▸원 저◂

ISSN 1226-2854

친환경 소재의 의료 방사선 차폐 시트 개발; II: 바륨, 토르말린의 실리콘 폴리머 차폐 시트의 성능 평가

— Development of Radiation Shielding Sheet with Environmentally-Friendly Materials; II: Evaluation of Barum, Tourmaline, Silicon Polymers in the Radiation Shielding Sheet —

대구보건대학 방사선과

김선칠 · 박명환

— 국문초록 —

의료방사선 차폐체로 납과 같은 차폐효과를 가지는 동시에, 납과 동일한 경제성과 가공성을 지니고 있어 의료방사선 방어복인 에이프런(Apron)을 제작할 수 있는 납 대체물질을 시트형태로 개발하고자 연구하였다. 이는 의료 환경에 친환경 방사선 차폐시트로 제작하여 1차 실험과 동일한 조건에서 황산바륨의 충전률을 높이고 제작 시트의 유연성을 확보하기 위해 토르말린(Tourmaline)을 실리콘 폴리머에 첨가하여 차폐율과 시트의 가공성을 높이고자 하였다. 실험결과 저에너지에서는 5 mm에서 고에너지에서는 7 mm에서 실용적인 차폐효과가 있었으며, 황산바륨만을 충전했을 때보다는 제작시트의 유연성과 충전률이 다소 높은 결과를 얻을 수 있었으나, 독립적인 방사선 차폐효과의 토르말린 효과는 크지 않아 차폐율의 큰 변화는 기대할 수 없었다. 다만, 향후 차폐 시트 제작의 혼합과정의 재현성과 황산바륨의 혼합과 분산과정의 충전율과 공극률을 정량적으로 평가할 수 있는 연구가 지속되어야 할 것으로 사료된다.

중심 단어: 방사선 차폐시트, 에이프론, 바륨, 토르말린, 납

Ⅰ. 서 론

의료에 있어서 방사선 이용은 환자와 작업자의 위해를 최소화하면서 검사의 적정성을 확보하는 일이다.[1] 최근 의료서비스의 향상과 함께 방사선 방어에도 많은 관심을 받고 있다. 하지만, 현재까지 사용하고 있고 방사선 차폐 물질은 납으로 일반화되어 있다. 납은 중금속 물질로 그 유해성이 많이 알려져 있으며, 전자제품에 사용되는 땜용 납도 유해성으로 인해 구리나, 아연 등의 대체물질로 사용되고 있는 실정이다[2-3].

영상의학과의 의료방사선 차폐 물질로 납 이외 물질의 제품이 개발되고 있으며, 이를 규제하는 국가도 있으나, 아직 경제성 측면에서 매우 고가의 제품으로 일반화되기까지는 많은 연구가 필요하다[4-7].

본 연구에서는 납과 같은 차폐효과를 가지며, 동일한 경제성과 가공성을 지니고 있어 일반적인 의료방사선 방어복인 에이프런(Apron)을 제작할 수 있는 대체물질을 시트형태로 개발하여 의료 환경에 친환경 방사선 차폐시트로 사용하려고 한다.

친환경 방사선 차폐 물질로 가장 경제성이 있는 물질은 영상의학과에서 연부조직 간의 밀도차를 이용해 체내 장기를 검사할 때 사용되는 황산바륨($BaSO_4$)이다. 이 물

*접수일(2011년 3월 30일), 1차 심사일(2011년 5월 12일), 2차 심사일(2011년 5월 30일), 확정일(2011년 6월 13일)

교신저자 : 김선칠, (702-722) 대구광역시 북구 태전동 산 7번지
대구보건대학 방사선과
TEL : 053-320-1458, FAX : 053-320-1449
E-mail : sckim@dhc.ac.kr

