 5 of the 24 conditions, all of them exceed the radiation control area. As a result of the study, it can be seen that the annual dose limit is exceeded by converting the unit of the maximum value to 128.6±1.92 mSv y^{-1}. As the distance increases and the opening angle of the control room door decreases, the scattering ray, leakage ray decreases. Considering the probabilistic effects recommended in ICRP 103, it is judged that continuous education for radiation workers is necessary.

Key words: Control room door, Opening angles, Active dosimeter, Scattering ray, Leakage radiation

1. 서 론

의료분야의 발전으로 영상장비의 성능 또한 향상되고 있다. 최근 의료분야에서 방사선을 이용한 검사가 증가하며, 이로 인해 전리방사선에 의한 피폭도 증가하고 있다[1]. 국민 일인 기준 연간 진단용 방사선 피폭량은 1.4 mSv이며, 일반촬영이 0.44 mSv로 32%를 차지한다. 인공방사선 피폭에서 진단용 피폭은 95%를 차지하며 자연 방사선 다음으로 많다. 이는 환자나 종사자의 피폭선량 관리의 중요성을 암시한다. 국제방사선방호위원회의 권고(ICRP 103)에 따라 통상적으로 해롭다고 부르는 방사선은 물질을 이온화, 전리시킬 수 있는 전리방사선만을 말한다. 전리방사선에는 α선, ß선, γ선, X선, 중성자선 등이 있으며 진단용 의료방사선 장비에서는 주로 X선을 사용한

http://www.ksri.kr/
Copyright © 2022 by
Korean Society of Radiation Industry
***Corresponding author.** Eun Hoe Goo
Tel. +82-43-229-7994 Fax. +82-43-229-7947 E-mail. gooeh@cju.ac.kr
Received 25 November 2022 **Revised** 12 December 2022 **Accepted** 28 December 2022

다[2,3]. 진단 방사선에서 저 선량을 사용하는 전리방사선에 의한 의료피폭은 확률적 영향으로 나타내며 LNT (Linear Non Threshold) model을 방사선 방어에 적용하고 있다[4]. 방사선 검사는 영상의학과에서 초기 진단을 위한 기본적인 검사로 206개의 해부학적 구조를 검사하는 만큼 부위에 따라 검사조건도 다양하며, 조건에 따라 피폭선량도 상이하다. 방사선 관계종사자는 방사선 촬영과 피폭선량 관리가 주된 업무이다. 방사선 검사 시 환자의 피폭선량을 최소화하기 위해 검사조건(kVp, mAs)을 환자의 체격에 따라 조정해야 하며, 조사야 또한 질병 부위를 포함하여 최소화해야 한다[5]. 환자의 피폭선량 관리만큼 중요한 것은 방사선 관계종사자의 피폭선량 관리이다. 의료직 종사자 의사, 방사선사, 간호사, 기타 중 의사와 방사선사가 다른 직종에 비해 피폭선량이 높게 나타났으며, 종사자의 피폭선량은 매년 증가하고 있다[6]. 방사선 관계종사자의 피폭선량을 최소화하기 위해서는 시간, 거리, 차폐 외부피폭의 "3대 방어원칙"을 적절히 병행하여 ALARA (As Low As Reasonably Achievable) 원칙에 의거 피폭선량을 가능한 합리적으로 낮게 유지해야 한다. 방사선에 노출되는 시간을 최소화해야 하고, 거리역자승의 법칙에 따라 방사선이 발생되는 위치에서 최대한 거리를 멀리하며, 방호복 등을 이용하여 차폐해야 한다[7,8]. 방사선 검사 시 검사실 문을 닫고 검사하도록 권고하고 있으나, 긴급한 상황에 신속한 조치를 위해 불가피하게 검사실 문이 개방된 상태에서 검사해야 하는 경우 등 여러 가지가 있다. 검사 시 환자들의 대기시간 단축 등을 고려하여 검사실 문을 개방하는 것이 효율적이라 생각하고 관행화가 되어 있는 병원도 종종 볼 수 있다[9]. 검사실 문이 개방된 상태에서 방사선 검사 시 종사자의 위치에 따라 미치는 영향이 상이할 것으로 판단된다[10]. 따라서 본 연구는 검사실 문을 개방하고 방사선 검사를 시행하는 종사자를 파악하고, 방사선 검사조건, 검사실 문의 개방 각도, 검사실 문으로부터 종사자가 위치한 거리 등 여러 상황에 따라 검사실 내부 공간선량률을 능동형 선량계로 측정한 후 예상 피폭선량을 파악하여 방사선 관계종사자들에게 미치는 영향에 대하여 알아보고자 하였다.

