

# Assessment of Effective Dose for General Radiography of Adults Based on Diagnostic Reference Level(DRL) by Using PCXMC Program

Hee-Cheol Jeong,<sup>1,2,3</sup> SamYol Lee<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Science, DongSeo University

<sup>2</sup>Radiation Health Environment Center, DongSeo University

<sup>3</sup>Department of Radiology, Inje University Busan Paik Hospital

Received: November 23, 2018. Revised: December 26, 2018. Accepted: December 31, 2018

## ABSTRACT

In this study, we investigated the conditions used in setting the recommendation level of general radiography diagnostic reference and tried to evaluate the effective dose and biological evaluation using PCXMC v2.0 program. As a result based on the effective dose of male in ICRP 60, the highest Pelvis AP was 0.794 mSv. The lowest Chest PA was 0.050 mSv. In the case of ICRP 103, the highest T-Spine AP was 0.906 mSv The lowest Chest PA was 0.052 mSv. For 40 years old male and female adults, effective doses of general radiography were evaluated and even if the medical exposures are not subject to the limit of dose, efforts should be made to reduce the medical exposures of the people by keeping the dose below the recommended amount in order to minimize the probable effect of radiation hazard.

Key words : General radiography, Diagnostic reference level, Effective dose, PCXMC

## I. INTRODUCTION

의료기술 발전과 건강에 대한 국민들의 관심증가로 인하여 국민 의료방사선 피폭도 증가추세에 있다. 미국 방사선방어측정심의회(NCRP) 보고서에서는 1980년대에 0.53 mSv이었던 미국의 연간 의료방사선 피폭선량이 2006년에 3.0 mSv로 증가되었음을 보고하였고,<sup>[1]</sup>국내의 진단용 의료방사선의 이용 실태 및 이로 인한 피폭방사선량에 대한 2004년 한국원자력안전기술원의 자료에서는 연간 1억 건 이상의 방사선 진료가 이루어지고 있으며 이로 인한 집단 선량은 35,000 man-Sv로 조사되었다.<sup>[2]</sup>

이와 같이 전 세계와 국내 모두 진단용 의료방사선의 사용량 증대로 국민들의 의료피폭이 증가되고 이에 대한 국가차원의 안전관리를 위하여 진단참고준위(Diagnostic Reference Level, DRL)를 정하고 그

이하로 유지하도록 권고 하고 있다. DRL란 진단영상의학 검사 시 환자가 받는 방사선량을 측정하고 평가하여 진단에 참고할 수 있도록 권고하는 선량준위로서 환자선량 분포 중에서 제 3사분위수를 기준으로 설정하고 있다.<sup>[3]</sup>

DRL은 영국을 중심으로 유럽에서 활발하게 사용되고 있으며, 미국은 이보다 늦게 사용되었다. 국내의 경우 2006년 환자선량 평가를 시작으로 2012년 성인 14개 부위 일반영상의학 검사에서의 환자선량 평가를 통한 권고량을 확립하였고, 2013년 국내 진단용 방사선사용에 따른 국민의 방사선량 평가를 위해 사용량 현황과 유효선량을 평가 하였다.<sup>[2]</sup> 그러나 일반촬영, 전산화단층촬영, 투시촬영, 중재적시술 등 검사마다 선량 표현 방식 차이, 병원의 장비차이 및 검사자의 개인차이로 유효선량의 정량적인 양의 평가가 어렵다.

\* Corresponding Author: Samyol Lee

E-mail: samuel@gdsu.dongseo.ac.kr

Tel: +82-51-320-2728

본 연구에서는 국가에서 권고하고 있는 DRL 설정에 사용된 조건을 사용하여 몬테카를로 시뮬레이션 기반의 PCXMC(PC-Based Monte Carlo Program, PCXMC)프로그램으로 장기선량과 유효선량을 측정하고 계산되어진 장기선량을 가지고 생물학적 평가를 하였다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. PCXMC 프로그램을 활용한 선량평가

