

텅스텐 차폐체의 감마선 투과선량 측정

한상현¹, 구본열^{2*}

¹한서대학교 방사선학과, ²영동병원

Transmission Dose Measurement of Gamma-ray Using Tungsten Shield

Sang-Hyun Han¹, Bon-Yeoul Koo^{2*}

¹Department of Radiological Science, Hanseo University

²Department of Radiology, Yeongdong Hospital

요약 본 연구는 Apron의 재질로 이용되고 있는 텅스텐 차폐체를 핵의학과에서 사용하는 선원의 종류와 차폐체의 두께, 선원부터 검출기 사이의 거리를 변화시켜 차폐체에 투과시킨 후 투과선량과 차폐율을 알아보고자 하였다. 실험을 위해서 선원과 차폐체와 검출기를 일직선으로 배치하고 높이 100 cm 지점에서 Inspector로 측정하였다. 그 결과 텅스텐에 차폐효과가 가장 높은 선원은 ²⁰¹Tl 선원으로 측정되었고, ¹²³I 선원이 ^{99m}Tc 선원보다 차폐효과가 높게 나타났다. 실험에 사용한 선원과 검출기 사이의 거리는 멀어질수록 투과선량은 작아졌고, 텅스텐 차폐체의 두께는 두꺼울수록 차폐율은 높게 측정되었다. 하지만 ¹³¹I와 ¹⁸F 선원에서는 0.25 mmPb의 차폐체를 사용했을 경우 차폐체가 없을 경우 보다 차폐율이 감소하는 것을 확인하였다. 따라서 ¹³¹I와 ¹⁸F 선원을 사용할 경우에는 방사선 차폐효과가 높은 텅스텐일지라도 선원의 종류에 따른 특성과 차폐체의 두께를 고려하여 사용하길 권장하고, 실험 결과를 참고하여 사용한다면 피폭 저 감화방안에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각 된다.

Abstract This study was conducted to investigate the penetration dose and shielding rates of tungsten shields used in apron material by changing the type of source used in the nuclear medicine department, thickness of shielding material and distance between the source and detector. For the experiment, the source, shield, and detector were arranged in a straight line and measured with an inspector at a height of 100 cm. The highest shielding effect of tungsten was measured for ²⁰¹Tl, while ¹²³I showed a higher shielding effect than ^{99m}Tc. For the sources used in the experiment, the penetration dose decreased with distance and the shielding rate was measured with thicker thickness. However, the shielding rate of ¹³¹I and ¹⁸F sources was found to be lower than when there was no shielding at 0.25 mmPb shield. Therefore, even if the radiation shielding effect of tungsten is high, considering the characteristics according to the type of source and the thickness of the shielding material, it may be helpful to reduce the exposure.

Keywords : Tungsten Shield, Transmission Dose, Source, Shielding Rates, Reduce Exposure

1. 서론

핵의학과는 방사성의약품을 인체에 투여하여 질병의 진단 및 치료를 시행하는 과로 알파, 베타, 감마 붕괴에 의해 방출되는 방사선을 이용한다[1]. 그 중 투과력인 강한 감마선은 인체로부터 투과되어 검출부에 도달해 영상

으로 나타낸다. 이때 환자는 방사선 피폭을 받지만 그로 인해 직접적인 이익을 얻을 수 있어 일정 수준의 피폭까지는 용인이 되고 있다[2]. 반면 핵의학 작업종사자는 환자나 선원으로부터 불필요한 피폭을 받게 되기 때문에 ICRP(국제방사선방어위원회) 권고에 의거해 차폐를 해야 한다.

*Corresponding Author : Bon-yeoul Koo(Yeongdong Hospital)

Tel: +82-10-2416-0199 email: kusubon@naver.com

Received May 29, 2018

Revised (1st June 14, 2nd August 14, 2018)

