Journal of Radiation Industry 14(3) : 273~285(2020)

방사선작업종사자 피폭선량 관리에 대한 연구

성 경 정[1] · 공 창 기[2] · 동 경 래[3,*]

[1]성가롤로병원 영상의학팀, [2]첨단종합병원 방사선과, [3]광주보건대학교 방사선과

A Study on the Managmement of Radiation Workers Exposure Dose

Kyeong-Jeong Seong[1], Chang-Gi Kong[2] and Kyung-Rae Dong[3,*]

[1]*Department of Radiology, Saint-Carollo Hospital, 221, Sungwang-ro, Suncheon-si, Jeollanam-do 57931, Republic of Korea*
[2]*Department of Radiology, Cheom Dan Hospital, 59, Cheomdanjungang-ro 170 beon-gil, Gwangsan-gu, Gwangju 62274, Republic of Korea*
[3]*Department of Radiological Technology, Gwangju Health University, 73, Bungmun-daero 419 beon-gil, Gwangsan-gu, Gwangju 62271, Republic of Korea*

Abstract - For five years from 2015 to 2019, the cumulative personal exposure dose of radiation workers and radiation workers across the country was measured to analyze frequency, compare the average number of radiation workers and radiation workers by year, quarter, age, gender, occupation, radiation workers and radiation workers, and the average number of radiation workers. It was followed by 2016, 2019, 2018, and 2015. But the year-to-year trend is not visible. In the case of the quarterly average exposure dose, surface dose and heart dose were high in the second and third quarters, and low in the first and fourth quarters, but there was no quarterly trend. Comparing the annual exposure dose by gender and the quarterly exposure dose by gender, it was found that men were received significantly more exposed than women. Comparing the annual exposure dose by age, the average exposure dose of radiation-related workers over five years increased with lower age. Comparing the annual exposure dose of each occupational category was analyzed by occupational category, radiologists, nursing staff, doctors, other (research researchers, assistants), dental hygienists, and dentists were shown in the order. When the average exposure dose by radiation-related workers, radiation workers, and others was analyzed in quartiles, radiation-related workers and radiation workers were found to be higher than others. Furthermore, since stochastic effects may occur with long-term exposure to low level radiation, individual exposure dose data was thoroughly managed and the principle of As Low as Reasonably Achievable (ALARA) was implemented when establishing the design of this study.

Key words : Radiation workers, Shallow dose, Deep dose

서 론

방사선은 방사선의학의 발전과 더불어 국민 보건 향상에 크게 공헌하고 있지만 반면에 방사선이 갖는 생물학적인 작용으로 생물체에 급성 또는 만성장해를 일으키게 할 뿐만 아니라 유전적 영향을 미치게 되므로 방사선 관계종사자들은 물론 전 국민에 대한 유해 방사선으로부터의 보호가 무엇보다 중요한 문제로 대두되고 있다(조 1976; Kim

* Corresponding author: Kyung-Rae Dong, Tel. +82-62-958-7668, Fax. +82-62-958-7669, E-mail. krdong@hanmail.net

et al. 2006). 선진국에서는 진단용 X선의 발전과 더불어 방사선 발생장치 기기의 설치 전과 사용 중에 체계적이면서도 적정한 프로그램을 사용하여 철저한 성능관리를 한 결과, 방사선에 의한 피폭선량을 경감시켰고 이러한 피폭선량 관리가 영상의학과 내에서 중요한 업무의 일환으로 자리 잡아가고 있는 실정이다(윤과 황 1984). 또한 국내에서도 진단용 방사선 발생장치의 안전관리에 관한 규칙이 제정되어(2003. 1. 14 개정) 시행되면서 정해진 기준에 부합하기 위해 방사선 발생장치의 사용자로 하여금 철저한 성능 관리를 요구하고 있다(강 2006). 이것은 진단용 방사선 발생장치의 정확한 성능관리를 유지함은 물론 고장이나 진단능력이 저하된 기기를 쉽게 파악하고 고장에 의한 불필요한 방사선 피폭을 사전에 방지할 수 있기 때문이다(이 1991). 의료방사선 분야에서 ICRP의 권고에 의하면 환자에 대하여 최소한의 비용과 방사선량으로 진단학적 가치가 높은 정보를 얻는 것으로 방사선 발생장치 등을 정기적으로 또는 필수적으로 감시 하기위한 방법을 수립하고 방사선 관계종사자들의 계속적인 교육과 훈련에 의한 완전무결(Zero Defect, ZD)을 확립하고 진단의 질적 향상을 도모하며 선량에 대한 대책을 마련하는데 목적이 있다(ICRP 1966; ICRP 2007; Lee 2009; Kim and Cho 2011). ICRP 권고에 따라 방사선 발생장치의 일상적인 정도관리를 통한 방사선 피폭선량 저감활동이 필요시 되고 있다(ICRP 1966; ICRP 2007; Kim and Cho 2011). 방사선이 생체조직에 조사되면 생물학적인 영향을 일으키는 것은 분명한 사실이며, 미량의 방사선 피폭이라도 장기적으로 여러 번 노출되면 유전적인 영향이나 백혈병 등의 발생확률이 높아지므로 장기간 방사선을 취급하는 방사선 관계종사자는 방사선 피폭의 최저준위가 되는 작업환경에서 업무를 행하지 않으면 안 된다(ICRP 1966; ICRP 2007; Kim and Cho 2011). 국제방사선방어위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서 권장하는 방사선 작업종사자의 선량한도를 초과하지 않도록 개인피폭관리에 만전을 기울여야 할 것이다(ICRP 1966; 여 1993; ICRP 2007; Kim and Cho 2011). 방사선 관계종사자를 방사선 위해로부터 보호하기 위하여 꼭 필요한 개인피폭선량 저감화를 위하여 1928년의 제2차 국제방사선의학회의가 스톡홀름에서 개최되어, ICRP의 전신인「국제 X선 및 라듐 방호위원회」가 설립되고, 권고로서「X선 및 라듐의 방호」를 간행하였다(ICRP 1966; 남 1972; 이 1991; 여 1993; 한국방사선동위원소협회 2000; 동 2003; ICRP 2007; Lee and Lee 2007; Kim and Cho 2011). 이 권고는 방사선과의사, 방사선사 및 간호사를 대상으로 한 것으로, 주로 병원에서의 작업환경 개선, X선 차폐문제 및 X선 장치의 전격(電擊)방호에 관한 것들이었다. 1950년에 국제방사선방어위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)가 설립되어 오늘날에 이르기까지 피폭선량 제한을 위하여 선량제한체계의 설정과 선량 한도를 확립하여 왔으며, 1954년에는「가능한 한 최저수준까지 낮게 유지」, 1977년「합리적으로 달성 할 수 있는 한 낮게 유지」라는 권고안을 1990년대에 다시 재확인함으로서 피폭선량 제한 목표를 달성하는데 지속적인 연구와 정책적 대응을 위한 노력을 계속하고 있다(ICRP 1966; 이 1991; 여 1993; 남 1972; 동 2003; ICRP 2007; Lee and Lee 2007; 한국방사선동위원소협회 2000; Kim and Cho 2011). 그러나 우리나라에서는 선진국에서 실시하고 있는 국가선량기록 관리(National Dose Registry)체계가 확립되어 있지 않고 선량관리가 일관성 있고 효율적, 장기적인 안목에서 관리가 불가능하므로 식품의약품안전청에서는 진단용 방사선 안전관리규정을 개정하여 방사선 관계종사자에 대한 선량측정 및 평가, 선량한도 초과자에 대한 개인피폭선량 조사·분석 및 평생관리를 위한 "방사선관계종사자 피폭선량관리센터((National Dose Registry, NDR)"를 설치·운영하여 국민 보건 향상에 최선의 노력을 기울여 오고 있다(정 등 2016; 정 2018; Chung *et al*. 2019). 따라서 본 연구는 진단용 방사선 발생장치에서의 방사선방어에 관한 연구와 방사선 관계종사자들에 관한 연구, 방사선사의 직업윤리 및 개인피폭선량 관리 등 다수의 참고문헌을 통하여 2015년부터 2019년까지 5년간 전국 방사선 관계종사자, 방사선 작업종사자를 대상으로 누적 개인피폭선량을 측정하여 정규분포에 따른 년도별, 분기별, 연령별, 성별, 직종별, 방사선 관계종사자와 방사선 관계종사자 외, 방사선 작업종사자와 방사선 작업종사자 외를 평균 비교 분석하였다.