PCXMC 프로그램은 일반방사선 촬영 시 환자의 장기선량 및 유효선량을 계산하기 위해서 몬테카를로 시뮬레이션을 적용한 컴퓨터 프로그램으로서 1988년 Servomaa and Tapiovaara에 의해 개발되었으며, 지속적인 개발과정을 거쳐 PCXMC 2.0 Version 까지 개선되었다.<sup>[4]</sup>

프로그램은 검사범위가 지정되면 29개의 인체 기관과 조직을 대상으로 계산되며 X-선과 물질과의 상호작용에 대한 확률적 시뮬레이션을 기반으로 계산되어 진다. 유효선량 계산은 ICRP Publication 103(2007)의 조직 가중치와 ICRP Publication 60(1991)의 조직 가중치를 모두 사용하여 계산한다.<sup>[5,6]</sup> 또한, 수학적 선량평가를 하는 자용동체 모의체를 사용하며 환자의 모델을 신생아, 1살, 5살, 10살, 15살, 성인으로 구분하여 X-선 검사 기술을 자유롭게 선택할 수 있고 계산된 장기선량을 방사선 노출로 인한 암 발생률 및 암 사망률에 대한 위험도 평가에 사용할 수 있다.

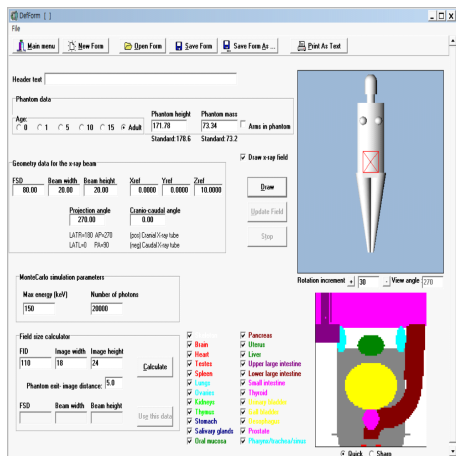


Fig. 1. PCXMC v2.0 Program.

## 2. 선량평가방법

### 2.1 연구대상 설정

2014년 통계청 자료에 따르면 24개 암종 연령 5세 별 암 발생자수가 40대 이상부터 급격한 증가를 보이고 있어 방사선에 대한 피폭빈도가 증가될 것으로 추정되어 다음과 같은 기준을 설정하였다.<sup>[7]</sup> 본 연구에서는 한국 성인 40대 남(171.78 cm, 73.34 kg) 여(158.90 cm, 58.09 kg)의 키와 몸무게를 기준으로 몬테카를로 시뮬레이션을 기반으로 하는 PCXMC 프로그램을 이용하여 우리나라에서 권고하는 DRL의 설정 조건으로 일반촬영 8개 부위(① Brain AP, ② Chest PA, ③ Chest LAT, ④ Abdomen AP, ⑤ Pelvis AP, ⑥ C-Spine AP, ⑦ T-Spine AP, ⑧ L-Spine AP)의 장기선량과 유효선량을 평가하고 계산된 장기선량을 가지고 아시아인을 기준으로 생물학적 위험도평가를 해보았다.

### 2.2 선량 평가 파라미터

국내에서는 식품의약품안전평가원을 중심으로 환자선량 조사 및 DRL에 대한 연구 및 활동이 활발히 진행되어 2011년 연구과제로 지역별 국가 환자선량 권고량 개발에 관한 연구로 490곳의 종합병원, 병원, 의원에서 보유하고 있는 508개의 장치에 대한 선량측정이 이루어졌고 이에 사용된 조건(제 3사분위값)을 조사하였다.<sup>[8]</sup>

Table 1. Parameters by inspection site

부위	ESD (mGy)	mAs	kVp	FFD (cm)	F·S (cm)	Center
Brain AP	2.23	32.0	78	100	29×33	Nasion
Chest PA	0.34	12.5	120	180	38×41	T6
Chest LAT	2.80	13.3	120	100	36×41	T6
Abdomen AP	2.77	40.0	80	100	38×43	Iliac crest
Pelvis AP	3.42	40.0	80	100	38×42	Gonadal
C-Spine AP	1.86	25.0	75	100	29×32	C4
T-Spine AP	3.79	40.0	80	100	31×42	T6
L-Spine AP	4.05	40.0	83	100	31×42	Umbilical