Accepted September 7, 2018

Published September 30, 2018

방사성동위원소와 환자로부터 방사선 피폭을 방지하기 위해서는 여러 가지 차폐도구들을 사용하는데 일반적으로 핵의학과에서는 에너지와 투과력이 높은 감마선을 주로 사용하기 때문에 텅스텐과 납을 혼합한 재질을 사용한다[3]. 텅스텐은 원자번호 74, 밀도 19.25 g/cm³로 납보다 생산가격이 비싸고 가공이 쉽지 않지만, 방사선의 차폐효율을 높일 수 있는 장점과 인체에 피해가 적어 중금속의 합금형태로 여러 분야에 많이 이용되고 있다 [4-6]. 특히 핵의학분야에서는 선원으로부터 방출되는 방사선을 차폐하기 위한 도구로 Syringe holder, Vial shield, L-block 등의 재질에 이용하고 있다. 또한 핵의학 종사자들의 방사선 피폭을 방지하기 위한 Apron의 재질로 오래전부터 납을 이용하였으나 현재는 텅스텐을 이용한 인체에 무해하고 경량화된 Apron이 연구되어 개발되고 있다[7-8]. 하지만 이것은 엑스선 방호용품 기준 [9]에 의해 제작되어 영상의학과에서 사용하는 Apron으로 에너지와 투과력이 높은 감마선을 사용하는 핵의학과에서 여러 가지 선원에 대한 차폐효과에 관한 연구는 미미하다. 따라서 본 연구는 ^{99m}Tc와 여러 가지 선원들을 이용하여 현재 Apron의 재질로 사용되고 있는 텅스텐 차폐체에 감마선을 방출시켜 각 선원들이 텅스텐 차폐체에 어느 정도의 차폐효과가 있는지를 확인하여 방사선 방어 측면에서 선원의 종류에 따른 올바른 Apron 사용의 중요성을 제시하고자 하였다.

2. 실험도구 및 방법

2.1 실험도구

실험에 사용하기 위한 방사성동위원소들의 방사능량을 측정하기 위하여 Dose calibrator(CRC[®]-15R, USA)를 이용하였고, Survey meter(Inspector, USA)를 이용하여 텅스텐 차폐체를 투과하고 나온 투과선량을 측정하였다. 방사성동위원소들은 현재 핵의학 영상검사에 많이 사용되고 있는 것으로 ^{99m}Tc와 ¹⁸F은 370 MBq을 이용하였고, ²⁰¹Tl과 ¹³¹I, ¹²³I는 111 MBq을 사용하였다(Fig 1). 텅스텐 차폐체는 모두 6장의 차폐체를 제작하여 실험에 이용하였고, 차폐체 한 장의 규격은 가로, 세로 20 cm의 정사각형 형태로 제작한 것으로 한 장의 납 당량은 0.25 mmPb 이다(Fig. 2).

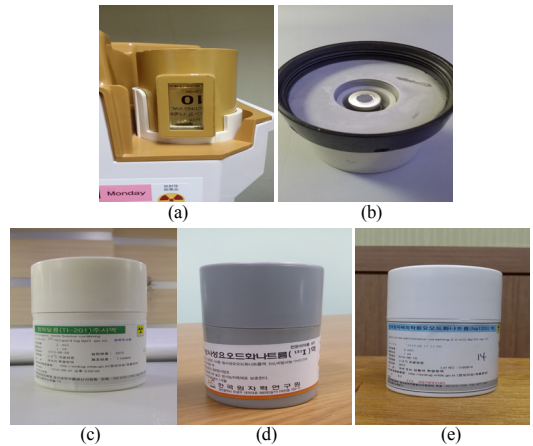


Fig. 1. Radioisotope (a) ^{99m}Tc (b) ¹⁸F (c) ²⁰¹Tl (d) ¹³¹I (e) ¹²³I

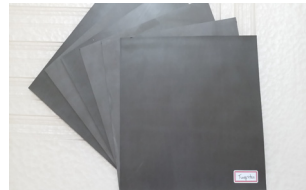


Fig. 2. Shielding of Tungsten

2.2 실험방법

텅스텐 차폐체의 투과선량을 측정하기에 앞서 방사성동위원소와 차폐체와 측정기가 동일선상에 오도록 배치시킨 다음 높이가 100 cm가 되는 곳에 방사성동위원소, 차폐체, 측정기를 순서대로 위치시켰다. 측정기는 각 방사성동위원소에서 100 cm와 50 cm, 30 cm 되는 곳에 위치시키고, 측정기에서 2 cm 되는 지점에 텅스텐 차폐체를 위치하였다(Fig. 3). 실험방법은 선행연구[10]를 참고하였다.