대상 및 방법

1. 연구대상

2015년 1월 1일부터 2019년 12월 31일까지 전국지역 의료기관의 방사선 관계종사자와 방사선 작업종사자들의 개인피폭선량을 측정한 5년간 개인피폭 대상건수 629,446을 대상으로 분석하였다.

2. 연구방법

본 연구에서 사용한 개인피폭선량계로는 Pen dosimeter, Film-badge, 열형광선량계 중 집적선량의 측정이 용이하며 선량의 감퇴현상이 적고 정밀도가 우수한 열형광선량계(Thermoluminescent dosimeter, TLD)에 의해 측정된 방사선량을 판독수행기관에서 판독한 매 분기마다 방사선 관계종사자의 TLD에 누적 된 피폭선량의 측정결과를 한 건으로 하여 2015년부터 2019년까지 5년간의 표면선량과 심부선량에 대한 자료 629,446건을 수집하여 조사하였다. 조사대상에 포함된 방사선 관계종사자로는 영상의학과, 치과병

원, 수술실 및 심혈관센터이며 방사선 작업종사자로는 핵의학과, 방사선종양학과이다. 직종으로는 방사선사, 의사, 간호사, 간호조무사, 일반작업종사자, 치과위생사, 치과의사, 기타 들이 있었으며 실험실이나 다른 특수부서에서 사용하는 부분도 포함시켰고 교육시설에서 선량측정하는 학생 및 수시출입자는 제외했다. 또한 5년 동안 이직을 한 경우나 5년 미만의 조사 기록은 모두 제외하였다. 피폭 기간은 한 분기가 3개월로 하고 1개월을 개인의 휴가와 국경일 등을 모두 배제하고 20일로 계산 하였다. 분석방법은 표면선량과 심부선량을 각각 년도별, 분기별, 연령별, 성별, 직종별, 방사선 관계종사자와 방사선 관계종사자 외, 방사선 작업종사자와 방사선 작업종사자외를 평균 비교 분석을 하였다.

3. 통계처리

자료 분석은 R 통계프로그램 3.6.4를 이용하였으며, 정규분포에 따른 분석으로 표면선량과 심부선량을 각각 년도별, 분기별, 연령별, 성별, 직종별, 방사선 관계종사자와 방사선 관계종사자 외, 방사선 작업종사자와 방사선 작업종사자외의 선량의 차이는 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 이용하여 평균, 표준편차를 구하였으며, 연도별에 따른 분기별, 연령별, 성별, 직종별, 방사선 관계종사자와 방사선 관계종사자 외, 방사선 작업종사자와 방사선 작업종사자외의 피폭선량 평균차이는 이원배치분산분석(two-way ANOVA)을 사용하였고, 유의한 차이가 파악되는 경우 사후분석으로 Scheffé의 다중비교방법을 적용하여 집단간 차이를 분석하였다. 본 연구의 유의성 판단은 유의수준 $p < 0.05$에서 실시되었다.

결 과

1. 요인별 평균 피폭선량

1.1 연도별 평균 피폭선량의 비교

5년간 평균피폭선량은 표면선량이 0.117±0.568 mSv, 심부선량이 0.105±0.507 mSv이며 연간 최대 선량한도 50 mSv를 초과하는 경우는 2017년 2건, 2019년 1건 발생하였고, 3건 모두 방사선사에서 발생하였다. 연도별 평균 피폭선량 중 표면선량의 경우 2017년 0.135±0.607 mSv로 가장 높았고, 2016년 0.121±0.584 mSv, 2019년 0.117±0.608 mSv, 2018년 0.111±0.503 mSv, 2015년 0.103±0.533 mSv 순으로 높았다. 심부선량도 표면선량과 비슷하게 2017년, 2016년, 2019년, 2018년, 2015년 순으로 각각 0.122±0.543 mSv, 0.109±0.527 mSv, 0.105±0.538mSv, 0.100±0.447 mSv, 0.091±0.477 mSv 였다. 연도별로 통계적으로 유의미한 차이를 보이고 있으나(표면선량: $F = 55.11$, $p < 0.001$, 심부선량: $F = 63.47$, $p < 0.001$) 연도별 추세성은 보이지 않는다) (Table 1).

1.2 분기별 평균 피폭선량의 비교

분기별 평균 피폭선량 간 평균차이가 통계적으로 유의미한지 일원배치분산분석을 수행한 결과이다(Table 2). 피폭선량 중 표면선량의 경우 2분기와 3분기가 각각 0.125±0.640 mSv, 0.120±0.592 mSv로 1분기 0.110±0.519 mSv와 4분기0.113±0.511 mSv에 비해 유의미한 평균차이를 보이고 있다($F = 23.19$, $p < 0.001$). 심부선량도 표면선량과 비슷하게 2분기와 3분기의 평균이 0.112±0.566 mSv, 0.107±0.533 mSv로 1분기의 0.0198±0.463 mSv와 4분기의 0.101±0.460 mSv보다 높았다($F = 25.23$, $p < 0.001$). 표면선량과 심부선량의 분기별 최대값과 최소값의 차이는 0.014 mSv와 0.015 mSv로 평균차이는 크지 않으나, 표준오차 $s/\sqrt{n}$의 표본의 수가 모두 155,000개 이상으로 커 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 결과가 도출된 것으로 판단된다.