2. 대상 및 방법

2.1. 연구 장비

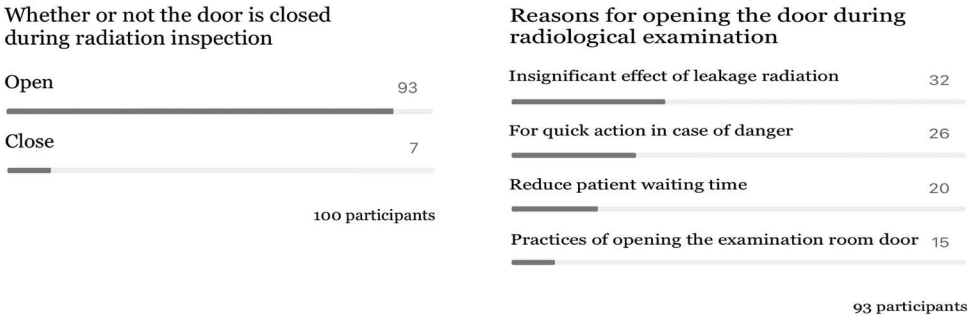
방사선 발생 장비는 (a) Listem analog system BLD-150RK X-ray Max Voltage 150 kVp, (b) Gemss-medical DR system E7252X Max Voltage 150 kVp를 사용하였다. 측정 도구인 능동형선량계 (c) SEI (Radiation alert ranger) Operating range 0.01~1.000 μSv (측정범위) GM Type 검출기를 이용하여 보호 장비 착용 후 두 개의 방사선 발생 장비를 비교 측정하여 연구를 진행하였다(Fig. 1).

2.2. 연구 방법

방사선 검사 시 검사실 문을 닫고 검사하도록 권고하고 있지만, 검사실 문을 개방하고 검사하는 종사자를 파악하여 연구하기 위해 방사선 관계종사자 100명을 대상으로 방사선 검사 시 검사실 문의 개폐 여부에 대하여 조사하였고, 93%가 문을 개방한다는 결과가 나왔다. 대부분 종합병원급 이상에서 재직하고 있으며, 다수가 함께 일하는 구조를 이루고 있었고, 검사실 문을 닫고 검사하는 종사자는 7%로 개인병원이나, 보건소 등 1명의 종사자가 일하는 구조인 것을 확인하였다. 검사실 문을 개방하여 검사를 시행한다고 응답한 사람들을 대상으로 그 이유에 대하여 조사한 결과 2차선에 대한 영향이 미미할 것으로 판단 32명, 환자의 낙상 등 위험에 신속하게 대처하기 위함 26명, 환자

(a) Listem BLD150-RK (b) Gemss-Medical. E7252X (c) SEI GM type dosimeter

Fig. 1. Radiation equipment and GM type survey meter.



(a) Whether the examination room door is opened or closed during radiological examination.

(b) Reasons for opening the examination room door during radiological examination.

Fig. 2. Investigation of 100 radiologists.

들의 대기시간 단축 20명, 검사 시 검사실 문 개방의 관행화 15명으로 파악되었다(Fig. 2). 조사 결과 2차선에 대한 영향이 미미할 것으로 판단한 인원이 가장 많았으며, 실제 종사자들에게 2차선이 미치는 영향을 연구하기 위해 E병원, K병원, D병원에서 시행되는 5개의 검사 Chest, Spine, Skull, Pelvis, Rib 중 Chest 월평균 16,729±2,910회, Spine 월평균 5,893±6,166회로 많이 시행하는 검사이면서 고관전압, 고관전류를 사용하는 2개의 조건을 검사조건으로 설정하였다. 실험에 앞서 GM 계수식 서베이미터를 사용한 이유는 공간선량률 측정용 서베이미터 중 전리함식, 신틸레이션식, GM 계수관식이 사용되지만 GM 계수관식 서베이미터는 방향 의존성이 없으며, 감도가 뛰어나 효과적인 측정을 할 수 있다.

2.3. 평가 방법

2차선의 정확한 공간 선량을 측정하기 위해 실험실 내부의 백그라운드 선량을 측정하였고, 하루 8시간을 기준으로 시간당 검사 횟수를 계산하여 Chest 101회, Spine 36회로 측정하였다. 실험실 내부는 두 개의 방사선 촬영실과 암실이 직렬로 배치되어 있으며, 촬영실 밖으로 검사실이 위치한다. 외부로 나가는 출입문은 두 개가 있으며, 해당 위치와 2차선 선량 측정 위치에서 백그라운드 선량을 측정하였다(Fig. 3).