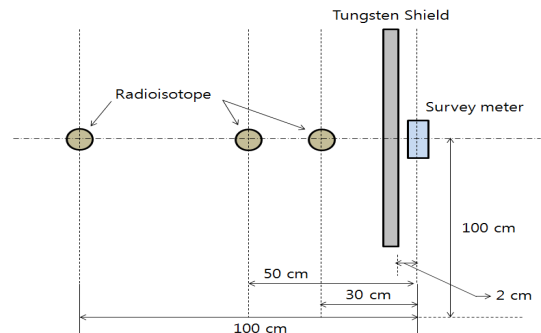


Fig. 3. Experimental method

측정 순서는 텅스텐 차폐체를 사용하기 전과 사용한 후로 나누었다. 먼저 사용하기 전의 두께를 0 mmPb로 하여 거리에 변화를 주며 측정하였다. 그리고 다시 텅스텐 차폐체를 사용한 후 측정하였는데 이때 두께를 증가시킬수록 0.25 mmPb에서 1.50 mmPb 까지 차폐체를 겹쳐서 사용했다. 이런 방법을 통해 ^{99m}Tc과 ¹⁸F, ²⁰¹Tl와 ¹³¹I, ¹²³I에 대한 투과선량을 측정하였는데 텅스텐 차폐체를 사용하기 전과 사용한 후로 나누어 10회 이상 반복하여 측정하고 평균값을 구하였다. 측정된 값은 차폐율 식(1)을 이용해 계산하였다.

$$SR = \frac{N.T.S\ dose - T.S\ dose}{N.T.S\ dose} \times 100(\%) \dots\dots\dots (1)$$

- SR : shielding rate
- N.T.S : non tungsten shielding dose
- T.S : tungsten shielding dose

3. 결 과

3.1 ^{99m}Tc의 투과선량과 차폐율

^{99m}Tc 선원을 이용한 투과선량의 결과는 텅스텐 차폐체가 없이(0 mm) 실험했을 경우 거리가 30 cm일 때 13.640 mR/hr, 50 cm일 때 4.665 mR/hr, 100 cm일 때 1.197 mR/hr으로 나타났다. 차폐체의 두께를 0.25 mm씩 증가시켜 1.50 mm까지 두껍게 할수록 투과선량을 측정할

값은 작아졌고, 거리를 30 cm부터 100 cm까지 멀리할수록 투과선량은 작아졌다. 투과선량을 차폐율로 나타낸 결과는 0.25 mm에서 13.40%(30 cm), 12.13%(50 cm), 10.94%(100 cm)로 나타났고, 1.0 mm일 때 82.54%(30 cm), 82.68%(50 cm), 81.95%(100 cm)로 80% 이상의 차폐율을 나타냈다. 그리고 1.50 mm일 때는 96.22%(30 cm), 95.41%(50 cm), 92.06%(100 cm)로 90% 이상의 차폐율을 나타냈다. 거리를 30 cm부터 100 cm까지 멀리할수록 차폐율은 감소되는 것으로 나타났다(Table 1).

3.2 ¹⁸F의 투과선량과 차폐율

¹⁸F 선원을 이용해 차폐체와의 거리를 변화시켜 측정된 결과는 차폐체가 없이(0 mm) 방출시켰을 경우 거리가 30 cm일 때 65.81 mR/hr, 50 cm일 때 23.35 mR/hr, 100 cm일 때 5.61 mR/hr으로 나타났다. 차폐체 0.25 mm를 사용했을 경우에는 30 cm에서 69.921 mR/hr, 50 cm에서 25.562 mR/hr, 100 cm에서 6.172 mR/hr으로 차폐체를 사용하지 않았을 때보다 역으로 투과 선량 값이 증가하는 결과를 보였다. 그리고 0.50 mm부터 1.50 mm까지 거리를 멀리할수록 투과선량은 작게 측정되었고, 차폐체를 두껍게 할수록 투과선량은 작게 측정되었다. 투과선량을 차폐율로 나타낸 결과는 0.25 mm일 때 -6.23%(30 cm), -9.45%(50 cm), -9.97%(100 cm)로 가장 낮은 차폐율을 보였고, 다시 0.50 mm부터 차폐율이 증가하여 1.50 mm일 때는 39.60%(30 cm), 33.74%(50 cm), 31.36%(100 cm)로 30% 이상의 차폐율을 나타냈다(Table 2).