1.3 연령대별 평균 피폭선량의 비교

5년간 연령별 평균 피폭선량이 차이를 보이는지 분석한 결과이다(Table 3). 표본의 수가 차이가 있긴 하지만 연령별 평균 피폭선량의 경향을 쉽게 확인할 수 있다. 표면선량

Table 1. Average annual exposure dose (Unit: mSv)

Year	N	Shallow dose				Deep dose			
		Mean	Sd	F	Post-hoc	Mean	Sd	F	Post-hoc
2015	133,776	0.103	0.533	55.11 (<0.001)	d	0.091	0.477	63.47 (<0.001)	d
2016	119,371	0.121	0.584		b	0.109	0.527		b
2017	115,940	0.135	0.607		a	0.122	0.543		a
2018	127,650	0.111	0.503		c	0.100	0.447		c
2019	132,709	0.117	0.608		bc	0.105	0.538		bc
Total	629,446	0.117	0.568			0.105	0.507		

Interaction effect p-value with one-way ANOVA model. Post Hoc study is Scheffé method.

Table 2. Quarterly average exposure dose (Unit: mSv)

Quarter	N	Shallow dose				Deep dose			
		Mean	Sd	F	Post-hoc	Mean	Sd	F	Post-hoc
1	155,799	0.110	0.519		b	0.098	0.463		b
2	155,608	0.125	0.640	23.19	a	0.112	0.566	25.23	a
3	156,035	0.120	0.592	(<0.001)	a	0.107	0.533	(<0.001)	a
4	162,004	0.113	0.511		b	0.101	0.460		b
Total	629,446	0.117	0.568			0.105	0.507		

Table 3. Average exposure dose by age group (Unit: mSv)

Age	N	Shallow dose				Deep dose			
		Mean	Sd	F	Post-hoc	Mean	Sd	F	Post-hoc
1940	10,110	0.054	0.175		d	0.048	0.153		d
1950	44,272	0.063	0.389		d	0.056	0.343		d
1960	159,208	0.072	0.380	1202	d	0.065	0.333	1213	d
1970	179,769	0.096	0.500	(<0.001)	c	0.087	0.447	(<0.001)	c
1980	159,438	0.141	0.626		b	0.127	0.560		b
1990	76,649	0.245	0.910		a	0.220	0.819		a
Total	629,446	0.117	0.568			0.105	0.507		

Table 4. Average exposure dose by gender (Unit: mSv)

Gender	N	Shallow dose				Deep dose			
		Mean	Sd	T	Post-hoc	Mean	Sd	T	Post-hoc
Man	414,129	0.128	0.610	511.4 (<0.001)	a	0.116	0.545	548.1 (<0.001)	a
Women	215,317	0.094	0.474		b	0.084	0.424		b
Total	629,446	0.117	0.568			0.105	0.507		

의 경우 20대인 1990년대생이 0.245±0 .910 mSv으로 다른 연령대보다 월등히 높았고, 30대인 1980년대 0.141±0.626 mSv와 40대인 1970년대 0.096±0.500 mSv가 그 뒤를 따르고 있다. 50대 이상은 통계적으로 유의미한 차이를 보이고 있지는 않지만 연령이 높을수록 평균 표면선량이 낮아지는 경향이 있다(50대 0.072±0.380 mSv, 60대 0.063±0.389 mSv, 70대 이상 0.054±0.175 mSv). 심부선량도 표면선량과 유사하게 20대의 심부 피폭선량의 평균이 0.220±0.819 mSv로 가장 높았다. 30대와 40대가 각각 0.127±0.560 mSv, 0.087±0.447 mSv였다. 50대 이상부터는 유의미한 차이는 없으나 연령이 높아질수록 심부선량이 줄어가는 경향이 있다(50대: 0.065±0.333 mSv, 60대: 0.056±0.343 mSv, 70대 이상: 0.048±0.153 mSv).

1.4 성별 평균 피폭선량의 비교

5년간 성별 평균 피폭선량이 차이를 보이는지 분석한 결과이다(Table 4). 남자 여자 표면선량은 각각 0.128±0.610 mSv, 0.094±0.474 mSv이며, 남자 여자 심부선량은 각각 0.116±0.545mSv, 0.084±0.424 mSv로 여자에 비해 남자의 표면, 심부선량이 높은 것으로 나타났으며 통계적으로 유의미한 차이를 보이고 있다($p < 0.001$).

1.5 직종별 평균 피폭선량의 비교

5년간 직종별 평균 피폭선량이 차이를 보이는지 분석한 결과이다(Table 5). 간호사, 간호조무사, 일반작업종사자(면허없이 선량계 착용), 방사선사, 영상의학과 전문의, 의사, 치과위생사, 치과의사, 기타의 표면선량은 각각 0.060±

Table 5. Average exposure dose by occupational (Unit: mSv)

	N	Shallow dose				Deep dose			
		Mean	Sd	F	Post-hoc	Mean	Sd	F	Post-hoc
Nursing	37,118	0.060	0.198	1742 (<0.001)	c	0.057	0.190	1745 (<0.001)	b
Nursing assistants	8,835	0.088	0.482		b	0.080	0.424		b
General radiologists	9,113	0.026	0.131		e	0.025	0.133		d
Radiologists	199,692	0.238	0.876		a	0.212	0.783		a
Image doctors	12,614	0.077	0.499		bc	0.072	0.410		b
Doctors	170,680	0.078	0.442		b	0.071	0.397		b
Dental hygienists	56,642	0.039	0.131		de	0.033	0.106		d
Dental doctors	123,732	0.046	0.173		de	0.040	0.151		cd
Others	11,020	0.058	0.194		cd	0.056	0.187		bc
Total	629,446	0.117	0.568			0.105	0.507		

Table 6. Average exposure dose by whether radiation-related worker (Unit: mSv)

	N	Shallow dose				Deep dose			
		Mean	Sd	T	Post-hoc	Mean	Sd	T	Post-hoc
Yes	605,427	0.118	0.576	18.893 (<0.001)	a	0.106	0.514	12.283 (<0.001)	a
No	24,019	0.080	0.290		b	0.081	0.293		b
Total	629,446	0.117	0.568			0.105	0.507		

Table 7. Average exposure dose by whether radiation-related worker (Unit: mSv)

	N	Shallow dose				Deep dose			
		Mean	Sd	T	Post-hoc	Mean	Sd	T	Post-hoc
Yes	32,675	0.105	0.314	6.691 (<0.001)	b	0.105	0.316	0.156 (0.875)	a
No	596,771	0.117	0.578		a	0.105	0.516		a
Total	629,446	0.117	0.568			0.105	0.507		

0.198 mSv, 0.088±0.482 mSv, 0.026±0.131 mSv, 0.238±0.876 mSv, 0.077±0.499 mSv, 0.078±0.499 mSv, 0.039±0.131 mSv, 0.046±0.173 mSv, 0.058±0.482 mSv이며 심부선량은 각각 0.057±0.190 mSv, 0.080±0.424 mSv, 0.025±0.131 mSv, 0.212±0.783 mSv, 0.072±0.410 mSv, 0.071±0.397 mSv, 0.033±0.106 mSv, 0.040±0.151 mSv, 0.056±0.187 mSv이다. 모든 직군에서 방사선사가 타 직종에 비해 표면, 심부선량이 3-10배 높은 것으로 나타났으며 통계적으로 유의미한 차이를 보이고 있다($p < 0.001$).