### 2.3 장기선량 및 유효선량 평가 방법

PCXMC 프로그램을 사용하여 성인 남녀 40세 기준의 키와 몸무게를 입력하고 부위별 시뮬레이션의

결과를 얻기 위해 Table 1의 조건을 각각 입력한 다음 광자수는 20,000개로 설정하였다. 그 이유는 프로그램 개발자에 의해 설정되어진 디폴트값이자 몬테카를로 시뮬레이션은 난수를 발생시켜 어떤 ‘발생률’ 즉 방사선과 상호작용할 확률을 통계적 기법으로 계산한다. 즉 난수의 발생이 많으면 정보량이 더 많이 발생되어 오차가 줄어들지만 그만큼 시뮬레이션 시간이 길어지기 때문에 20,000개로 설정하였다. 빔의 중심선속은 X, Y, Z축 중 X, Y축은 0으로 고정시키고 Z축을 이동하여 위치 시켰고 남녀의 키 차이로 좌표의 차이가 약간 있었고 부위별 좌표 값은 Table 2에 나타내었다. 각 조건과 ESD 값을 입력 한 후 실제 시뮬레이션을 실행하게 되면 장기선량 값이 계산되어지게 되고 ICRP 60 및 103의 조직가중치로 유효선량 값이 나오게 된다.

시뮬레이션 과정에서 Error를 최소화하기 위해 5회 반복 시뮬레이션을 시행 하였고 정확한 조건을 입력한 후 중심선속의 좌표값을 동일하게 하여 재현성을 유지 시켰다.

Table 2. Parameters by inspection site

부위	X		Y		Z	
	남성	여성	남성	여성	남성	여성
Brain AP	0	0	0	0	84.0	78.0
Chest PA	0	0	0	0	53.0	48.0
Chest LAT	0	0	0	0	52.2	46.5
Abdomne AP	0	0	0	0	20.0	19.0
Pelvis AP	0	0	0	0	9.0	9.0
C-Spine AP	0	0	0	0	70.0	66.0
T-Spine AP	0	0	0	0	48.2	44.6
L-Spine AP	0	0	0	0	14.3	15.4

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (1)$$

D : 장기선량  
dm : 질량  
dE : 평균 에너지

$$H_E = \sum_T H_T W_T \quad (2)$$

H<sub>E</sub> : 유효선량  
H<sub>T</sub> : 조직 T에 대한 등가선량  
W<sub>T</sub> : 조직 T에 대한 조직 가중치

시뮬레이션의 결과값으로 29개의 평균장기선량을 가지고 위의 수식에 따라 유효선량이 계산되어

지고 이를 토대로 생물학적 평가를 하였다.

## 2.4 생물학적 위해 평가 방법

암 발생 생애귀속 위험 평가는 미국의 전리방사선 생물학적 효과 위원회의 7차 보고서(Biological Effects of Ionizing Radiation committee VII; BEIR VII)에 의해 개발 된 모델을 사용하였다.

Fig. 2.에서 보는 것과 같이 나이, 성별, 사망률 통계(Euro-American, Asian, Finnish)를 선택하고 계산되어진 장기선량의 데이터 파일을 불러오게 되면 Input data로 나타나게 되고 이를 토대로 all solid, leukemia, all cancers에 대한 확률적 방사선 위험도를 평가 하여 그래프와 수치로 나타낸다.

평생위험은 다양한 양으로 평가 되지만 PCXMC 프로그램에서는 ① Risk of exposure-induced death(REID), ② Loss of life expectancy(LLE), ③ Loss of life expectancy per radiation induced fatal cancer(LLE/REID) 세 가지를 사용하여 남은 예상 수명을 나타낸다. 여기서 REID는 방사선 노출로 인한 암 유발 사망 위험률이고 LLE는 방사선 노출로 인한 예상 수명 손실 이다.

