

사업장 단체검진 시 흉부촬영의 방사선피폭 최적화 및 안전에 대한 고찰

- A Study on Safety of the Radiation Exposure Dose Optimization at Chest X-ray Examinations -

임재동 *

Rhim Jae Dong

강경식 **

Kang Kyong Sik

Abstract

The National Health Insurance Act, the Industrial Health Act and the School Health Act require chest radiography at least once a year. In chest radiographic examination, most group examinations use indirect X-ray primarily aiming at diagnosing diseases and enhancing people's health.

This study purposed to minimize radiation exposure dose by comparing it between direct and indirect chest X-ray studies. According to the result of comparing and analyzing radiation exposure dose, the average incident dose and penetrating dose were $0.929\mu\text{Gy}$ and $0.179\mu\text{Gy}$ respectively in direct chest X-ray and $6.807\mu\text{Gy}$ and $1.337\mu\text{Gy}$ in indirect chest X-ray. In order to minimize radiation exposure dose at direct and indirect chest X-ray, indirect X-ray should be excluded from group examination if possible. Moreover, it is necessary to control the quality of equipment (Q/A & Q/C) systematically and to avoid using unqualified equipment in order to reduce radiation exposure dose.

Keyword : Radiation exposure dose, indirect X-ray studies, direct X-ray studies.

† 본 논문은 명지대학교에 의해 지원되었음.

* 명지대학교 산업시스템 공학부 박사과정

** 명지대학교 산업시스템 공학부 교수

1. 서 론

1985년 린트겐에 의해 발견된 X-선이 의학용으로 진료에 이용되기 시작한 후 우리나라에 도입된 기록을 보면 1911년부터 조선총독부의원에서 설치, 진료에 사용한 것으로 기록이 있어 X-선 촬영장치가 국내에 소개된 것은 1911년부터 입을 알 수가 있다. 그 후 1913년에 세브란스 병원에 미국 Wepler사의 X-선장치가 도입되어 가동 되었으며 이어 진료에 이용하고자 설치된 X-선 장치는 1938년 당시 관·공립병원 28개의 의료기관중 방사선시설은 31개의 시설로 제조생산국별 설치대수는 일본 12대, 미국 12대, 독일 7대등 외국생산 제품으로 당시 방사선 검사의 의존도는 아주 미약하였다.

간접촬영장치의 도입은 1940년대에 35mm 필름장치가 도입되면서 방사선 흉부집단검진이 실시되기 시작하였으며, 1942년 조선결핵예방회에서 국내처음으로 시, 도, 학교, 보건소 등에서 흉부집단검진을 실시하게 되었다. 이어 흉부집단검진에서 흉부X-선 간접촬영은 결핵퇴치사업과 질병의 치료 및 예방차원에서 제정된 전염병예방법 및 산업안전보건법과 식품위생법 등 각종 보건관련법에 의하여 실시, 폐결핵과 폐암 등의 흉부 및 심장질환 등을 조기발견 하는데 중요한 역할을 함으로서 국민 건강 증진 및 예방에 지대한 공헌을 하고 있다.

집단검진에 의한 흉부방사선간접촬영은 직접촬영에 비하여 방사선의 피폭선량도 많을 뿐만 아니라 촬영자수도 해마다 증가하여 연간 1,000만 명이상으로 추측되며, 청소년층부터 노년층까지 폭넓은 연령층을 대상으로 검진하여 흉부계 질환 및 국민건강의 지표로 삼고 있기 때문에 검진의 빈도는 날로 증가하여 피검자의 방사선피폭선량을 간과할 수 없게 되었다. 이에 방사선피폭선량 경감이 강하게 요청되어 최소한의 방사선 선량으로 촬영의 목적을 달성하여 질병예방 및 치료차원의 진료에 도움이 되어야 한다.

현재 우리나라 대부분의 흉부집단검진 X-선 간접촬영은 질병의 진단 및 치료의 방편으로 피검자 자의적 견지로 검진을 받기보다는 제도에 의한 관련법(산업보건법, 학교보건법, 국민건강보험법, 식품위생법 등)에 따라 본인의 의사와는 관계없이 제도 하에서 이루어지고 있다. 이 제도 하에서 이루어지는 진단용 방사선으로부터의 피폭이 환자의 진단에 중요한 정보를 제공한다는 정당성 때문에 수검자의 방사선피폭선량은 도외시 되면서 사용되고 있다.