질은 인체에 무해한 물질로 알려져 있으나, 밀도가 4.5 g/cm^{3}로 매우 클 뿐 아니라, 타 물질과 혼화성(Miscibility)이 나쁜 단점이 있어 방사선 차폐섬유 또는 시트로 개발하는데 한계를 가지고 있다. 1차 실험 결과에서 완전히 극복하지 못한 혼합 공정과정의 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 토르말린(Tourmaline)과 실리콘 폴리머를 이용하였다. 토르말린은 광물 중 유일하게 전기적 특성을 지니고 있고 일반 X선 영상에서 흡수량이 매우 높게 표현되며, 바륨과 혼합 시 광물로서 입자 제어가 밀링과정에서 가능하다고 예측하여 차폐시트를 제작하는데 혼화성을 높이고자 사용하여 의료방사선 차폐 시트를 제작하였으며, 실험을 통해 그 성능을 증명하고자 하였다.

Ⅱ. 실험 기기 및 방법

1. 실험기기 및 재료

1) 진단용 X-선발생장치; DK-525, 125 kV-500 mA, Toshiba E7239X
2) Exposure and Exposure rate meter(192X, Capintec)
3) Ion Chamber(Model PM-30, PR-18)
4) 반가층 측정용 Al 흡수체 300 mm×300 mm×10 mm 10개
5) 부가필터 0.1 mmCu 2개
6) 실험용 제작 차폐시트 샘플 800 mm×800 mm×1 mm 10개

2. 의료방사선 차폐 시트 제작과정

본 연구의 대상으로 납을 대체할 의료방사선 차폐시트의 제작과정은 5단계를 거쳐 제작되었으며, 각각의 과정은 1차 실험에서의 문제점을 파악하여[5] 혼합과 교합과정의 완성도를 높이는데 중점을 두었다.

1) 소련과정; 황산바륨의 분말화 과정으로 Milling roller간격을 0.1 mm로 하여 120분간 실시함으로 방사선 차폐의 주도적인 역할을 수행하는 바륨 입자를 조절할 수 있다. 바륨의 특성상 너무 작은 입자는 고유의 성질을 상실하기 때문에 가장 적정한 크기는 3 ㎛ 정도이다.

2) 혼합과정; 혼합과정에는 토르말린 혼합과정, 황산바륨 혼합과정, 촉진제, 경화제 혼합과정이 있다. 실리콘 폴리머에 분말화된 황산바륨을 혼합하는 과정으로 Mixing roller에 50℃를 유지하면서 일정한 간격으로 혼합, 균일하게 하는 작업이다. 기존의 연구에서는 혼합과정에서 바륨의 불균형 분포가 발생하여 전체 차폐율을 저감시키는 원인이 되었으나[5], 이번 연구과정에서는 토르말린을 혼합과정에 배합하여 좀 더 혼합이 우수한 상태를 유지하도록 하였다. 이는 바륨의 충전률과도 직접적인 관계가 있다. 실리콘 폴리머 100 g에 기존에는 황산바륨 200~250 g이었으며, 용량을 높이면 유연성의 결여로 잘 갈라지는 단점이 있었으나, 이번 혼합과정에서 토로말린 분말 100 g를 추가하면 황산바륨 280 g에서 최대 350 g까지 충전시킬 수 있다. 따라서 토르말린 분말은 실리콘과의 적합성을 우수하게 유지시키며, 바륨이 잘 분산되도록 도와주는 역할도 동시에 수행하는 것으로 나타났고 온도와 상관관계가 있어[8,9] 아래와 같은 공식에 의해 공극률은 20~30% 미만으로 충전률은 250~300 중량%을 기준으로 작업하였다. 본 공정에서의 재현성은 제작 상 매우 어려운 과정이어서 공정의 범위를 두었으며, 시트의 유연성은 규정[10]에 의한 인장강도(최소 6 MPa 이상)를 맞추기 위해 실리콘 폴리머의 중량대비 토르말린의 함유와 황산바륨의 함유량을 계산하여 충전하였다. 이외에도 실리콘 경화촉진제등을 사용하여 혼합과정을 수행한다.