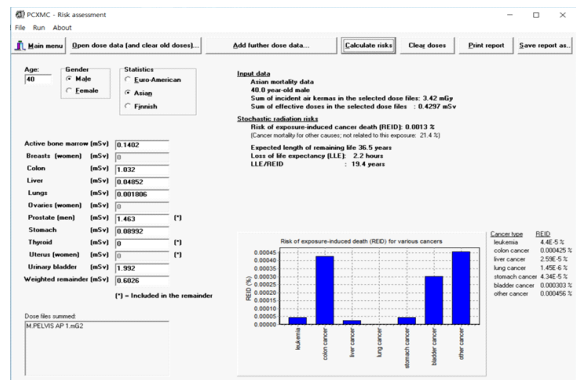


Fig. 2. Risk assessment of the PCXMC v2.0 Program.

## III. RESULT

### 1. 장기선량 결과

PCXMC 프로그램을 통한 장기선량 평가 결과 중간여 조직을 제외한 가장 높은 부위는 Brain AP에서 남성 Salivary gland 0.65 mGy, 여성 Thyroid 0.97 mGy, Chest PA에서 남성 Lung 0.16 mGy, 여성 Lung 0.17

mGy, Chest LAT에서 남성 Breast 0.932 mGy, 여성 Breast 1.05 mGy, Abdomen AP에서 남성 Urinary bladder 1.43 mGy, 여성 Urinary bladder 1.57 mGy, Pelvis AP에서 남성 Testicles/Ovaries 2.01 mGy, 여성 Testicles/Ovaries 2.25 mGy, C-spine AP에서 남성 Thyroid 1.83 mGy, 여성 Thyroid 1.77 mGy, T-spine AP에서 남성 Breast 2.33 mGy, 여성 Breast 2.95 mGy, L-spine AP에서 남성 Urinary bladder 2.26 mGy, 여성 Urinary bladder 2.53 mGy으로 나왔다.

Table 3. Organ dose (Unit : mGy)

부위	남성		여성	
	장기	선량	장기	선량
Brain AP	Salivary grand	0.65	Thyroid	0.97
Chest PA	Lung	0.16	Lung	0.17
Chest LAT	Breast Thyroid	0.93 0.90	Breast	1.05
Abdomne AP	Urinary bladder	1.43	Urinary bladder	1.57
Pelvis AP	Testicles/ Ovaries	2.01	Testicles/Ovaries	2.25
C-Spine AP	Thyroid	1.83	Thyroid	1.77
T-Spine AP	Breast Lung	2.33 1.12	Breast	2.95
L-Spine AP	Urinary bladder	2.26	Urinary bladder	2.53

## 2. 유효선량 평가결과

남성의 유효선량 평가 결과 ICRP 60에서는 Pelvis AP > L-Spine AP > T-Spine AP > Abdomen AP > Chest LAT > C-Spine AP > Chest PA > Brain AP 순으로 높게 나왔고, ICRP 103에서는 T-Spine AP > L-Spine AP > Pelvis AP > Abdomen AP > Chest LAT > C-spine AP > Brian AP > Chest PA 순으로 높게 나왔다.

여성의 유효선량 평가 결과 ICRP 60에서는 Pelvis AP > L-Spine AP > T-Spine AP > Abdomen AP > Chest LAT > C-Spine AP > Brain AP > Chest PA 순으로 높게 나왔고, ICRP 103에서는 T-Spine AP > L-Spine AP > Abdomen AP > Pelvis AP > Chest LAT > C-spine AP > Brian AP > Chest PA 순으로 높게 나왔다.

남녀 모두 ICRP 60에서 유효선량이 가장 높은 검사 부위는 Pelvis AP로 0.680 mGy, 0.794 mGy였고, 가장 낮은 검사 부위는 남성에서는 Brain AP가 0.037 mGy 여성에서는 Chest PA로 0.050 mGy였다.