1.6 방사선 관계종사자 여부에 따른 평균 피폭선량의 비교

5년간 방사선 관계종사자 여부에 따른 평균 피폭선량이 차이를 보이는지 분석한 결과이다(Table 6). 방사선 관계종사자와 방사선 관계종사자가 아닌 사람의 표면선량은 각각 0.118±0.576 mSv, 0.080±0.290 mSv이며, 방사선 관계종사자와 방사선 관계종사자가 아닌 사람의 심부선량은 각각 0.106±0.514 mSv, 0.081±0.293 mSv로 방사선 관계종사자가 아닌 사람에 비해 방사선 관계종사자의 표면, 심부선량이 높은 것으로 나타났으며 통계적으로 유의미한 차이를 보이고 있다($p < 0.001$).

1.7 방사선 작업종사자 여부에 따른 평균 피폭선량의 비교

5년간 방사선 작업종사자 여부에 따른 평균 피폭선량이 차이를 보이는지 분석한 결과이다(Table 7). 방사선 작업종

Table 8. Average exposure dose per quarter and per year (Unit: mSv)

Year	Qtr	N	Shallow dose		F	Deep dose		F
			Mean	Sd		Mean	Sd	
2015	1	32,846	0.094	0.469		0.083	0.423	
	2	33,408	0.098	0.547		0.087	0.487	
	3	33,606	0.109	0.587		0.096	0.527	
	4	33,916	0.109	0.520		0.097	0.465	
2016	1	31,188	0.111	0.595		0.099	0.536	
	2	30,035	0.136	0.636		0.124	0.581	
	3	29,276	0.119	0.567		0.106	0.512	
	4	28,872	0.119	0.529		0.106	0.468	
2017	1	29,297	0.109	0.504		0.098	0.457	
	2	28,523	0.154	0.775		0.140	0.689	
	3	28,959	0.139	0.565		0.125	0.502	
	4	29,161	0.138	0.554		0.125	0.498	
2018	1	31,078	0.116	0.470		0.104	0.389	
	2	31,766	0.121	0.528		0.109	0.477	
	3	32,138	0.104	0.542		0.094	0.491	
	4	32,668	0.105	0.467		0.094	0.422	
2019	1	31,390	0.119	0.548		0.106	0.496	
	2	31,876	0.121	0.700		0.107	0.585	
	3	32,056	0.130	0.684		0.117	0.619	
	4	37,387	0.100	0.489		0.091	0.449	
					23.20 ($p < .001$)			25.24 ($p < .001$)

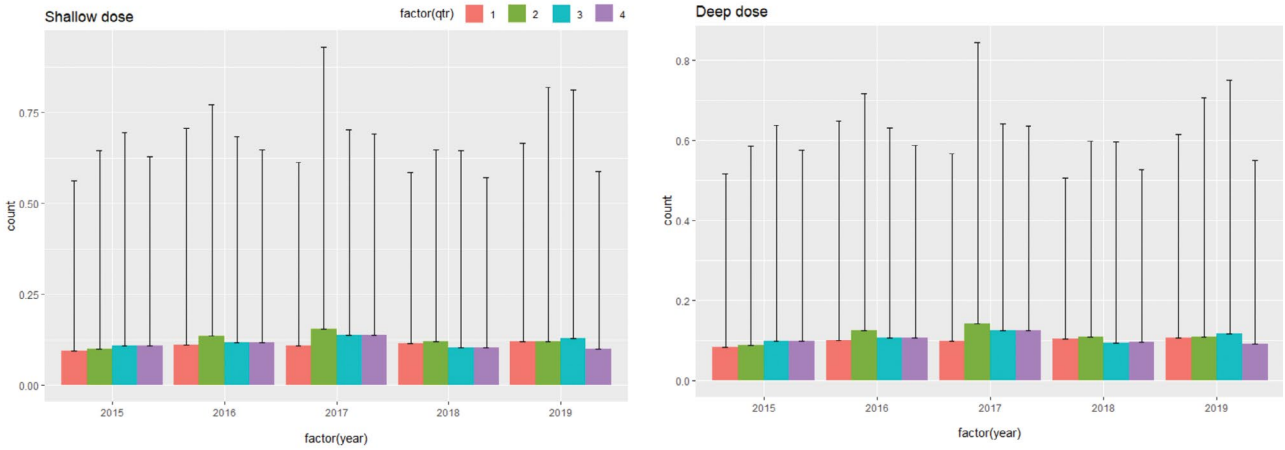

Fig. 1. Average exposure dose per quarter and per year.

사자와 방사선 작업종사자가 아닌 사람의 표면선량은 각각 0.105±0.314 mSv, 0.117±0.578 mSv이며, 방사선 작업종사자와 방사선 작업종사자가 아닌 사람의 심부선량은 각각 0.105±0.316 mSv, 0.105±0.516 mSv로 방사선 작업종사자에 비해 방사선 작업종사자가 아닌 사람의 표면, 심부선량이 비슷하거나 높은 것으로 나타났으며 통계적으로 유의미한 차이를 보이고 있다($p < 0.001$).

2. 연도별 평균 피폭선량 비교

2.1 분기별 연도별 평균 피폭선량의 비교

피폭선량 중 표면선량과 심부선량은 2분기와 3분기가 1분기와 4사분기보다 높았다. 분기별 연도별 평균 피폭선량

Table 9. Average exposure dose per year and by age (Unit: mSv)