공극률(Porosity); $PV=V_{air}/V=(VD_mD_p-W_mD_p-W_pD_m)/VD_mD_p$

충전률 (Particle packing); $PP=V_p/V_f=(W_m/V)/D_m$

V: Volume of shielding sheet
V_p: Volume of shielding materials
V_f: Volume of shielding floor
V_{air}: Air volume of shielding sheet
D_m: Density of shielding materials
D_p: Density of Polymer
W_p: Weight of Polymer
W_m: Weight of shielding materials

Fig. 1. Shielding material mixing process

3) 형성과정; 의료방사선 차폐시트로 사용하기 위해 일정한 크기로 형성하는 단계로 시트의 두께 조절이 가장 중요하며, 이를 위해 1차 차폐 실험 결과를 준수하여 제작시트의 크기를 기준으로 두께와 크기를 결정하였다.

Fig. 2. Shielding material formation process

4) 숙성과정; 형상된 방사선 차폐시트의 혼합물 결정구조의 안정화를 위해 일정온도에서 24시간 숙성을 가하는 단계로 이 과정을 수행한 구조물과 수행하지 않은 구조물의 XRD(X-ray Diffraction)의 차이가 있는 것으로 보고되고 있다. 이는 입자간의 공극률과 기포제거 기술에도 영향을 받는 것으로 나타났다[11-13].

Fig. 3. Shielding Material aging

5) 성형과정; 마지막 단계로 일정의 재단과정이 끝나면 250 ton의 1~2기압의 진공 성형과정을 위해 유압프레스의 일정온도로 약 300초간 압착과정을 진행하는데 경화과정이 완성되면 방사선 차폐시트로 완성된다.

이러한 일련의 과정으로 제작된 시트를 통해 본 연구의 실험물로 완성된다.

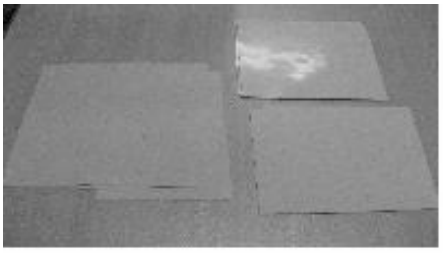

Fig. 4. Radiation shielding sheet

3. 실험 방법

본 연구에서의 실험방법은 한국산업표준에 X선 방호용 품류의 납당량 시험방법(KS A 4025: 1990, 2005년 확인)과 동일한 실험방법을 준수하여 적용하였다[14]. 그리고 친환경 소재로 제작된 차폐 시트의 차폐성능을 알아보기 위하여 진단용 X선 발생장치의 실효에너지(Effective Energy) 측정하여 이용하였다.

X선의 실효에너지를 측정하기 위한 기하학적 조건을 Fig. 5.와 같이 배치하고 관전류 200 mA, 조사시간 0.1 sec, 고유여과는 X선관 0.7 mmAl, 콜리메이터 1.5 mmAl로 총여과 2.2 mmAl으로 고정하고, 관전압은 임상에서 주로 많이 사용하는 범위내에서 관전압 60 kVp(부가여과판 없음), 100 kVp(부가여과판 0.2 mmCu 추가)에서 각각 반가층 측정용 Al 흡수체의 두께를 변화시키면서 검·교정한 전리조를 이용하여 조사선량을 측정한 후 반가층을 구하였다. 이때 전리조 선량계의 정확한 조사선량 측정을 위한 온도, 기압에 대한 보정계수(Compensation Factor)는 실습실 온도 22℃, 1기압 상태에서 1.0을 확인하였다. 또한 보다 더 정확한 차폐능 측정을 위해 X선발생장치의 관전압과 조사시간의 정확도 및 X선의 출력의 재현성과 직선성이 양호한 것을 확인한 후 실험하였다.