특히 수검자의 과반수에 달하는 가임 연령층의 방사선 피폭은 더욱 세심한 배려와 방사선 피폭선량의 경감은 대단히 중요한 과제이다. 이와 같은 점을 중시하여 일반적인 피검자들이 방사선 피폭선량을 가장 많이 접하게 되는 흉부X-선 간접촬영에 따르는 방사선피폭선량을 감소시키기 위한 노력이 필요하다.

본 연구에서는 첫째, 흉부X-선 간접촬영의 의의, 둘째, 흉부X-선 간접촬영용 카메라 시스템과 직접촬영법(F/S)의 방사선 피폭선량조사를 통하여 집단검진에서 이용하는 흉부X-선 간접촬영으로 인한 피폭선량의 최소화과 국민건강을 증진하는데 기여할 수 있는 제도 및 방사선 시스템의 개선 방안을 제안 하고자 한다.

2. 흉부X-선 간접촬영의 의의

흉부X-선의 감도는 심장 및 폐질환을 발견하는 목적으로 심장의 음영과 폐 실질 조직의 음영을 영상학적으로 진단함에 폐의 실질조직은 공기를 함유하고 있는 조직에서 그곳에 만약 수분을 중심으로 한 병균이 출현하는 경우에는 공기와 수분의 X-선 흡수 차로부터 얻어지는 대조도(contrast)가 가시적으로 영상에 묘출되어 발견 가능한 특징을 가지고 있다.

2.1 흉부 X-선 진단방법

2.1.1 흉부X-선 간접촬영

흉부X-선 간접촬영이라 함은 형광판면(회토류계[Gd₂O₂S : Tb])의 맺혀지는 영상을 렌즈 방식의 카메라 또는 미리 방식의 카메라를 이용하여 필름 면에 축사하는 방법으로 집단검진에서 요구되는 진단의 정확도, 경제성, 신속성, 안정성 및 대량의 처리능력 등을 충족시킬 수 있는 조건을 고려하여 결정하여야 한다.

2.1.2 흉부X-선 직접촬영

방사선이 인체를 투과하여 도달된 X-선을 증감지(screen: Gd₂O₂S : Tb)를 사용하여 증강된 빛으로 증감지에 밀착된 필름에 영상정보를 기록한다.

2.1.3 흉부X-선 디지털방식 직접촬영(DDR)

방사선 촬영방식을 기존의 필름 시스템에서 벗어나 인체를 투과하여 도달된 X-선을 디텍터(CsI, selenium 등)를 사용, 영상신호를 디지털 처리하여 영상의 보관, 전송이 용이하도록 설계되어 있으나 방사선장비의 시스템구성 시 고가이며 영상 해상력에서 필름에 비하여 입상성이 저하되기 때문에 아직은 집단검진용으로는 적극 사용되지 않고 있다.

3. 진단용X-선 장치의 이용

우리나라는 진단용 X-선 장치의 제품표준화를 도모하기 위하여 국제방사선방어위원회(ICRP) 및 국제전기기술위원회(IEC) 권고 등을 근거로 진단용 X-선 장치의 한국산업 규격이 1975년 10월 제정(개정 1985)되었으며, 그 후 의료용구 제조허가 관서인 보건복지부에서 1980년 진단용 X-선장치의 시험기준 및 방법이 제정 고시, 1995년부터는 진단용 방사선안전관리법이 시행되어 방사선 진단장치 및 방사선 관계종사자의 피폭 선량이 관리되었다.

방사선 관계 종사자에 대한 피폭선량 측정은 국제권고규정을 기초로 제도화 되었으나, 방사선을 이용 환자진단 시 중요한 정보를 제공한다는 목적만을 앞세워 피폭의 정당성 문제는 논의할 여지없이 당연히 받아들여지고 있으며, 환자 피폭선량을 감소시키기 위한 방사선피폭 제한 선량에 대한 권고 또는 지침에 관한 규정이나 제도도 전무한 실정이다. 또한 X-선 검사를 한 환자가 일생동안 암이 발생할 확률은 치료 가능한 비치명적인 암의 경우에는 치명적인 암의 발생확률의 50%를 차지한다고 하며 청소년기 이하의 어린 나이에 피폭된 경우에는 그 위해가 2배 이상 된다고 보고하고 있다.< 표 1 >.