Year	Age	N	Shallow dose		F	Deep dose		F
			Mean	Sd		Mean	Sd	
2015	70	2,517	0.038	0.123	1203.04 ($p < .001$)	0.034	0.108	1214.24 ($p < .001$)
	60	10,323	0.049	0.257		0.043	0.212	
	50	36,343	0.060	0.363		0.053	0.318	
	40	39,618	0.092	0.529		0.081	0.483	
	30	35,644	0.143	0.581		0.127	0.521	
	20	9,331	0.235	0.984		0.207	0.874	
2016	70	2,154	0.050	0.119		0.045	0.106	
	60	8,916	0.061	0.224		0.054	0.178	
	50	31,571	0.071	0.314		0.063	0.279	
	40	34,780	0.104	0.575		0.094	0.520	
	30	30,420	0.154	0.663		0.139	0.602	
	20	11,530	0.282	1.011		0.253	0.908	
2017	70	1,944	0.072	0.237		0.065	0.210	
	60	8,384	0.082	0.714		0.074	0.639	
	50	29,899	0.083	0.275		0.076	0.247	
	40	33,339	0.106	0.409		0.096	0.369	
	30	28,356	0.163	0.716		0.148	0.633	
	20	14,018	0.296	1.051		0.266	0.946	
2018	70	1,795	0.059	0.199		0.051	0.167	
	60	8,396	0.061	0.264		0.055	0.236	
	50	30,696	0.070	0.357		0.063	0.279	
	40	35,608	0.087	0.392		0.079	0.356	
	30	31,953	0.124	0.527		0.112	0.477	
	20	19,202	0.227	0.824		0.204	0.741	
2019	70	1,700	0.058	0.185		0.052	0.164	
	60	8,253	0.066	0.293		0.059	0.262	
	50	30,699	0.080	0.540		0.071	0.488	
	40	36,424	0.093	0.556		0.084	0.472	
	30	33,065	0.126	0.643		0.113	0.566	
	20	22,568	0.215	0.788		0.193	0.716	

에 대해 이원배치분산분석을 실시한 결과이다(Table 8과 Fig. 1). 2016년과 2017년 2분기의 표면선량의 평균이 각각 0.136±0.636 mSv, 0.154±0.775 mSv이고 심부선량의 평균이 각각 0.124±0.581 mSv, 0.140±0.689 mSv로 다른 연도에 비해 상대적으로 높았다. 3분기의 표면선량은 2017년 0.139±0.565 mSv, 2019년 0.130±0.684에 높았고, 심부선량은 2017년 0.125±0.502 mSv, 2019년 0.117±0.619 mSv에 높았다. 3분기와 4분기의 평균 피폭선량은 2015년, 2016년, 2017년, 2018년 비슷하지만 2019년 평균 피폭선량이 3분기가 4분기보다 높아 4분기에 비해 3분기의 평균 피폭선량이 높게 나왔다. Fig. 1은 평균 피폭선량과 표준편차를 시각화 한 그림으로 평균에 비해 표준편차가 상대적으로 큰 문제점을 확인할 수 있어 다른 피폭선량을 비교하기 위한 대안이 필요함을 알 수 있다.

2.2 연령별 연도별 평균 피폭선량의 비교

연령별 평균 피폭선량은 연령이 낮을수록 높았다. 연도에 따라 그 경향에 차이가 있는지 분석한 결과이다(Table 9). 2017년과 2016년의 평균 피폭선량이 다른 연도에 비해 상대적으로 높긴 하지만, 연령대별 평균 피폭선량의 경향은 연도에 무관하게 비슷하다. 20대의 표면선량은 2017년 0.296±1.051 mSv, 2016년 0.282±1.011 mSv, 2015년 0.235±0.984 mSv, 2018년 0.227±0.824 mSv, 2019년 0.215±0.788 mSv 순으로 높았고, 심부선량도 표면선량과

Table 10. Average exposure dose by gender and by age (Unit: mSv)

Year	Gender	N	Shallow dose		F	Deep dose		F
			Mean	Sd		Mean	Sd	
2015	Man	86,959	0.117	0.587	511.155 ($p < .001$)	0.104	0.529	548.309 ($p < .001$)
	Women	46,817	0.075	0.412		0.066	0.361	
2016	Man	78,231	0.133	0.626		0.120	0.565	
	Women	41,140	0.098	0.494		0.088	0.443	
2017	Man	76,684	0.145	0.628		0.132	0.562	
	Women	39,256	0.115	0.564		0.103	0.505	
2018	Man	84,969	0.120	0.514		0.109	0.455	
	Women	42,681	0.093	0.480		0.084	0.430	
2019	Man	87,286	0.129	0.685		0.116	0.605	
	Women	45,423	0.094	0.420		0.083	0.379	

비슷하게 2017년 0.266±0.946 mSv, 2016년 0.253±0.908 mSv, 2015년 0.207±0.874 mSv, 2018년 0.204±0.741 mSv, 2019년 0.193±0.716 mSv 순으로 높았다.

2.3 성별 연도별 평균 피폭선량의 비교

남성의 평균 피폭선량이 여성의 평균 피폭선량보다 높았다. 연도별로 살펴보면 표면선량의 경우 남성과 여성의 차이가 2015년 0.042 mSv로 가장 높았고 2016년 0.035 mSv, 2019년 0.035 mSv, 2017년 0.030 mSv, 2018년 0.027 mSv로 차이를 보이고 있었다. 심부선량은 2015년 남성이 여성에 비해 0.038 mSv 높았고, 2019년 0.033 mSv, 2016년 0.032 mSv, 2017년 0.029, 2018년 0.025 mSv 순으로 높았다. 남성과 여성의 평균피폭선량에 정도의 차이는 연도별로 보이지만 남성이 여성에 비해 항상 평균피폭선량이 높았다(Table 10).

2.4 직종별 연도별 평균 피폭선량의 비교

5년간 직종별 평균 피폭선량이 차이를 보이는지 분석한 결과이다(Table 11). 간호사, 간호조무사, 일반작업종사자(면허없이 선량계 착용), 방사선사, 영상의학과 전문의, 의사, 치과위생사, 치과의사, 기타에서 가장 높은 방사선사 직군의 표면선량은 2015 2016 2017 2018 2019년도 각각 0.213±0.804 mSv 0.244±0.895 mSv, 0.269±0.991 mSv, 0.237±0.813 mSv, 0.230±0.875 mSv이며 가장 낮은 일반작업종사자의 표면선량은 2015 2016 2017 2018 2019년도 각각 0.033±0.076 mSv 0.034±0.097 mSv, 0.024±0.038 mSv, 0.029±0.166 mSv, 0.021±0.075 mSv로 연도별 표면선량이 7-10배 정도의 차이가 나는 것으로 나타났으며 통계적으로 유의미한 차이를 보이고 있다($p < 0.001$). 가장 높은 방사선사 직군의 심부선량은 2015 2016 2017 2018 2019년도 각각 0.188±0.723 mSv 0.219±0.812 mSv, 0.242±0.884 mSv, 0.212±0.719 mSv, 0.206±0.775 mSv이며 가장 낮은 일반작업종사자의 표면선량은 2015 2016 2017 2018 2019년도 각각 0.031±0.071 mSv 0.032±0.097 mSv, 0.024±0.038 mSv, 0.027±0.168 mSv, 0.020±0.075 mSv로 연도별 심부선량이 6-10배 정도의 차이가 나는 것으로 나타났으며 통계적으로 유의미한 차이를 보이고 있다($p < 0.001$).