반가층 측정은 감약지수법칙($I = I_0 e^{-\mu x}$)에서 양변의 $\log_e$를 취하여 $y = -ax$의 그래프로부터 기울기를 산출하여 이 기울기로부터 선흡수계수 μ값을 얻은 후 반가층 $=0.693/\mu$으로부터 계산할 수 있었다. 실효에너지 계산[15]은 앞에서 구한 반가층으로부터 단일에너지에 해당되는 반가층과 같은 반가층을 갖는 실효에너지를 산출하기 위하여 Hubbell의 질량흡수계수표[16]를 이용하였다. 직접 개발한 의료방사선 차폐시트의 성능검사를 위한 실험방법은 Fig. 6.와 같이 기하하적 조건을 설정하였으며, 차폐 시트의 차폐율 계산은 $(1-W/W_0)\times 100$으로 하였다. 이때 W는 X선빔과 검출기 사이에 차폐시트가 있을 경우에 측정

한 조사선량이며, W_0는 X선빔과 검출기 사이에 차폐시트가 없을 경우에 측정한 조사선량 값으로 산정하였다.

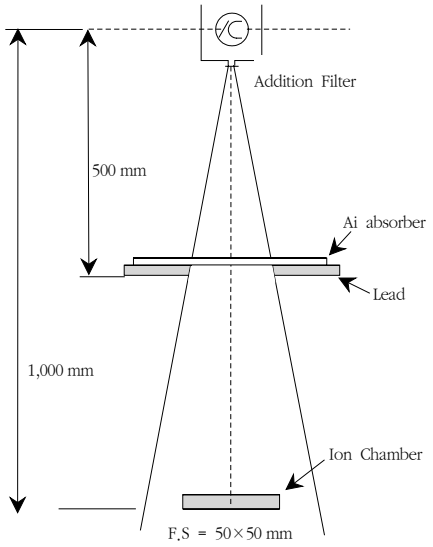

Fig. 5. Measuring arrangement for half value layer

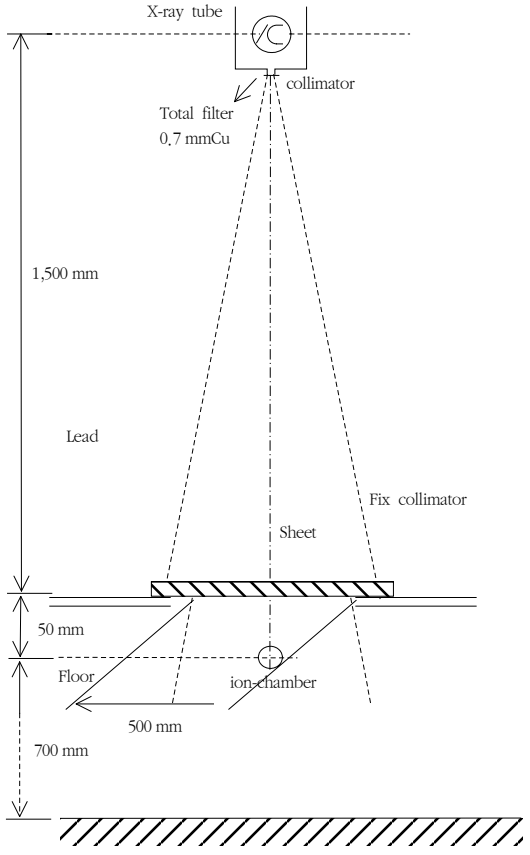

Fig. 6. Measuring arrangement for Radiation Shielding Sheet

Ⅲ. 실험 결과

1. 실효에너지 측정

직접 개발한 방사선 차폐 시트의 차폐율 측정에 이용한 X선의 선질에 있어서 실효에너지는 Table 1과 같다. 관전압 60 kVp에 부가여과판 없는 경우에는 선흡수계수가 0.2899/mm, 반가층 2.39 mmAl으로 측정되어 이를 Hubbell의 질량흡수계수표로부터 실효에너지 30.51 keV을 얻을 수 있었다. 그리고 관전압 100 kVp에 부가여과판 0.2 mmCu를 추가한 경우는 선흡수계수가 0.1198/mm, 반가층이 5.78 mmAl으로 측정되어 이때 실효에너지는 45.14 keV임을 알 수 있었다. 따라서 관전압이 증가하고 부가여과판이 두꺼울수록 선질에 영향을 주어 실효에너지가 증가함을 알 수 있었으며, 또한 정확한 선질을 이용한 차폐 시트의 차폐능을 구할 수 있었다.