실험은 E, K, D병원에서 가장 많이 시행하는 검사인 Chest와 Spine 검사조건으로 시행하였다. Chest 120 kV, 320 mA, 5 mAs, SID 180 cm, Spine 75 kV, 400 mA, 64 mAs, SID 100 cm로 Table 1을 기준으로 하였다.

검사실문의 개방 각도는 완전 닫힌 상태인 (a) 0°(90°)를

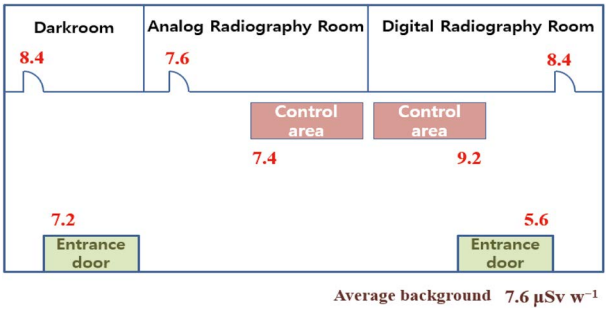


Fig. 3. Air dose rate inside the radiation control room.

Table 1. Radiation expose parameter

	Chest	Spine
kV	120	75
mA	320	400
mAs*	5	64
SID†	180 cm	100 cm
mGy cm^{-2}	473.70	3,133.80

mAs*: Milli ampere sec, SID†: Source image receptor distance

기준으로 (b) 25°(115°), (c) 50°(140°), (d) 75°(165°), (e) 100°(190°) 점차 증가시키며 측정하였다(Fig. 4).

검사실 문으로부터 종사자들이 상주하는 거리 (a) 25 cm, (b) 50 cm, (c) 100 cm로 검사실 문의 개방 각도마다 거리를 멀어지며 측정하였다(Fig. 5).

측정 오차 최소화를 위해 가슴 높이에서 10회 측정 후 표준편차로 나타냈다. 계측기의 기본단위는 μSv h^{-1}이며, 방사선 관리구역 기준인 μSv w^{-1} 주당 선량으로 변환하여 측정값을 표기하였다.

(a) 0° (b) 25° (c) 50° (d) 75° (e) 90°

Fig. 4. Opening degree of control room door.

(a) (b) (c)

Fig. 5. Distance from control room door.

2.4. 통계

두 장비(Analog와 DR)에 대하여 Chest, Lumbar spine 각각 거리 25 cm, 50 cm, 100 cm, 25°, 50°, 75°, 100°에 대하여 정량적 분석으로 통계적 유의성은 독립표본 t 검정(independent sample t-test)로 계산되었으며 본 데이터 분석에 적용된 프로그램은 PASW Statistics (release 23.0) 프로그램을 이용하여 p값이 0.05 이하일 때 유의성을 두었다.

3. 결 과

3.1. Chest 측정 결과

고관전압을 사용하는 Chest의 검사조건을 이용하여 공간선량률을 측정하였다. Chest 측정 결과, 가장 가까운 측정 위치, 검사실 문의 최대 개방 각도 25 cm, 100°에서 A장비는 261 ± 7.6 μSv w^{-1}의 최대값, D장비는 227 ± 8.4 μSv w^{-1}의 최대값이 나타났다 ($p = 0.000$). 가장 먼 측정 위치, 검사실 문의 최소 개방 각도 100 cm, 25°에서 A장비는 77 ± 1.6 μSv w^{-1}의 최소값, D장비는 87 ± 4.8 μSv w^{-1}의 최소값이 나타났다 ($p = 0.000$). 방사선 관계종사자들이 많이 상주하는 위치와 문의 개방 각도인 100 cm, 100°에서 A장비는 167 ± 3.2 μSv w^{-1}이 측정되었고 ($p = 0.000$), D장비는 186 ± 5.2 μSv w^{-1}이 측정되었다 ($p = 0.000$). Chest의 조건으로 진행한 모든 연구조건에 따른 검사실 문 개방 각도 4개와 측정 거리 3개에 따라 측정된 결과는 Table 2와 같이 A, D장비 모두 방사선 관리구역 미만의 값이 측정되었다 ($p = 0.000$).