Table 1. Transmission dose and shielding rate of ^{99m}Tc

Thickness(mm)	Dose rate(mR/hr)			Shielding rate(%)		
	30 cm	50 cm	100 cm	30 cm	50 cm	100 cm
0	13.640	4.665	1.197	0	0	0
0.25	11.812	4.099	1.066	13.40	12.13	10.94
0.50	7.486	2.444	0.673	45.12	47.61	43.78
0.75	4.241	1.379	0.412	68.91	70.44	65.58
1.0	2.382	0.808	0.216	82.54	82.68	81.95
1.25	1.288	0.489	0.173	90.56	89.52	85.55
1.50	0.515	0.214	0.095	96.22	95.41	92.06

Table 2. Transmission dose and shielding rate of ¹⁸F

Thickness(mm)	Dose rate(mR/hr)			Shielding rate(%)		
	30 cm	50 cm	100 cm	30 cm	50 cm	100 cm
0	65.815	23.353	5.612	0	0	0
0.25	69.921	25.562	6.172	-6.23	-9.45	-9.97
0.50	60.453	22.024	5.394	8.14	5.69	3.88
0.75	53.522	20.315	4.945	18.67	13.00	11.88
1.0	48.428	18.592	4.66	26.41	20.38	16.94
1.25	43.677	17.146	4.28	33.63	26.57	23.68
1.50	39.752	15.473	3.52	39.60	33.74	31.36

3.3 ²⁰¹Tl의 투과선량과 차폐율

²⁰¹Tl 선원과 차폐체와의 거리를 고정한 후 ²⁰¹Tl을 방출시킨 다음 차폐체를 0.25 mm씩 증가시켜 측정된 결과는 0.25 mm에서 30 cm일 때 2.428 mR/hr, 50 cm에서 0.918 mR/hr, 100 cm에서 0.237 mR/hr으로 나타났다. 그 뒤 차폐체를 두껍게 할수록 투과선량을 측정할 값은 작아져 1.50 mm일 때 0.145 mR/hr(30 cm), 0.071 mR/hr(50 cm), 0.031 mR/hr(100 cm)으로 나타났다. 거리의 변화에 따른 측정값은 거리가 멀어질수록 투과선량 값은 작아졌다. ²⁰¹Tl 선원의 차폐율 측정결과는 0.25 mm일 때 50.70%(30 cm), 54.32%(50 cm), 56.51%(100 cm)으로 측정되어 50% 이상의 차폐율을 보였고, 1.0 mm일 때 93.66(30 cm), 92.48%(50 cm), 90.64%(100 cm)로 90% 이상의 차폐율을 보여 실험에 사용된 방사성동위원소 중에서 가장 높은 차폐율을 보였다(Table 3).

3.4 ¹³¹I의 투과선량과 차폐율

텅스텐 차폐체가 없을 때 측정된 ¹³¹I 선원의 투과선

량 값은 30 cm에서 9.781 mR/hr로 측정되었고, 50 cm에서 3.692 mR/hr, 100 cm에서 0.913 mR/hr으로 측정되었다. 차폐체를 사용한 0.25 mm에서 측정된 결과는 30 cm(12.292 mR/hr), 50 cm(4.881 mR/hr), 100 cm에서 1.161 mR/hr으로 ¹⁸F 선원과 비슷하게 투과 선량 값이 역으로 증가하는 결과를 보였고, 0.50 mm부터 1.50 mm까지 거리를 30 cm에서 100 cm까지 멀리할수록 투과선량은 작게 측정되었다. 두께 증가에 따른 투과선량을 차폐체가 없을 때(0 mm)의 기준과 비교해보면 1.0 mm(30 cm거리) 두께를 사용할 때와 1.25 mm(모든 거리)와 1.50 mm(모든 거리) 두께일 때 투과선량 값이 증가하였다. 투과선량을 차폐율로 나타낸 결과는 0.25 mm에서 -25.67%(30 cm), -32.20%(50 cm), -27.16%(100 cm)로 가장 낮은 차폐율을 보였고, 1.25 mm에서 4.45%(30 cm), 3.46%(50 cm), 5.47%(100 cm)로 나타났고, 1.50 mm에서는 8.14%(30 cm), 7.04%(50 cm), 8.54%(100 cm)의 차폐율을 보였다 (Table 4).