ICRP 103에서는 남녀 모두 동일하게 가장 높은 유효선량을 나타낸 부위는 T-Spine AP으로 0.733

mGy, 0.906 mGy였고, 가장 낮은 부위는 Chest PA로 0.044 mGy, 0.052 mGy였다.

Table 4. Effective Dose (Unit : mSv)

부위	ICRP 60		ICRP 103	
	남성	여성	남성	여성
Brain AP	0.037	0.064	0.057	0.081
Chest PA	0.043	0.050	0.044	0.052
Chest LAT	0.251	0.280	0.305	0.343
Abdomne AP	0.458	0.562	0.419	0.519
Pelvis AP	0.680	0.794	0.430	0.514
C-Spine AP	0.127	0.127	0.132	0.133
T-Spine AP	0.600	0.724	0.733	0.906
L-Spine AP	0.660	0.786	0.502	0.659

## 3. 생물학적 위해 평가결과

남성의 생물학적 위해 평가 결과 예상되는 남은 수명은 36.5년으로 나왔고 방사선 노출로 인한 암 발생 위험과 기대수명손실은 동일한 결과로 T-Spine AP > Abdomen AP > L-Spine AP > Chest LAT > Pelvis AP > C-Spine AP > Chest PA > Brain AP 순으로 가장 높은 기대수명손실은 4.6 시간으로 나왔다. 여성의 생물학적 위해 평가 결과 예상되는 남은 수명은 40.9년으로 나왔고 방사선 노출로 인한 암 발생 위험과 기대수명손실은 동일한 결과로 T-Spine AP > Chest LAT > L-Spine AP > Abdomen AP > Pelvis AP > C-Spine AP > Chest PA > Brain AP 순으로 가장 높은 기대수명손실은 10.5 시간으로 나왔다.

Table 5. Biological Risk Assessment(stochastic radiation risks)

부위	남성			여성		
	REID (%)	LLE (hours)	LLE/REID (years)	REID (%)	LLE (hours)	LLE/REID (years)
Brain AP	0.00015	0.3	20.9	0.00026	0.6	26.0
Chest PA	0.00021	0.4	23.4	0.00039	0.9	26.5
Chest LAT	0.00109	2.3	23.7	0.00215	4.6	24.6
Abdomen AP	0.00165	2.9	19.8	0.00199	3.8	21.6
Pelvis AP	0.00130	2.2	19.4	0.00114	2.1	21.4
C-Spine AP	0.00041	0.8	22.0	0.00058	1.3	26.5
T-Spine AP	0.00234	4.6	22.4	0.00514	10.5	23.2
L-Spine AP	0.00166	2.8	19.4	0.00221	4.1	21.3

#### IV. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

본 연구는 국가에서 권고하는 진단참고준위에 대한 일반촬영 부위별 장기선량과 유효선량을 확인 할 수 있었다. 남녀의 유효선량이 높은 부위는 Pelvis AP, T-Spine AP 낮은 부위는 Brain AP, Chest PA로 낮은 부위의 경우 뼈와 공기 등으로 대부분 구성되며 감수성이 민감하지 않은 장기들로 구성되어 있고 높은 부위는 인체 중 비교적 두꺼운 부위로 광자의 흡수가 많아 높은 입사선량이 요구되고 검사필드도 커서 방사선에 노출되는 장기가 많은 것으로 인해 유효선량이 높게 나오는 것으로 생각된다.

생물학적 위해 평가 결과 역시 조직가중치가 높은 장기들이 많이 분포하고 있는 흉부와 복부에서 위해정도가 높았으며 상대적으로 조직가중치가 낮은 장기들이 분포하고 있는 Brain AP에서 위해정도가 낮게 나타났다.

ICRP60 및 103의 최대 유효선량 차이는 ICRP에서 결정되어진 조직가중치의 차이에 의해 나타난 결과로 ICRP103에서 유방에서의 가중치 증가와 생식선에서의 가중치 감소 등으로 인해 차이가 발생 한 것으로 생각된다.