3.2. Spine 측정 결과

고관전류를 사용하는 Spine의 검사조건을 이용하여 공간선량률을 측정하였다. Spine 측정 결과, 가장 가까운 측정 위치, 검사실 문의 최대 개방 각도 25 cm, 100°에서 A장비는 2,325 ± 33.6 μSv w^{-1}의 최대값, D장비는 2,572 ± 38.4 μSv w^{-1}의 최대값이 나타났다. 가장 먼 측정 위치, 검사실

Table 2. Air dose rate according to the opening angle of the control room door and the distance from the door ($\mu Sv\ w^{-1}$)

	25°		50°		75°		100°		p
	A	D	A	D	A	D	A	D	
25 cm	159 ± 6.8	171 ± 12.4	194 ± 8.4	205 ± 8	240 ± 5.6	248 ± 8.8	261 ± 7.6	227 ± 8.4	0.000
50 cm	97 ± 2	110 ± 3.2	169 ± 4.8	184 ± 8.4	188 ± 4	201 ± 5.6	207 ± 5.6	222 ± 6.4	0.000
100 cm	77 ± 1.6	87 ± 4.8	123 ± 4	131 ± 3.6	137 ± 3.6	147 ± 4	167 ± 3.2	186 ± 5.2	0.000

Note: Numbers are mean ± standard deviation, A: analog, D: Digital Radiography, independent t-test, $p < 0.05$.

Table 3. Air dose rate according to the opening angle of the control room door and the distance from the door ($\mu Sv\ w^{-1}$)

	25°		50°		75°		100°		p
	A	D	A	D	A	D	A	D	
25 cm	552 ± 20.4	609 ± 13.2	1,288 ± 21.6	1,511 ± 47.2	1,886 ± 35.2	2,066 ± 30	2,325 ± 33.6	2,572 ± 38.4	0.000
50 cm	315 ± 17.6	493 ± 46.8	668 ± 24	775 ± 34.8	964 ± 26	1,205 ± 63.2	1,687 ± 51.6	1,812 ± 47.2	0.000
100 cm	159 ± 16.4	325 ± 27.6	218 ± 13.6	557 ± 37.6	286 ± 11.6	810 ± 27.6	417 ± 21.6	1,135 ± 43.2	0.000

Note: Numbers are mean ± standard deviation, A: analog, D: Digital Radiography, independent t-test, $p < 0.05$.

문의 최소 개방 각도 100 cm 25°에서 A장비는 159 ± 16.4 $\mu Sv\ w^{-1}$의 최소값, D장비는 325 ± 27.6 $\mu Sv\ w^{-1}$의 최소값이 나타났다. 방사선 관계종사자들이 많이 상주하는 위치인 100 cm, 100°에서 A장비는 417 ± 21.6 $\mu Sv\ w^{-1}$이 측정되었고 ($p = 0.000$), D장비는 1135 ± 43.2 $\mu Sv\ w^{-1}$이 측정되었으며 ($p = 0.000$), 총 24개의 연구조건 중 5개의 조건 제외하고 Table 3과 같이 방사선 관리구역 400 $\mu Sv\ w^{-1}$ 이상의 범위를 초과하였다.

4. 고 찰

A장비보다 D장비를 사용하여 측정된 결과값이 높게 나타났다. Chest 검사 시 A, D 두 장비 모두 관리구역 미만의 값이 식별되었고, Spine 검사 시 24개의 조건 중 5개를 제외하고 모두 방사선 관리구역의 범위를 초과하였다. 측정된 최대값의 단위를 환산하여 연간 누적 피폭선량을 계산한 결과 128.6 ± 1.92 mSv y^{-1}으로 연간 선량한도 (100 mSv $5y^{-1}$)를 초과하는 것을 알 수 있고, 0.13 ± 0.0019 Gy y^{-1} 흡수선량으로 변환하였다. 방사선 방호 기준에 따르는 생물학적 효과를 일으키는 저 선량 영역을 0.1 Gy라고 하지만 급성 고 선량 피폭에 해당하며, 적혈구감소증 (0.2~0.5 Gy), 불임 (0.5~1 Gy), 탈모 (2~3 Gy)를 기준으로 위해도를 비교해 보았다[11]. 2차선에 의한 영향은 만성 저 선량 피폭이므로, 확률적인 영향을 고려해야 한다[12]. 저 선량 방사선에 확률적 영향과 상반되는 소량의 방사선 피폭은 인체의 면역기능 등을 자극하여 몸에 이로운 역할을 유발한다는 호르메시스 이론도 있지만[13], 앞으로 해결해야 할 연구과제이다.