Table 3. Transmission dose and shielding rate of ²⁰¹Tl

Thickness(mm)	Dose rate(mR/hr)			Shielding rate(%)		
	30 cm	50 cm	100 cm	30 cm	50 cm	100 cm
0	4.925	2.01	0.545	0	0	0
0.25	2.428	0.918	0.237	50.70	54.32	56.51
0.50	1.169	0.487	0.131	76.26	75.77	75.96
0.75	0.524	0.234	0.081	89.36	88.35	85.13
1.0	0.312	0.151	0.051	93.66	92.48	90.64
1.25	0.201	0.111	0.037	95.91	94.47	93.21
1.50	0.145	0.071	0.031	97.05	96.46	94.31

Table 4. Transmission dose and shielding rate of ¹³¹I

Thickness(mm)	Dose rate(mR/hr)			Shielding rate(%)		
	30 cm	50 cm	100 cm	30 cm	50 cm	100 cm
0	9.781	3.692	0.913	0	0	0
0.25	12.292	4.881	1.161	-25.67	-32.20	-27.16
0.50	11.587	4.427	1.081	-18.46	-19.91	-18.40
0.75	10.583	4.116	0.994	-8.20	-11.48	-8.872
1.0	9.746	3.786	0.925	0.35	-2.54	-1.31
1.25	9.345	3.564	0.863	4.45	3.46	5.47
1.50	8.984	3.432	0.835	8.14	7.04	8.54

Table 5. Transmission dose and shielding rate of ¹²³I

Thickness(mm)	Dose rate(mR/hr)			Shielding rate(%)		
	30 cm	50 cm	100 cm	30 cm	50 cm	100 cm
0	9.542	3.623	0.954	0	0	0
0.25	4.593	1.821	0.523	51.86	49.73	45.17
0.50	2.881	1.141	0.337	69.80	68.50	64.67
0.75	1.895	0.792	0.214	80.14	78.14	77.56
1.0	1.334	0.537	0.155	86.02	85.17	83.75
1.25	0.946	0.395	0.116	90.08	89.09	87.84
1.50	0.665	0.296	0.091	93.03	91.83	90.46

3.5 ¹²³I의 투과선량과 차폐율

¹²³I 선원을 이용해 차폐체가 없이(0 mm) 측정된 경우에는 9.542 mR/hr(30 cm), 3.623 mR/hr(50 cm), 0.954 mR/hr(100 cm)로 나타났고, 같은 두께에서 거리를 30 cm 부터 50 cm, 100 cm까지 멀리 할수록 측정된 투과 선량 값은 작게 측정되었다. 그리고 차폐체의 두께를 두껍게 할수록 투과 선량 값은 작아졌다. ¹²³I 선원의 차폐율 결과는 0.25 mm, 30 cm에서 51.86%로 50% 이상의 차폐율을 나타냈고, 1.25 mm에서 90.08%로 90% 이상의 차폐율을 보였다(Table 5).

4. 고 찰

방사선으로부터 개인의 피폭을 방지하는 방법으로 Apron을 많이 사용한다. 보통 Apron은 앞치마 형태로 만들거나 갑상선이나 복부 등의 특정부위를 보호하기 위해 여러 가지 형태로 만들어진다. 이것은 가공성이 우수한 납을 주 재료로 하여 만든 것으로 보통 동일조건 하에서 그 물질이 나타내는 선량율의 감쇄와 동등한 감쇄를 나타내는 납 두께를 납 당량이라고 하고 단위는 mmPb를 사용한다[9,11]. 진단용 엑스선에 대한 Apron의 납 당량은 보통 0.25 mmPb이나 0.50 mmPb를 사용하고 있지만 핵의학에 사용되는 Apron은 0.50 mmPb 이상을 사용하기 때문에 무게에 의한 피로감으로 사용자의 불편함이 많이 보고되고 있다[12-13]. 그로인해 무게를 줄이고 차폐효과를 높이기 위한 재료로 텅스텐을 이용한 제품들이 출시되고 있다[14-15]. 하지만 대부분 엑스선 방어용품류의 납 당량 시험 방법 규정에 의거해 만든 규격이다[9]. 따라서 본 연구는 텅스텐 차폐체를 이용해 엑스선이 아닌 감마선에 투과시켰을 때의 투과선량과 차폐율을 알아보고자 하였다. 여러 가지 방사성동위원소에 따른 차폐율을 보다 쉽게 설명하기 위해 같은 거리 50 cm에 대해 차폐율을 비교하여 나타냈다(Fig. 4).