PCXMC프로그램을 이용하여 장기선량 및 유효선량을 평가한 기존 연구 있었으나 시뮬레이션 조건이 각 병원에서 사용하는 조건이나 연구자에 의해 설정된 조건으로 시뮬레이션을 하였지만 본 연구의 경우는 국가에서 권고하는 진단참고준위 설정에 참고 되어진 3사분위에 해당하는 조건을 사용하여 유효선량을 평가 해보고자 하는 부분에서 차이가 있다.

한 번의 일반촬영의 피폭선량은 작지만 대부분의 병원에서 검사를 하게 되면 정면상 뿐만 아니라 측면상 사방향상을 함께 검사하며, 암이나 질병을 진단받게 되면 일정기간을 주기로 검사를 계속 받기 때문에 이로 인한 누적 피폭선량은 간과 할 수 없다. 의료피폭은 선량한도를 제한 받지 않는 정당성을 확보한 행위이지만 최소한의 선량으로 최대한의 진단적 가치를 가진 영상을 만들도록 노력하여야 할 것으로 사료된다.

#### Acknowledgement

이 논문은 2018년도 BB21+사업에 의하여 지원되었음

#### Reference

- [1] NCRP, "Ionizing radiation exposure of the population of the United States. Bethesda, MD," National Council on Radiation Protection and Measurements, Report No. 160, 2009.
- [2] K. P. Kim, "Evaluation of National Radiation Doses according to the Use of Diagnostic Radiation," Ministry of Food and Drug Safety research report 13172Radiation579, 2013.
- [3] G. H. Lee, "Guidelines for patient dose recommendations for general radiology," Ministry of Food and Drug Safety, 2012.
- [4] D. U. Seong, "A study on patient dose history management in the field of radiology," Ministry of Food and Drug Safety research report, 11172Radiation852, 2013.
- [5] ICRP, "1990 recommendations of the international commission on radiological protection," International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Ann ICRP 21 (1-3), 1991.
- [6] ICRP, "The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection New York, NY," International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, 2007.
- [7] [http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=117&tblId=D\\_T\\_117N\\_A00023&conn\\_path=I3](http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=117&tblId=D_T_117N_A00023&conn_path=I3), 2014
- [8] D. U. Seong, "Study on the development of national patient dose recommendation amount by regio," Ministry of Food and Drug Safety research report, 11172Radiation524, 2011.

## 진단참고준위(DRL)를 기준으로 PCXMC 프로그램을 이용한 성인의 일반촬영 부위별 유효선량 평가

정희철,<sup>1,2,3</sup> 이삼열<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>동서대학교 방사선학과

<sup>2</sup>동서대학교 방사선보건환경센터

<sup>3</sup>인제대학교부산백병원 영상의학과

### 요 약

본 연구에서는 국가에서 권고하고 있는 일반촬영 진단참고준위 설정에 사용된 조건을 조사하여 PCXMC v2.0 프로그램을 이용하여 유효선량을 측정하고 생물학적 평가를 해보고자 한다.

그 결과 ICRP 60에서 유효선량은 가장 높은 Pelvis AP는 0.794 mSv 가장 낮은 Chest PA는 0.050 mSv이었다. ICRP 103에서는 남성이 가장 높은 T-Spine AP는 0.733 mSv 가장 낮은 Chest PA는 0.057 mSv, 여성은 가장 높은 T-Spine AP는 0.906 mSv 가장 낮은 Chest PA는 0.052 mSv이었다. 남녀 성인 40세 기준으로 일반촬영별 유효선량을 평가 해 보았고, 선량한도의 제한을 받지 않는 의료피폭이라도 방사선위해의 확률적 영향을 최소화하기 위해서 선량을 권고량 이하로 유지하여 국민의 의료피폭을 줄이기 위해 노력이 필요할 것으로 사료된다.

중심단어: 일반촬영, 진단참고준위, 유효선량, PCXMC

### 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	정희철	동서대학교 방사선학과	대학원생
(교신)	이삼열	동서대학교 방사선학과	교수