Table 1. Comparision of effective energy to tube voltage

Tube Voltage (kVp)	Inh. filter (mmAl)	Add. filter (mmCu)	Abs. coe.(μ) (mm-1)	Half value (mmAl)	Eff. energy (keV)
60	0.7	-	0.2899	2.39	30.51
100	0.7	0.2	0.1198	5.78	45.14

2. 방사선 차폐 시트의 차폐율

본 연구를 위해 제작된 시트는 1 mm 두께의 시트 8장이며, 혼합과정에서 최적의 공극률을 제시하고자 실험 제작 된 시트는 모두 5종이었다. 그 중 공극률이 초기에 제시되었던 20~30% 안에 있는 시트인 a를 실험 대상 시트로 선택하였으며, 이와 관련된 제작 시트의 결과는 Table 2와 같다. 토르말린의 충전률이 높을수록 바륨의 함유량이 높았으며, 밀도와 인장강도에도 영향을 주며, 이는 촉감과 유연성에도 좋은 결과를 가지고 있었다.

Table 2. The general characteristics of the sheet production

Sheet	*Tourmaline particle packing[%]	Density [g/cm^3]	Tensile Strength [kg/cm^2]	Porosity [%]
a	30	2.78	120	22
b	15	2.06	74	12
c	23	2.28	90	18
d	28	2.36	94	19
e	12	1.98	74	10

* 실리콘 폴리머를 100으로 기준하였을 때 황산바륨을 300으로 하고 이때 토르말린의 충전률을 계산하였음

Table 3. Result of the radiation shielding sheet tests [60 kVp]

Thickness (mm)	Exposure(mR)										mean	Shield ratio(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
-	6.31	6.32	6.33	6.32	6.30	6.31	6.33	6.31	6.30	6.31	6.31	-
1.00	3.61	3.62	3.62	3.62	3.62	3.61	3.58	3.58	3.58	3.58	3.60	42.9
2.00	2.21	2.19	2.19	2.20	2.20	2.20	2.21	2.22	2.21	2.19	2.20	65.1
3.00	1.30	1.30	1.30	1.29	1.31	1.31	1.32	1.30	1.31	1.30	1.30	79.4
4.00	0.71	0.72	0.71	0.72	0.71	0.72	0.72	0.72	0.71	0.72	0.72	88.6
5.00	0.42	0.41	0.42	0.43	0.41	0.40	0.41	0.40	0.39	0.41	0.41	93.5
6.00	0.20	0.20	0.21	0.20	0.20	0.20	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	96.8
7.00	0.10	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.01	0.01	0.01	0.07	98.9
8.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	100

Table 4. Result of the radiation shielding sheet tests [100 kVp]

Thickness (mm)	Exposure(mR)										mean	Shield ratio(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
-	5.50	5.49	5.48	5.48	5.49	5.49	5.49	5.50	5.50	5.50	5.49	-
1.00	4.39	4.40	4.40	4.40	4.40	4.41	4.41	4.41	4.39	4.39	4.40	19.9
2.00	2.90	2.89	2.89	2.89	2.90	2.90	2.90	2.89	2.89	2.89	2.89	47.6
3.00	2.09	2.09	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.09	2.09	2.09	2.10	61.7
4.00	1.52	1.53	1.53	1.54	1.54	1.54	1.55	1.56	1.57	1.54	1.54	72.0
5.00	1.09	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.10	80.0
6.00	0.75	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.75	0.75	0.75	0.75	0.76	86.2
7.00	0.50	0.50	0.51	0.51	0.50	0.49	0.49	0.49	0.50	0.51	0.50	91.0
8.00	0.30	0.31	0.30	0.31	0.30	0.30	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	95.0

본 실험은 의료 방사선의 선질 및 선량 범위 내를 기준으로 실험하였고, 시트의 두께는 1 mm 단위로 8개이며, 크기는 가로 800 mm, 세로 800 mm를 기준으로 하여 제품화를 목적으로 시트를 겹쳐서 실험하는 방법을 선택하였다. 이외의 모든 방사선 실험 조건은 동일하게 하여 차폐능을 평가하였다.