방사선 영역에서 흔히 말하는 저 선량은 100 mSv 이하를 말하며, 호르메시스 (hormesis)란 다량이면 독성을 나타내는 물질이지만 작용원이 소량인 경우는 생체를 자극하여, 생리학적으로 유익한 효과를 내게 된다. 1943년, Southam CM과 Ehirch J에 의해 다량이라면, 균류성장을 저해하는 참나무 (oak) 수피추출물이, 소량이라면 균류성장을 촉진시키는 현상에 사용한 것을 최초로 증명한 바 있다. 호르메시스란 자극 또는 촉진을 의미하며 해롭지 않은 수준의 가벼운 스트레스, 미량의 독소 등 다양한 물리적, 화학적, 생물학적인 방법으로 생명체에 자극을 주면 면역기능 증진, 질병 감소, 수명연장과 같이 생체기능에 유익한 효과를 주는 것이다 (Fig. 6). 이 효과는 포유류세포, 동물에서는 0.01~0.1 Gy 부근의 선량 영역에서 나타나 면역기능의 향상, 질병에 대한 저항력증가, 방사선에 대한 저항력이 발생한다는 보고가 있다[14]. 호르메시스에 대한 다양한 연구 결과 소량의 방사선인 경우 방사선에 의하여 하나의 단일 가닥 손상이 발생한 후 또 하나의 단일 가닥 손상이 동

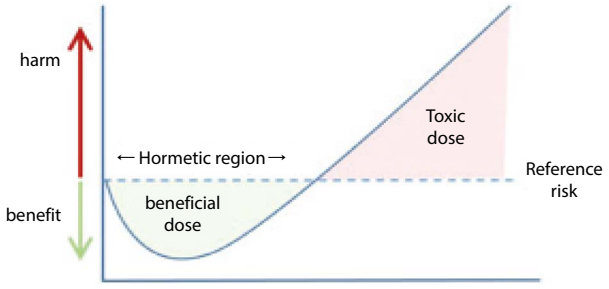


Fig. 6. Radiation hormesis effect.

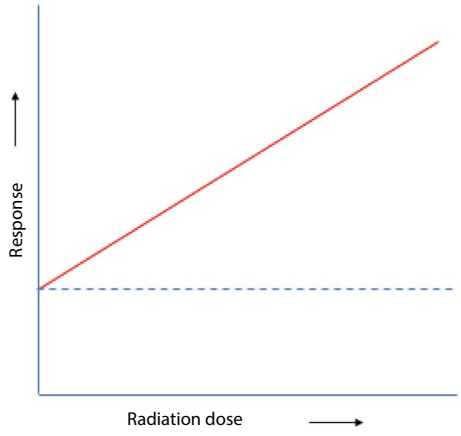


Fig. 7. Linear no threshold model.

일 장소에 발생하기 전에 회복됨으로써 회복 불가능한 손상에 필요한 이중 가닥 손상으로 진행되지 못하며 세포 내 복구과정이 유도되고 면역 반응 등에 의한 위해 방어 요소가 작용하는 것으로 생각된다. 방사선장해방어에서 다루는 적응반응 또한 호르메시스의 이론적 근거 중 하나이다. 실제 10 cGy 이하의 저 선량 피폭 후 1 Gy 이상의 고 선량 피폭을 받으면 직전에 저 선량을 받지 않은 대조군에 비해 실험군에서 세포 손상이나 돌연변이율이 훨씬 줄어듦을 관찰한 많은 적응반응 연구 결과가 있다[15]. 그러므로 저 선량 영역에 대한 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

LNT model은 방사선 피폭량과 암 발생 위험도가 선형 관계를 보이고 암 발생을 위한 문턱 선량은 없다고 추정하는 모델이다. 아무리 작은 선량의 방사선이라도 암 발생의 확률이 있으며 이는 방사선의 양과 비례하며 역치는 없다. BEIR VII 보고서에서는 고형암의 발생 위험이 이 모델을 따른다고 추정하였다. 즉 Fig. 7과 같이 선량이 증가함에 따라 영향의 발생 빈도는 증가한다. 나타나는 영향의 인과 관계를 입증하는 것은 어려우며, 인체에 나타나는 영향중에서 발암, 유전적 결함 등이 이에 속한다. 확률적 영향을 줄이기 위해서는 개인의 선량한도를 초과하지 않도록 하고, 정당하다고 하는 피폭을 경제적 및 사회적 요인을 고려하여 합리적으로 달성 가능한 낮게 유지(ALARA)하는 것이 필요하다.