2.5 방사선관계종사자 연도별 평균 피폭선량의 비교

방사선 관계종사자의 표면선량 0.118±0.576 mSv가 방사선관계종사자가 아닌 사람 0.080±0.290 mSv에 비해 높았고, 심부선량도 방사선 관계종사자(0.106±0.514 mSv)가 방사선 관계종사자가 아닌 사람(0.081±0.293 mSv)에 비해 높았다. 하지만 연도별로 살펴보면 2015년과 2017년의 방사선 관계종사자 표면선량은 각각 0.103±0.535 mSv, 0.135±0.612 mSv이며 방사선 관계종사자가 아닌 사람 표면선량을 각각 0.100±0.406 mSv, 0.139±0.345 mSv으로 통계적으로 유의미한 차이가 없거나 반대로 방사선관 계종사자가 아닌 사람의 평균피복선량이 높았다. 2016년 2018년 2019년의 방사선 관계종사자 표면선량은 각각 0.121±0.589 mSv, 0.116±0.517 mSv, 0.119±0.621 mSv이며, 방사선 관계종사자가 아닌 사람 표면선량을 각각 0.108±0.288 mSv, 0.056±0.262 mSv, 0.072±0.239 mSv으로 방사선 관계종사자의 평균피폭선량이 높았다. 이 결과는 항상 보건복지부 기준으로 분류된 방사선 관계종사자가 그렇지 않은 사람에 비해 항상 평균피폭선량이 높다고 할 수 없는 근거가 된다(Table 12) (Fig. 2).

Table 11. Average exposure dose per year and by occupation (Unit: mSv)

Year	Worker	N	Shallow dose		F	Deep dose		F
			Mean	Sd		Mean	Sd	
2015	Nursing	8037	0.051	0.189		0.048	0.183	
	Nursing assistants	1930	0.083	0.569		0.075	0.508	
	General radiologists	279	0.033	0.076		0.031	0.071	
	Radiologists	43269	0.213	0.804		0.188	0.723	
	Image doctors	2934	0.065	0.449		0.061	0.402	
	Doctors	35104	0.066	0.425		0.059	0.379	
	Dental hygienists	12629	0.026	0.098		0.021	0.077	
	Dental doctors	27599	0.035	0.202		0.029	0.166	
	Others	1995	0.066	0.245		0.062	0.228	
2016	Nursing	7493	0.065	0.233		0.061	0.214	
	Nursing assistants	1596	0.106	0.794		0.095	0.679	
	General radiologists	461	0.034	0.097		0.032	0.097	
	Radiologists	38263	0.244	0.895		0.219	0.812	
	Image doctors	2393	0.073	0.342		0.068	0.306	
	Doctors	32713	0.081	0.455		0.074	0.405	
	Dental hygienists	10696	0.040	0.146		0.034	0.120	
	Dental doctors	24017	0.044	0.120		0.038	0.099	
	Others	1739	0.076	0.248		0.073	0.234	
2017	Nursing	6613	0.070	0.223	1742.80 ($p < .001$)	0.067	0.215	1745.634 ($p < .001$)
	Nursing assistants	1603	0.089	0.246		0.080	0.226	
	General radiologists	309	0.024	0.038		0.024	0.038	
	Radiologists	37222	0.269	0.991		0.242	0.884	
	Image doctors	2287	0.083	0.354		0.079	0.340	
	Doctors	32573	0.085	0.342		0.079	0.310	
	Dental hygienists	10635	0.051	0.134		0.045	0.108	
	Dental doctors	23327	0.060	0.140		0.053	0.118	
	Others	1371	0.083	0.222		0.081	0.220	
2018	Nursing	7009	0.056	0.166		0.054	0.160	
	Nursing assistants	1734	0.067	0.179		0.061	0.160	
	General radiologists	4795	0.028	0.166		0.027	0.168	
	Radiologists	39171	0.237	0.813		0.212	0.719	
	Image doctors	2410	0.086	0.500		0.082	0.487	
	Doctors	33928	0.072	0.331		0.066	0.300	
	Dental hygienists	11164	0.037	0.116		0.032	0.090	
	Dental doctors	24016	0.044	0.151		0.039	0.134	
	Others	3423	0.041	0.133		0.040	0.133	
2019	Nursing	7966	0.057	0.172		0.054	0.172	
	Nursing assistants	1972	0.096	0.368		0.088	0.340	
	General radiologists	3269	0.021	0.075		0.020	0.075	
	Radiologists	41767	0.230	0.875		0.206	0.775	
	Image doctors	2590	0.083	0.732		0.071	0.474	
	Doctors	36362	0.086	0.592		0.078	0.533	
	Dental hygienists	11518	0.042	0.153		0.036	0.130	
	Dental doctors	24773	0.049	0.220		0.042	0.205	
	Others	2492	0.047	0.152		0.047	0.151	

Table 12. Average exposure dose per year for radiation-related workers (Unit: mSv)

Year		N	Shallow dose		F	Deep dose		F
			Mean	Sd		Mean	Sd	
2015	Y	130,944	0.103	0.535	103.57 ($p < .001$)	0.091	0.479	54.43 ($p < .001$)
	N	2,832	0.100	0.406		0.102	0.422	
2016	Y	116,476	0.121	0.589		0.109	0.531	
	N	2,895	0.108	0.288		0.110	0.295	
2017	Y	113,572	0.135	0.612		0.122	0.547	
	N	2,368	0.139	0.345		0.142	0.353	
2018	Y	118,526	0.116	0.517		0.104	0.459	
	N	9,124	0.056	0.262		0.055	0.252	
2019	Y	125,909	0.119	0.621		0.106	0.550	
	N	6,800	0.072	0.239		0.073	0.247	

Fig. 2. Average exposure dose per year for radiation-related workers.

2.6 방사선작업종사자 연도별 평균 피폭선량의 비교

방사선 작업종사자의 표면선량 0.105±0.314 mSv보다 방사선 작업종사자가 아닌 사람 0.117±0.578 mSv가 높았고, 심부선량은 방사선 작업종사자가 0.105±0.316 mSv, 방사선 작업종사자가 아닌 사람 0.105±0.516 mSv으로 비슷한 선량으로 나타났다. 하지만 연도별로 살펴보면 2018년과 2019년의 방사선작업종사자 표면선량은 각각 0.074±0.278 mSv, 0.086±0.245 mSv이며 방사선 작업종사자가 아닌 사람 표면선량을 각각 0.115±0.518 mSv, 0.119±0.625 mSv으로 방사선 작업종사자에 비해 방사선 작업종사자가 아닌 사람의 표면선량이 높은 것으로 나타났으며 통계적으로 유의미한 차이를 보이고 있다($p < 0.001$). 2015년 2016년 2017년의 방사선 작업종사자 표면선량은 각각 0.125±0.383 mSv, 0.137±0.351 mSv, 0.166±0.381 mSv이며, 방사선 작업종사자가 아닌 사람 표면선량을 각각 0.102±0.538 mSv, 0.120±0.592 mSv, 0.134±0.614 mSv으로 방사선작업종사자의 평균피폭선량이 높았다. 이 결과는 항상 방사선 작업종사자가 그렇지 않은 사람에 비해 항상 평균피폭선량이 높다고 할 수 없는 근거가 된다(Table 13) (Fig. 3).