첫 번째는 관전류 200 mA, 조사시간 0.1 sec, 고유필터 0.7 mmAl에서 관전압 60 kVp, 부가여과판이 없는 경우에 실효에너지 30.51 keV의 조건에서 차폐율이 Table 3와 같은 결과를 얻었다.

차폐 시트가 없을 경우의 W_0는 평균 6.31 mR로 측정되었으며, 에이프런에서 사용되는 납과 고무형태의 시트에서는 1 mm로 5장을 사용하고 있으며, 본 실험에서도 100% 차폐가 되는 두께가 나올 때까지 실험을 하였다. 그 결과 60 kVp에서는 5 mm부터 90% 이상의 차폐효과가 나타났다. 이는 바륨입자를 고르게 분산시키는 제작공정과 밀접한 관계가 있을 것으로 추정하고 있다. 이는 제작과정의 공극률을 최소화는 과정이 필요하다. 두 번째는 관전압 100 kVp, 부가여과판 0.2 mmCu가 있는 경우에 실효에너지 45.14 keV의 조건에서 차폐 시트에 대한 차폐율은 Table 4과 같이 나타났다. 차폐 시트가 없을 경우의 W_0는 평균 5.49 mR로 측정되었으며, 8 mm에서 95%의 차폐율을 나타내었다.

Ⅳ. 결론 및 고찰

현재 의료 환경에서 사용되는 방사선 차폐제의 주성분은 납이며, 이를 대체할 제품으로는 고가의 물질은 텅스텐(Tungsten), 비스무트(Bismuth) 등 희토류계 산화물 분말이 사용되고 있으며, 이는 납의 유해성과 경제성을 고려하여 에이프런으로 제작되고 있다. 그러나 현재의 납