< 표 1 > Typical lifetime risks of fatal cancer from X-ray examination

Lifetime risk of fatal cancer(per million)		
Examination	Lower bound	Upper bound
Skull	2	7
Chest	0.7	2
Thoracic spine	15	40
Lumber spine	30	100
Abdomen	20	60
Pelvis	15	55
Intravenous urography	60	200
Barium meal study	50	170
Barium enema	100	350

* Average for all ages and both sexes.

* Reference : Patient dose reduction in diagnostic radiology, documents of the NRBP. Vol 1. No3. 1990

국제 방사선방어위원회 권고안(ICRP Publ, 26)에서는 방사선 촬영 시 환자에 대한 조사선량을 감소시킬 수 있는 방사선 방어의 기본원칙으로 사용의 정당성과 최소화 및 선량의 최소화에 부합되는 방법을 택하여 사용하는 것을 기본원칙으로 권고하고 있다.

< 표 2 > Entrance Skin Exposure Guides(USA)

Examination	Skin Dose (mR)
Chest	30
Skull	300
Abdomen	750
Cervical spine	250
Thoracic spine	900
Full spine	300
L-S spine	1,000
Retrograde pyelogram	900
Feet	270
Dental(Bitewing or peripheral)	700

3.1 방사선의 직업피폭과 일반피폭 준위

국제방사선 방어위원회(ICRP)에서는 방사선을 취급하는 방사선 관계종사자의 피폭선량한도를 지속적으로 감소시켜 제한하고 있으며, 신체부위별 피폭선량 허용기준을 < 표 2 > 설정하고 있다.

< 표 3 > 신체부위별 피폭선량 허용기준

신 체 부 위	피폭선량허용 기준	
	3 개월	연 간
1. 직업적 피폭		
전신, 조혈장기, 생식선, 수정체(눈)	30mSv(3rem)	50mSv(5rem)
뺨, 갑상선, 피부(Thorax and skull)	150mSv(15rem)	300mSv(30rem)
손, 발, 팔, 다리관절	400mSv(40rem)	750mSv(75rem)
기타 단일장기	80mSv(8rem)	150mSv(15rem)
2. 우발적 피폭	-	5mSv(0.5rem)
3. 집단적 피폭		
유전적	-	1.7mSv(0.17rem)
신체적	-	1.7mSv(0.17rem)

* 과거의 피폭선량이 확실치 아니 한때는 1년간 50mSv(5rem)의 비율로 피폭된 것으로 보며 기본식은 $D = 50(N-18)$ 로 계산한다(D : 선량단위mSv, N : 연령)

직업적이 아닌 피폭을 받은 사람은 대개 방사선위험에 대한 사전지식이 없고 피폭이 되었다 해도 설명하기가 힘들다. 일반인이 방사선 관리구역에 들어갔다면 우발적인 피폭(occasional exposure)의 가능성이 높아진다. 이러한 경우 유전유의선량은 많은 영향을 받게 되기 때문에 일반인의 우발적 피폭은 5mSv(0.5rem)/year으로 제한하고 있다<표 3>.

4. 흉부X-선 직·간접장치의 선량비교

흉부X-선 간접촬영검진과 직접촬영검진의 경우 선량의 분포를 관찰하기 위하여 각 장비의 입사선량, 투과선량 등을 측정하였다.

4.1 실험장비

방사선발생장치로는 한국(주)R사에서 생산된 IR-500-125(Model : RX-525R)장비와 미국G사에서 생산된R-500-150(Model : COMPAX 40E)장비로서 발생장치는 방사선 안전관리검사에서 적합판정을 받은 Calibration이 보증된 장비이다. 간접촬영실험에서는 (주)R사에서 생산된 Lens식 카메라 100mm를 사용하였다.

(1) 방사선발생장치

- 150kVp 500mA ; R사, 한국(model : RX-525R), 간접촬영용
- 150kVp 500mA ; G사, 미국(model : COMPAX 40E), 직접촬영용

(2) 영상획득부

- 간접촬영용 Lens 렌즈카메라 100mm : R사
- Cassette : 14" X 14"
- Screen : 일본K사 14" X 14" (KMII, Gd₂O₂S : Tb)
- Grid : 10 : 1

(3) Phantom

- Water phantom(20cm X 20cm)