방사성동위원소 중에서 가장 차폐율이 높은 것은 ²⁰¹Tl 선원으로 0.25 mm에서 54.32%이었고, 1.0 mm에서 92.48%로 90% 이상의 차폐율을 나타냈다. ¹²³I 선원은 0.25 mm에서 49.73%이었고, 1.25 mm에서 89.09%로 나타나 90% 이상의 차폐율을 보이려면 1.50 mm(91.83%) 정도의 두께가 필요한 것으로 확인되었다. ²⁰¹Tl과 ¹²³I에 관한 선행연구는 없었기 때문에 비교는 못했지만 다른 동위원소들 보다 텅스텐에 대해 우수한 차폐효과가 있음

을 확인하였다. 핵의학에서 가장 많이 사용하는 ^{99m}Tc 선원은 선행연구[13,16]와 비슷한 결과를 나타냈는데 0.5 mm에서의 차폐율은 47.61%, 1.25 mm에서의 차폐율은 89.52%로 두께가 두꺼워질수록 차폐율이 증가되는 그래프를 보였다. 하지만 ¹⁸F 선원은 0.25 mm에서 -9.45%로 감소한 뒤 0.50 mm에서 5.69%로 비로소 차폐효과가 나타나기 시작하였다. 이는 Na[17]의 연구와 비슷한 결과를 보였고, Park[10]의 결과와 반대로 나타났다. 이것은 ¹⁸F 선원의 양전자 방출과 측정방법의 차이 때문인 것으로 생각된다. ¹³¹I 선원은 364 keV 감마선과 606 keV의 베타선을 방출하는 핵종이다[18]. 따라서 베타선을 차폐하기 위해서는 1차 차폐체로 원자번호가 낮은 물질을 이용해 제동복사선을 줄인 후 2차 차폐체로 원자번호가 높은 물질을 사용해야 한다. 하지만 실험에 사용된 텅스텐 차폐체는 베타선을 고려하지 못하여 신뢰도가 떨어졌다. 따라서 앞으로 연구에서는 고에너지 베타선도 고려한 실험이 필요할 것으로 보이며, 결과에 나타났듯이 방사선 차폐에 효율이 높은 텅스텐일지라도 어떤 선원이 투과되느냐에 따라 차폐효율이 달라지는 것을 확인하였다. 따라서 선원의 특성을 고려한 차폐가 수행될 수 있도록 해야 할 것이다. 또한 방향 의존성이 높은 Inspector가 아닌 팡 자극 발광선량계(OSLD) 등의 검출기를 이용한 연구와 다른 물질의 차폐체와의 비교 연구도 필요할 것으로 사료된다.

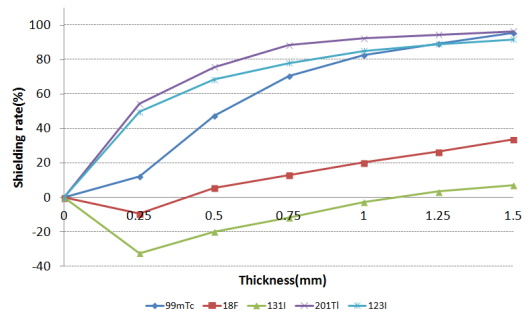


Fig. 4. Shielding rate of distance 50 cm

5. 결 론

핵의학 검사에 사용되는 방사성동위원소들은 방출되는 방사선의 종류와 에너지가 다르다. 본 연구는 여러 종류의 방사성동위원소를 텅스텐 차폐체에 투과하여 차폐율을 확인하였다. 그 결과 차폐율이 가장 우수한 선원은

^{201}Tl 이었고, ^{123}I 와 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 선원도 차폐효과가 우수한 것을 확인하였다. 하지만 ^{131}I 선원과 ^{18}F 선원의 차폐효과는 미미한 것으로 나타났다. 따라서 추후 핵의학 검사 시 텅스텐 차폐체로 제작된 보호 납치마를 사용할 경우에는 방사성동위원소의 종류와 차폐효과를 고려하여 사용할 길 권장하고 방사선 피폭 저 감화 방안에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

References

[1] S. O. Park. et al, Nuclear Medicine Science, Daihak seorim Publishers, 2014.

[2] ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103, 2007.

[3] T. J. Choi, T. K. Oh, J. H. Kim, O. B. Kim, "Development of Lead Free Shielding Material for Diagnostic Radiation Beams", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol.21, No.2, pp.232-237, 2010.