성분의 에이프런보다는 5배 정도의 생산 가격을 가지고 있으며 대량생산과 보급은 아직도 어려운 현실이다. 본 실험에서는 현재 수입되는 외국제품보다 70% 이상 저렴한 바륨과 토르말린, 실리콘 폴리머의 합성체를 이용하여 의료 방사선 차폐시트를 제작하였으며, 이는 동일한 차폐효과 시 유해성을 줄이고 경제성을 높이는데 목적을 두고 실험하였다. 제작된 시트는 관전압 60 kVp에서는 5 mm부터 90% 이상의 차폐효과와 관전압 100 kVp, 8 mm에서 95%의 차폐율을 나타내었다. 차폐시트 제작에 있어서 바륨의 충전률을 높여 차폐율을 높이고자 제작공정을 여러 단계로 나누어 시행하였고, 이 과정에 토르말린을 실리콘 폴리머에 함유하였다. 이는 실험과정과 결과와 같이 바륨의 공극률을 줄이고 차폐 시트의 유연성을 유지할 수 있는 범위 내에서 충전하였으며, 1차 실험 때 보다 더 좋은 차폐율과 두께를 낮출 수 있었다. 따라서 실리콘 폴리머 혼합체인 차폐시트는 이러한 점에서 매우 효과적이고 두께를 줄임으로써 경량화라는 문제의 접근도 가능하다는 여지를 남겼다. 다만, 제작과정에서 바륨의 혼합체에 있어서 공극률을 줄이는 과정의 문제점도 동시에 안고 있다. 이는 향후 공극률을 정량적으로 평가하는 방법으로 혼합과정 조절요소의 상관관계에 대한 연구가 지속적으로 필요하다. 아직 상품화 단계까지 만족한 결과를 도출하지 못했지만, 1차 실험에서 바륨을 이용한 친환경 차폐시트 실험결과 실리콘 재질이 가장 우수한 결과를 도출하였고, 그 실험을 토대로 2차 실험에서는 바륨과 실리콘을 잘 조합 할 수 있는 토르말린의 새로운 물질을 조합하여 혼합과 교반과정을 수행하였다. 1차 실험 때 보다 차폐율을 유지하면서 두께를 더욱 얇게 하여 제품의 대량생산 즉, 가공성은 만족하였으나 차폐율의 결과에는 큰 영향을 주지 못한 것으로 1차 실험 결과와 비교하여 나타났다. 향후 제작과정에서 차폐시트의 공극률 조절에 대한 연구가 진행된다면 좀 더 좋은 결과를 기대할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 임봉식: 한국에서 방사선 관련 종사자들의 개인피폭선량 실태에 관한 연구, 대한방사선기술학회지, 29(3), 185-195, 2006
2. 송태희: 환경오염성 중금속 중 납(Lead)의 인체영향에 관한 고찰, 소비자생활연구, 12, 1993
3. 대한산업안전협회: 납 중독에 대한 안전 대책, KISA, 보건-05, 1995
4. 김영근, 장영일, 김정민: 방사선 방호용 에이프런의 경량화와 차폐능 개선, 대한방사선기술학회지, 26(1), 45-50, 2003
5. 김선칠, 박명환: 친환경 소재의 의료방사선 차폐시트 개발; Ⅰ: 섬유, 고무, 실리콘 소재 차폐시트의 성능 비교평가, 대한방사선기술학회지, 33(2), 121-126, 2010
6. J.P. McCaffrey, H, Shen, B. Downton, E. Mainegra: Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments, American Association of Physicists in Medicine, 33(2), 2007
7. W. Stam, M. Pillay: Inspection of Lead Aprons; A Practical Rejection Model, Operational Radiation Safety, 95(2), 2008
8. 추창오, 김영규: Chemical Characteriztion of Oscillatory Zoned Tourmaline from Diaspore Nodule, an Aluminum-rich Clay Deposit, Milyang, South Korea, 한국광물학지, 18(3), 227-236, 2005
9. Numan Salah, Sami S Habib, Zishan H Khan, S P Lochab: Nanoparticles $BaSO_4$; Eu as detectors for high doses of different ionizing radiations, Radiation Protection, 12(2), 2008
10. KS규격: 진료용 X선 방호 앞치마, KS P 6023: 2007
11. 조현춘, 최진석, 고철기, 백수현: 단결정 실리콘 기판에 이온주입된 불순물이 $TaSi_2$ 형성에 미치는 영향, 한국재료학회지, 1(1), 1991
12. 일본국특허청 공개특허공보: 방사선차폐재, 특개평 11-133184, 1999
13. 일본국특허청 공개특허공보: 방사선차폐재의 제조공정, 특개2007-85865, 2007
14. KS규격: X선 방호용품류의 납당량 시험방법, KS A 4025, 2005
15. 강희동 외: TLD 방사선 센서 및 판독장치의 개발, 센서기술연구센터, 47-48. 1992
16. Hubbell, J. H.: Photon Mass Attenuation and Energy absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV, Int. Appl. Radiat. Isot., 33, 1269-1290, 1982

• Abstract

Development of Radiation Shielding Sheet with Environmentally-Friendly Materials; II: Evaluation of Barum, Tourmaline, Silicon Polymers in the Radiation Shielding Sheet

We developed an alternative radiation shielding material which is economical and has high protection efficiency. We validated the material in the form of sheet to make an apron. We increased the rate of barium and mixed tourmaline into silicon to improve the flexibility and protection rate of the sheet. The results showed that the shielding effect at low radiation energy is good enough with both 5 mm and 7 mm thickness. In the future, we will perform a quantitative evaluation of the reproducibility, volumetric efficiency, and porosity in mixing the ingredients.

Key Words : Radiation shielding sheet, Apron, Barium, Tourmaline, Lead

Seon-Chil Kim · Myeong-Hwan Park

Department of Radiologic Technology, Daegu Health College