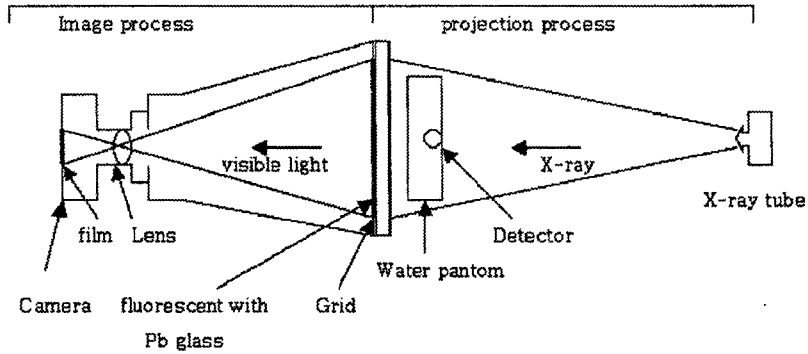
(4) Detector

- Dose & Dose rate meter

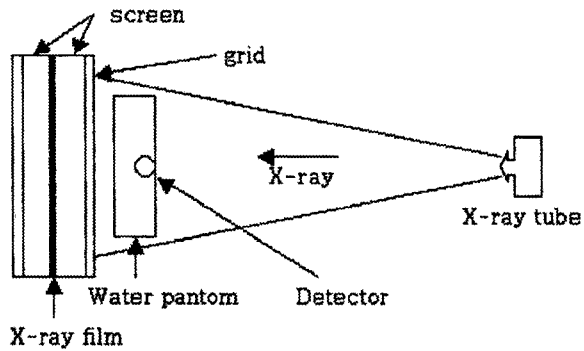
4.2 실험방법

이 실험에서는 각각의 촬영장치 영상 획득면에 phantom을 거치 시켜놓고 실제의 검진 상황을 재현 하였으며 방사선의 입사면과 투과면에 검출기(detector)를 설치하여 각각의 선량을 측정하였다 < 그림 1, 2 >.

촬영조건은 간접촬영실험 시 120kVp, 4.5mAs, 직접촬영실험 시 120kVp, 5mAs로 임상조건과 동일 조건하에서 조사하였으며 FFD는 간접촬영장치 40inch, 직접촬영장치는 72inch로, 고관전압촬영기법을 적용하였다. 또한, X-선 검출편차를 줄이기 위하여 조사 횟수를 각각 5회로 하여 평균선량을 구하였다.



< 그림 1 > Measuring arrangement for detector of indirect chest X-ray system



< 그림 2 > Measuring arrangement for detector of direct chest X-ray system

4.3 실험 결과

4.3.1 피폭선량 측정 시험

관전압 120kVp, 관전류 및 조사시간을 각각 간접촬영 4.5mAs, 직접촬영 5mAs로 설정하여 5회선량을 측정하여 평균치를 구하고 표준편차, 변동계수를 구하였다(1). 입사표면선량에서는 간접촬영장치의 표면선량 평균치가 6.807 μ Gy로 월등히 높았고 피사체를 투과한 투과선량도 간접촬영법에서 1.337 μ Gy로 직접촬영법에 비하여 약 7.5배 이상 높았다. 국제원자력 기구(IAEA)에서는 1994년 safety series report에서 진단영역에서의 방사선 촬영시 guideline을 설정하여 흉부정면과 측면 촬영 시 입사표면선량을 각각 0.40mSv, 1.50mSv이하가 되도록 권고하고 있다.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{1}{\bar{X}} \left\{ \sum_{i=0}^{10} \frac{(X_i - \bar{X})^2}{9} \right\}^{1/2} \quad (1)$$

여기서,

CV : 변동계수(기준:CV=0.05 이하)

S : n회 측정에 의한 표준편차

X_i : i번째의 측정치

X : n회 측정에 의한 평균치

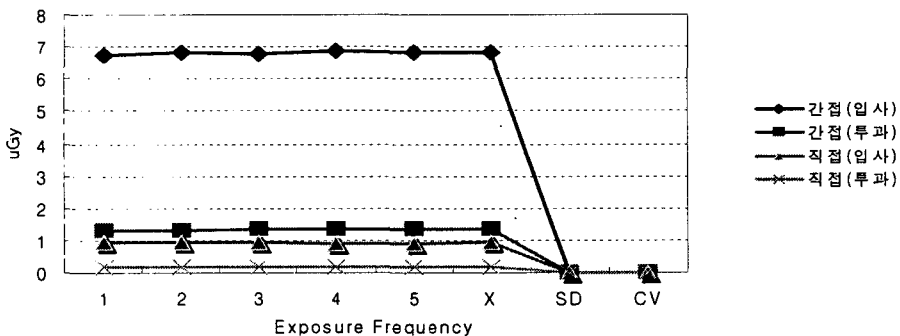
< 표 4 > 검사조건에 따른 입사선량 및 투과선량

(단위 : μGy)