고 찰

방사선이 이용되는 분야에서 대부분은 전리 방사선을 사용하고 있어서 방사선이 인체에 피폭이 되면 인체에 미치는 영향으로는 물리적, 화학적, 생화학적인 단계를 거쳐 생물학적인 작용으로 결정론적 영향 Deterministic effect)과 확률론적 영향(Stochastic effect)이 나타나게 된다(정 등 2016;

Table 13. Average exposure dose per year for radiation workers (Unit: mSv)

Year		N	Shallow dose		F	Deep dose		F
			Mean	Sd		Mean	Sd	
2015	Y	4,899	0.125	0.383	103.57 ($p < .001$)	0.126	0.395	54.43 ($p < .001$)
	N	128,877	0.102	0.538		0.089	0.480	
2016	Y	4,817	0.137	0.351		0.137	0.348	
	N	114,554	0.120	0.592		0.108	0.533	
2017	Y	3,805	0.166	0.381		0.167	0.384	
	N	112,135	0.134	0.614		0.121	0.548	
2018	Y	10,584	0.074	0.278		0.073	0.270	
	N	117,066	0.115	0.518		0.103	0.460	
2019	Y	8,570	0.086	0.245		0.087	0.251	
	N	124,139	0.119	0.625		0.106	0.553	

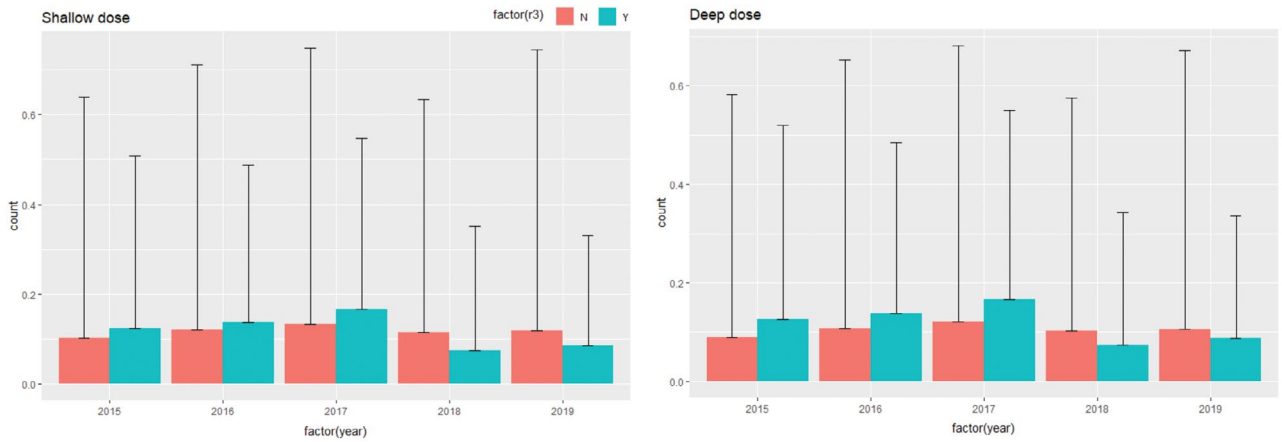

Fig. 3. Average exposure dose per year for radiational workers.

정 2018; Chung *et al*. 2019). 결정론적 영향은 피폭을 받으면 누구에게서나 신체의 변화가 나타나고 선량에 비례하여 신체의 영향이 달라지며 효과가 나타나기까지 일정한 선량(역치선량)이 필요한 경우이고, 확률론적 영향은 적은 양의 피폭선량에서도 암이나 중대한 유전적인 변화가 일어날 수 있다는 것을 말한다(정 등 2016; 정 2018; Chung *et al*. 2019).

ICRP 1997 보고서에 의하면 의료방사선 관계종사자의 경우 대부분 0.1~1 mSv 정도의 피폭이 장기적으로 발생될 가능성이 많음을 시사하고 있는데 이는 아주 극히 적은 량 이므로 방사선 영향 평가 시 확률론적 영향에 근간을 두고 있음을 보여주는 내용이라 이해 할 수 있다(ICRP 1966; 이 1991; 여 1993; 남 1972; 동 2003; ICRP 2007; Lee and Lee 2007; 한국방사선동위원소협회 2000; Kim and Cho 2011; 정운관 외 2016; 정운관 2018; Chung *et al*. 2019). 따라서 병원내 방사선 관계종사자들의 건강평가는 확률론적 영향의 개념으로서 접근이 요구 되고 직업상의 방사선 피폭을 최소화하여 신체적인 장해를 방지하기 위해 1928년 결성된 국제방사선방어위원회(Internatinal Commission on Radiological Protection, ICRP)에서는 직업상의 피폭을 연간 최대 50 mSv 5년간 100 mSv를 초과하지 않는 범위 내로 규정하고 있으며, 연간 평균 20 mSv 또는 분기별 5 mSv를 넘지 않도록 권고 하고 있다(ICRP 1966; 남 1972; 이 1991; 여 1993; 한국방사선동위원소협회 2000; 동 2003; ICRP 2007; Lee and Lee 2007; Kim and Cho 2011; 정 등 2016; 정 2018; Chung *et al*. 2019). 조사 대상 전체의 연도별 평균 피폭선량 중 표면선량과 심부선량의 경우 2017년 가장 높았고, 2016년, 2019년, 2018년, 2015년 순으로 높았으나 연도별 추세

성은 보이지 않는다. 양(2014)은 2008년부터 2013년까지의 표면선량이 0.13±0.77 mSv이고 심부선량이 0.13±0.73 mSv로 제시했으므로(양 2014), 2015년부터 2019년까지 5년 간 평균피폭선량은 2008년부터 2013년까지의 5년 간 평균피폭선량에 비해 줄어들었다. 분기별 평균 피폭선량 중 표면선량과 심부선량의 경우 2, 3분기가 높고, 1, 4분기 낮게 나타났으나 분기별 추세성은 보이지 않는다. 성별로 분석한 성별 연도별 피폭선량과 성별 분기별 피폭선량을 비교하여 볼 때 남자가 여자보다 유의하게 피폭을 더 많이 받은 것으로 나타났으며 이 같은 결과는 가임 연령층의 여성들이 방사선 피폭에 대하여 조심스럽게 대처를 하고 있기 때문이다. 또한 남성의 경우는 피폭의 우려가 많은 핵의학과나 방사선종양학과 그리고 영상의학과에서도 혈관 조영실이나 투시검사실 같은 부서에 많이 근무하는 반면 여성은 상대적으로 비교적 피폭의 부담이 적은 부서에 많이 근무하게 되는 실정과 그 외에도 종사자로는 분류되어 있지만 접수나 사무직에 종사하는 인원이 많음을 간과할 수 없을 것이다. 연령별로 분석한 연령별 연도별 피폭선량을 비교하여 볼 때 방사선 관계종사자의 5년간의 평균 피폭선량은 연령이 낮을수록 피폭선량이 증가되는데 그것은 20대 30대 연령대가 사회적인 위치상으로 가장 활동적인 시기이기 때문에 방사선 발생장치의 사용 빈도가 고 연령층보다 훨씬 많은 반면, 50대 이상 연령군은 병원이나 조사대상 기관에서 부서관리 직종인 경우가 많아 상대적으로 방사선 발생장치의 사용빈도가 낮기 때문인 것으로 사료된다. 또한 연령별 분기별 평균 피폭선량에서도 고 연령에서 저 연령으로 갈수록 심부선량과 표면선량의 값이 켜지는 것을 알 수 있다. 이 결과 또한 연령별 연도별 평균피폭선량과 같은 이유라고 사료된다. 그러므로 출산이 가능한 이들 연령군의 생식선에 대한 피폭은 유전유의선량에 관여 할 수 있으므로 종사자들에 대한 철저한 피폭 관리가 요구된다.