[4] N. Z. N. Azman, S. A. Siddiqui, M. Ionescu, I. M. Low, "Synthesis and Characterisation of ion-implanted epoxy composites for X-ray shielding", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Vol.287, pp.120-123, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2012.06.004>

[5] Z. Neeman, S. A. Dromi, S. Sarin, J. B. Wood, "CT Fluoroscopy Shielding: Decreases in Scattered Radiation for the Patient and Operator", *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, Vol.17, No.12, pp.1999-2004, 2001. DOI: <https://dx.doi.org/10.1097/01.RVI.0000244847.63204.5F>

[6] H. R. Lee, Preparation and Charaterization of X-ray Shielding Materials by Tungsten-Silicon Composites, Keimyung University, 2014.

[7] M. Bastian, D. Morales, R. Poli, P. Richard, H. Sitzmann, "Synthesis of new half sandwich tetrachloro derivatives of molybdenum(V) and tungsten(V). X-ray structures of $(\text{C}_5\text{HPr}_4)\text{W}(\text{CO})_3(\text{CH}_3)$ and $(\text{C}_5\text{Et}_5)\text{WCl}_4$ ", *Journal of Organometallic Chemistry*, Vol.654, No.1-2, pp.109-116, 2002. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/S0022-328X\(02\)01392-X](https://dx.doi.org/10.1016/S0022-328X(02)01392-X)

[8] J. S. Lee, An Effect of Radiation Shielding Board of Eyeball and Thyroid at the time of Chest and Abdomen CT Scan, Kyungpook National University, 2012.

[9] Ministry of Food and Drug Safety, Some Revision Notice of Electronic Medical Device Standard Specification, MFDS Notice, No 2011-8. 2011.

[10] M. H. Park, D. M. Kwon, "Measurement of Apron Shielding Rate for X-ray and Gamma-ray", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol.30, No.3, pp.245-250, 2007.

[11] Y. G. Kim, Y. I. Jang, J. M. Kim, "Improvement of the Shieldability and Lightweight of a Radiation Protective Apron", *Korean Society of Radiological Technology*, Vol.26, No.1, pp.45-49, 2003.

[12] J. Y. Yoo, J. W. Gu, "Musculoskeletal Symptoms and Related Factors for Nurses and Radiological Technologists Wearing a Lead Apron for Radiation Protection", *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, Vol.16, No.2, pp.166-177, 2004.

[13] W. H. Lee, S. M. Ahn, "Evaluation of Reductive Effect of Exposure Dose by Using Air Gap Apron in Nuclear Medicine Related Work Environment", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol.14, No.12, pp.845-853, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2014.14.12.845>

[14] D. W. Lee, Rubber Composition for Radiation Shield with Lead-Free and Sheet for Radiation Shield using the Same, <http://link.kipris.or.kr/link/AJAX/CTOTAL.jsp>. Korea Intellectual Property Office. 2016.

[15] C. S. Sin, S. D. Sin, Radiation Shield Sheet, <http://kpat.kipris.or.kr/kpat/biblioa.do?method=biblioFrame>. Korea Intellectual Property Office. 2011.

[16] T. J. Choi, T. K. Oh, J. H. Kim, O. B. Kim, "Development of Lead Free Shielding Material for Diagnostic Radiation Beams", *Medical Physics*, Vol.21, No.2, pp.232-237, 2010.

[17] S. K. Na, B. S. Park, Y. G. Kang, "Study of Occupational exposure in PET/CT", *Journal of Digital Convergence*, Vol.10, No.11, pp.449-457, 2012

[18] Korea Radioisotope Association, The Theory and Practice of Radiation, pp.72-79, 2008.

한 상 현(Hyun-Sang Han)

[정회원]



- 2002년 3월 ~ 2011년 3월 : 건양대학교병원 핵의학과
- 2008년 2월 : 건양대학교 보건학과 (보건학석사)
- 2017년 2월 : 충북대학교 의용생체공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 2018년 2월 : 서남대학교 방사선학과 교수

<관심분야>

핵의학, 의용생체공학

구 본 열(Bon-Yeoul Koo)

[정회원]



- 2010년 2월 : 충남대학교 보건학과 (보건학석사)
- 2017년 2월 : 충남대학교 보건학과 (박사수료)
- 2006년 5월 ~ 현재 : 영동병원 영상의학과 팀장

<관심분야>

방사선학, 초음파, 보건학