촬영조건	거리 (FFD)	선 량	1	2	3	4	5	X	SD	CV
120kVp, 4.5mAs	40"	입사표면선량	6.725	6.809	6.788	6.884	6.831	6.807	0.058	0.008
Indirect Chest X-ray		투과선량	1.333	1.332	1.345	1.336	1.342	1.337	0.006	0.004
120kVp, 5mAs	72"	입사표면선량	0.937	0.932	0.935	0.918	0.926	0.929	0.008	0.008
Direct Chest X-ray		투과선량	0.181	0.179	0.179	0.180	0.179	0.179	0.001	0.005

* X : 평균치, SD : 표준편차, CV : 변동계수

** 조사선량에 대한 변동계수는 0.05이하 이어야한다.



< 그림 3 > Exposure Frequency

4.3.2 거리역자승의 법칙(inverse square law)에 따른 선량 증가

빛의 물리학적 법칙을 X-선에 적용한 것으로 한점에서 발생하는 빛의 강도는 거리 자승에 반비례하여 강도가 감소하는 현상이다. 이 실험에서는 < 그림 1 >과 같이 간접

촬영장치의 FFD 40"거리에서의 근거리촬영과 직접촬영에서는 < 그림 2 > FFD 72"의 원거리 촬영을 하였다. 그 결과 < 표 4 > 간접촬영에서는 입사표면선량이 6.807 μ Gy, 직접촬영의 입사표면선량이 0.929 μ Gy를 나타내어 X-선 발생장치에서 발생하는 X-선의 양은 일정하지만 거리역자승 법칙에 의한 X-선의 감약을 알 수 있었고, 근거리 X-선 검사의 표면선량이 원거리 X-선 검사의 표면선량에 비하여 약 7.3배의 선량이 측정됨을 알 수 있었다. 투과선량 또한 간접촬영에서는 1.337 μ Gy, 직접촬영에서는 0.179 μ Gy로 나타나, 이것은 투과선량에서도 간접촬영은 동일한 원자번호, 밀도의 조직에서 직접촬영에 비해 약 7.4배의 선량이 입사될 때 동일한 농도의 영상을 얻을 수 있었다.

4.3.3 영상기록방법에 따른 방사선량

(1) 간접촬영의 영상기록

간접촬영은 축소촬영법(miniature radiography)이라고도 하며 흉부집단검진에 주로 이용한다. 원리는 형광판에 도달한 X-선이 형광판을 발광시키고 발광된 형광판의 영상을 2차적으로 광학렌즈를 통하여 일반사진 필름에 노광하는 방법이다. 이는 형광판에 발광한 가시광선의 상을 일반적 필름에 기록하는 방법이기 때문에 많은 선량이 필요하지 않을 수 없다.

(2) 직접촬영의 영상기록

직접촬영의 영상기록은 X-선이 필름증감지에 직접영상을 기록하는 방법으로 X-선에 의하여 발광된 증감지와 X-선 필름 면이 밀착되어 1차적 영상을 어떠한 매개체의 증재 없이 직접 기록하는 방식이다. 그러므로 적은선량의 X-선을 이용하여도 동일한 영상기록을 얻을 수 있다.

5. 결론 및 제언

방사선을 진단 등의 의료에 이용은 방사선피폭에 의한 국민보건에 위해 되지 않도록 적절한 진단용 X-선 장치와 관련부수기계의 선택과 사용으로 피폭선량은 최소화 되어야 한다. 그러므로 피검자에게 조사되는 방사선의 양은 최소화 및 최적화에 부합되도록 조작되어야 하고 관련 장비에 대한 사용이 권고되어야 될 뿐만 아니라 장치의 정도관리(QC & QA)가 적극 필요로 하며 최신기법의 촬영법과 촬영 장치를 사용하도록 제도화가 절실히 필요하다.

사업체 단체검진에서 사용하는 X-선 촬영장치는 대부분이 간접촬영 장치를 사용하고 있고 직접촬영검사를 하는 경우는 산업보건법에 의한 유해환경사업장의 근로자에 한하여 특수검진의 일환으로 직접촬영검사를 시행하고 있다. 이는 유해환경사업장의 근로자는 직업병에 노출될 위험성이 높기 때문이고, 간접촬영 장치를 이용한 흉부간접촬영보다는 직접촬영 장치를 이용한 직접촬영 검진이 질병 검출능력이 뛰어나기 때문에 영상의 진단 가치적 측면에서 대단히 높다.