본 연구에 대한 제한점이 있다면, X선관 위치에 따라 검사실과 X선관의 거리 변화로 측정되는 공간선량률이 상이하며, 검사실 벽두께 등 시설물 구조에 따라 공간선량률의 변화가 생기지만, 저 선량도 결코 무시해서는 안되며, 불필요한 피폭은 없어야 한다. 능동형 선량계 특성상 예상 피폭선량 측정은 가능하지만, 인체 등가 물질 등을 필터로 고려한 피폭선량과의 직접적인 관계는 없으며, 추후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

5. 결 론

결론적으로, 검사조건에 따라 상이하지만 방사선 관리구역 기준 및 연간 선량한도의 방사선량률을 초과할 우려가 있기 때문에 검사실 문의 개폐 여부에 각별한 주의가 필요하며, 국제방사선방호위원회(ICRP103)에서 권고하는 확률적 영향을 고려하여 방사선 관계종사자들에 대한 지속적인 교육이 필요하다고 본다. 본 논문은 향후 방사선 검사 시 방사선 관계종사자들의 2차선에 의한 피폭선량을 감소시키기 위한 노력이 필요하며, 이러한 결과를 토대로 임상적인 기초자료가 될 것이라고 생각한다.

참고문헌

1. Kang EB. 2019. A Comparison of Density and Patient Doses According to kVp and mAs Changes in General Radiography. *J. Korean Radiol. Soc.* **13**(7):987-994.
2. Valentin J. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP*. ICRP Publication (103):1-332.
3. Chung EK, Kim KB and Song SW. 2015. Exposure Assessment and Management of Ionizing Radiation. *J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg.* **25**(1):27-35.
4. Kang EB, Hwang IC and Shin WJ. 2014. Assessment of Radiation Dose Due to X-Ray Simple Series Examinations. *J. Korean Radiol. Soc.* **8**(2):81-88.
5. Kang MH, Cho JM, Jung BJ, Noh SC, Kang SS, Choi IH, Jung

HJ and Park JK. 2014. A Study for Dose Difference of Anode and Cathode by the Size of Radiation Field in Normal Chest X-ray Examination. *J. Korean Radiol. Soc*. **8**(1):113-115.

6. Baek SM and Jang ES. 2011. Comparative evaluation of radiation exposure in radiation-related workers. *J. Korean. Radiol. Soc*. **5**(4):195-200.
7. Lee JA, Choi KW, Min JW, Lim JC and Son SY. 2016. Analysis of radiation exposure in radiation worker in medical facility and student in clinical practice. *J. Kor. Acad-Ind. Coop*. Soc. **17**(8):442-448.
8. Choi SK. 2016. A Study of Changes in the Primary Dose Penetrating the Protective Apron on SID in X-ray Radiography. *J. Radiol. Sci. Technol*. **39**(4):501-507.
9. Choi WK, Kim JH, Kang BS and Bae SH. 2010. Shielding Effect according to the Direction of Control Room Door Opening during Radiography. *J. Kor. Acad-Ind. Coop. Soc*. **11**(9):3347-3352.
10. Jeong CS and Kim JY. 2015. Radiation Exposure Evaluation Depending on Radiation Workers' Locations during Dental Radiography. *J. Korean Radiol. Soc*. **9**(7):433-438.
11. https://www.kdca.go.kr/contents.es?mid＝a20305010000
12. Lee DK and Kang HJ. 2002. Effects on Heamopoietic Cells and Chromosomal DNA of Leukocytes in Mice Irradiated with Low Dose of X-ray I. Changes of Leukocyte, Lymphocyte, Thrombocyte and Erythrocyte Numbe. *J. Prev. Vet. Med*. **26**(2):143-144.
13. Lee DK, Kang HJ. 2007. Low-dose Radiation-induced Hormetic Effect in the Rat Ovarian Follicle. *J. Anat. Biol. Anthropol*. **20**(3):201-211.
14. Lee DH. 2020. Study on Alpha Particles Dose Rate Effect of Cellular Response in Low Dose Exposure. College of Engineering/Engineering Practice School Dept. of Energy Systems Engineering. pp. 1-42.
15. Li MH and Bom HS. 2001. Radiation Adaptive Response Induced by I-131 Therapy in Patients with Differentiated Thyroid Cancer. *J. Korean. Soc. Phys. Med*. **35**(2):83-88.