결 론

진단용 방사선 발생장치에서의 방사선방어에 관한 연구와 방사선 관계종사자들에 관한 연구, 방사선사의 직업윤리 및 개인피폭선량 관리 등 다수의 참고문헌을 통하여 2015년부터 2019년까지 5년간 전국 방사선 관계종사자, 방사선 작업종사자를 대상으로 누적 개인피폭선량을 측정하여 빈도분석, 정규분포에 따른 연도별, 분기별, 연령별, 성별, 직종별, 방사선 관계종사자와 방사선 관계종사자 외, 방사선 작업종사자와 방사선 작업종사자외를 평균 비교하였다. 전체의 연도별 평균 피폭선량 중 표면선량과 심부선량의 경우 2017년 가장 높았고, 2016년, 2019년, 2018년, 2015년 순으로 높았으나 연도별 추세성은 보이지 않는다. 분기별 평균 피폭선량 중 표면선량과 심부선량의 경우 2, 3분기가 높고, 1, 4분기 낮게 나타났으나 분기별 추세성은 보이지 않는다. 성별로 분석한 성별 연도별 피폭선량과 성별 분기별 피폭선량을 비교하여 볼 때 남자가 여자보다 유의하게 피폭을 더 많이 받은 것으로 나타났으며 이 같은 결과는 가임 연령층의 여성들이 방사선 피폭에 대하여 조심스럽게 대처를 하고 있기 때문이다. 또한 남성의 경우는 피폭의 우려가 많은 핵의학과나 방사선종양학과 그리고 영상의학과에서도 혈관 조영실이나 투시검사실 같은 부서에 많이 근무하는 반면 여성은 상대적으로 비교적 피폭의 부담이 적은 부서에 많이 근무하게 되는 실정과 그 외에도 종사자로는 분류되어 있지만 접수나 사무직에 종사하는 인원이 영성에 많음을 간과할 수 없을 것이다. 연령별로 분석한 연령별 연도별 피폭선량을 비교하여 볼 때 방사선 관계종사자의 5년간의 평균 피폭선량은 연령이 낮을수록 피폭선량이 증가되는데 그것은 20대 30대 연령군이 사회적인 위치상으로 가장 활동적인 시기이기 때문에 방사선 발생장치의 사용 빈도가 고 연령층보다 훨씬 많은 반면, 50대 이상 연령군은 병원이나 조사대상 기관에서 부서관리 직종인 경우가 많아 상대적으로 방사선 발생장치의 사용빈도가 낮기 때문인 것으로 사료된다. 직종별로 분석한 직종별 연도별 피폭선량을 비교하여 볼 때 방사선사, 간호직, 의사, 기타(연구원, 보조원), 치과위생사, 치과의사 순으로 나타났는데 이는 방사선사가 다른 직종에 비해 방사선 발생장치의 사용빈도 월등히 많아 방사선에 대해 노출될 수 있는 시간과 기회가 많기 때문인 것으로 사료되며 또 치위생사의 피폭선량 높다는 점을 고려하여 치위생사의 방사선에 대한 안전관리에 관한 교육과 감독이 필요하다고 생각된다.

사 사

The Research has been conducted by the Research Grant of Gwangju Health University in 2020 (2020018).

참 고 문 헌

강세식. 2006. 진단용 X-선장치 정도관리 실험. 청구문화사.
남정우. 1972. 韓國의 診療放射線으로 因한 被照射蓄積線量의 放射線保健學的 硏究(I). 질병관리본부.
동경래. 2003. 서울지역 3 차의료기관 방사선 종사자의 개인피폭선량에 관한 연구. 연세대학교 석사학위논문.
양남희. 2014. ICRP 103에 따른 방사선 관계종사자의 5년간 개인피폭선량 추적조사 연구. 동신대학교 석사학위논문.
여영복. 1993. 放射線檢査의 趨勢變動에 관한 硏究. 중앙대학교 석사학위논문.

윤철호, 황상용. 1984. 방사선이 일반보건에 미치는 영향에 관한 고찰. 최신의학 **27**(4):113-127.

이명호. 1991. 放射線士들의 被暴線量과 血液像. 경북대학교 석사학위논문.

이환형. 1991. 의료기관 진단방사선사의 피폭 관리에 대한 인식도. 경북대학교 보건대학원 석사학위논문.

정운관. 2018. 의료방사선안전센터 핵의학종사자 방사선방호 기술개발. 원자력안전재단 1305033-0315-CG1000.

정운관, 동경래, 최은진, 주용진, 양남희, 정규환. 2016. 핵의학 방사선종사자 선량제약치 설정, 2016년 원자력안전연구사업 안전기술보고서 N-STAR.

조중삼. 1976. 우리나라 방사선 의학의 연혁. 대한방사선의학회지. **12**(2):97-125.

한국방사성동위원소협회. 2000. 방사선취급기술기초. 29-30.

Chung WK, Yang NH, Dong KR, Choi JW. 2019. Proposed Dose Constraints in the Duties of Radiation Workers at the Department of Nuclear Medicine. *Radiat. Protect. Dosimet.* **187**(4):535-539.

ICRP. 1966. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 9.

ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the Internal Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103.

Kim HG, Kang SS, Kim CS and Park CS. 2006. Terms Standardization between the Rules of Diagnosis Radiation Equipment Safety Management and Atomic Energy Law: Problems and Suggestions. *J. Radiol. Sci. Technol.* **29**(1):39-46.

Kim YM and Cho KW. 2011. A study on the implementation of dose constraints in occupational dose according to ICRP 103 recommendations in Korea. *J. Radiat. Prot. Res.* **36**(3):127-133.

Lee HJ and Lee SB. 2007. Analysis of Changed Bio-Signal to Radiation Exposure of Nuclear Medicine Worker. *J. Radiat. Prot. Res.* **32**(1):27-34.

Received: 20 July 2020
Revised: 15 August 2020
Revision accepted: 13 September 2020