간접촬영장치의 장점은 짧은 시간에 많은 피검자를 검진할 수 있다는 장점을 가지고 있으나 본 실험결과에서 알 수 있듯이 방사선의 피폭이 흉부직접촬영법에 비하여 약 7.5배의 표면입사선량을 필요로 하기 때문에 가급적이면 간접촬영검진은 제한되는 것이 피폭선량의 최적화에 바람직하다. 뿐만 아니라 진단방사선안전관리법에 따르는 진단용 X-선장치의 검사기준에 적합한 장치의 사용이 필요하다. 특히, 관전압 시험 및 관전류 시험은 반드시 평균오차범위 이내에 포함되도록 하여 장치의 정격이 유지되어야 한다.

이동검진용 흉부X-선 발생장치의 정격은 사업장을 이동하며 검진하는 이동적 특성 때문에 입력 측 전압 변동에 의한 방사선의 선질이 크게 좌우한다. 이동검진용 흉부 X-선 장치에는 공급전압의 전압변동율과 관계없이 장치에 입력전압을 일정하게 유지시켜줄 수 있는 전원공급 장치(UPS, MPSU, AVR)가 기본적으로 시설되도록 장치기준을 설정하여 일정한 선량과 선질을 유지할 수 있도록 관리되어야 할 것이다.

따라서, 흉부X-선 촬영 시 입사되는 표면선량과 흡수선량의 감소대책으로 IAEA guide line에 맞게 촬영조건의 표준화작업이 필요하며 고관전압 촬영을 하기위한 X-선 발생장치의 대체가 요구된다. 또한 현재 사업장 흉부집단검진에서 유해환경 근로자인 특수검진해당자에게만 흉부직접촬영을 통하여 검진하고 있으나, 모든 집단검진에서 흉부직접촬영이 요구된다. 이는 피검자의 방사선에 대한 피폭선량을 감소시켜 방사선피폭으로부터 안정성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 흉부촬영 영상의 진단적 가치도 높아져 흉부 촬영의 2차 검진비율도 감소시킬 수 있을 것이다.

6. 참 고 문 헌

- [1] “진폐정도관리”, 한국산업보건안전공단 산업안전보건연구원, (2004) : 40-47
- [2] 한만청, “진단용방사선 분야에서의 환자피폭선량 감소” 방사선 보건News letter Vol2.1. (1996)
- [3] 경광현 외12, “진단용방사선안전관리(Ⅱ)”, 대학서림, (1998) : 205 - 227
- [4] 박수성, 김건상, 이관세, 이용철, 박경진, 김건중, “진단방사선원리”, 대학서림, (1985) : 236 - 237
- [5] “방사선촬영기술”, 일반건강진단협의회, (2000) : 26-29
- [6] 김천희, 권달관, 이승윤, “흉부X선 간접촬영시의 국민피폭선량 경감에 대한 조사연구”, 대한방사선보건학회, (1998) : 6-7, 22-23
- [7] 양봉민, “보건경제학”, 나남출판사, (1999) : 396 - 399
- [8] 김병석, “산업재해방지론”, 형설출판사, (2001) : 138 -146
- [9] Nancy O. Graham, “Quality in health care”, Theory, Application, and Evolution, (2001) : 371 - 394
- [10] Bernard Shleien, Lester A, Slaback, Jr. Brian Kent Birky, Ph.D, “Health Physics and Radiological Health”, Williams & Wilkins, (1998) : 5 - 11

- [11] ICRP Publ,26 : Recommendation of the International Commission on Radiological Protection, (1997)
- [12] NCRP Report No. 99 : Quality Assurance for Diagnostic Imaging Equipment Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurement, (1998)
- [13] IAEA safety No. 15-1 : International Basic Safety Standards for Protection Against Ionization and for the Safety of Radiation Source. IAEA VIENNA,(1994)

저 자 소 개

임 재 동 : 연세대학교 보건학 석사, 명지대학교 박사과정.

현재 건국대학교병원 방사선과 팀장, 김천대학 방사선학과 겸임교수
관심분야는 안전관리분야, 방사선 안전 등 이다.

강 경 식 : 현 명지대학교 산업공학과 교수. 경영학박사, 공학박사
안전경영과학회 회장