

의료영상용 방사선방호를 위한 무납차폐체 개발

계명대학교 의과대학 *의공학교실, †방사선종양학교실

최태진* · 오영기† · 김진희† · 김옥배†

본 연구에서는 의학영상장치의 방사선에너지스펙트럼과 중원자번호 물질의 방사선흡수특성을 이용하여 경량 재질의 무납차폐체를 개발하였다. 개발된 차폐체는 중량비율로 주석 34.1%, 안티몬 33.8%, 요오드 26.8%와 Polyisoprene 5.3%를 혼합하여 가로×세로×두께 200×200×1.5 (mm³)로 제작되었으며 밀도는 3.2 g/cm³이다. 무납차폐체의 무게는 표준납차폐체 무게의 84%로 연당량 0.42 mm에 해당되며, 제작된 무납차폐체는 일차선과 산란선에 대해 표준납차폐체(연당량 0.5 mm 두께)의 투과율과 비교하였다. 일차선 에너지는 50 kVp에서 20 kVp씩 증가하여 110 kVp까지 조사 되었으며, 표준납 차폐체의 투과율은 0.1%, 0.9%, 3.2%, 4.8%였고, 무납차폐체는 각각 0.3%, 0.6%, 2.0%, 4.2%를 보였으며, 오차는 ±0.1%이었다. 표준납차폐체와 동등한 연당량의 무납차폐체의 투과율은 각각 0.1%, 0.3%, 1.0%와 2.4%로 저에너지에서는 납과 동일한 감쇠를 나타내었으나 높은 에너지영역에서는 납의 30~50%의 투과율로 측정되어 차폐효과가 뛰어나함을 알 수 있었다. 인체팬텀의 측방산란선에 대한 비교결과는 표준납차폐체가 2.4%, 2.5%, 4.2%, 5.1%를 보였고, 무납차폐체는 각각 2.4%, 3.3%, 4.6%와 5.9%이며 각 오차는 ±0.2%였다. 혼합성분의 무납차폐체의 연당량을 표준납차폐체까지 올리는 경우 낮은에너지에서 뿐만 아니라 높은 에너지 영역에서 납에 비해 월등히 감쇠효과가 있음을 주장하며, 방사선구역의 특성에 따라 경량의 차폐체를 이용함으로써 방사선피폭을 효과적으로 차폐할 수 있을 것이다.

중심단어: 방사선 방호, 무납차폐체, X-선 스펙트럼, 에이프런

서 론

방사선 투사에 의한 영상의학은 영상신호검출기의 디지털화와 영상처리기술의 발달 및 영상전송시스템(PACS, Picture architecture computer system)의 확장으로 질병진단의 중추적 역할을 함으로써 날로 기술이 늘어나고 있고, 혈관영상(Angiography)의 삽관술은 카테타 삽입과 시간적 기능변화를 관찰하는 침습적 기술로 환자와 접근한 상태에서 이루어지는 시간이 많아 방사선종사자와 시술자에게 방사선피폭 기회가 많아지게 되므로 방호에 대한 관심이 높아지고 있다.

영상의학의 방사선에너지 영역은 대개 40 kVp에서 150

kVp 사이에 있으며, 피폭되는 방사선은 주로 엑스선관의 콜리메터를 통해 나오는 일차선이나 엑스선관의 누출선량과 피검체와 검사대 등 주변기기에서 방출되는 산란선으로 구분할 수 있다.

따라서 방사선차폐체는 방사선장의 선원에너지와 환경에 따라 일차선을 차폐할 것인지 산란선을 차폐할 것인지에 대한 차폐목적에 맞추어 차폐체의 재질을 달리할 수 있다. 선원의 에너지가 높은 경우 콜리메터는 텅스텐과 우라늄계열의 재질을 혼합한 재질을 이용하고 있으며, 납과 텅스텐을 혼합체로 제작할 수도 있다. 진단영역의 방사선 차폐는 대체로 연당량 0.25~1.0 mm로 나타내며, 연당량 0.5 mm의 차폐복은 약 4.95 kg의 무게를 가지며, 감쇠는 50 kVp에서 99.9%, 75 kVp에서는 88%, 100 kVp에서는 75% 정도 차폐되는 것으로 알려져 있다.¹⁾

본 연구는 각 물질의 흡수단을 이용하여 광전효과영역의 에너지에서 높은 원자번호인 납 재질의 흡수단보다 낮은 영역에서 흡수단을 갖게 되면 연당량의 두께로 더 높은 차폐효과를 얻을 수 있는 점에 착안하여 연당량 0.5 mm 두께의 차폐능을 가지면서 납보다 가벼운 재질의 혼합체를 개발하고 그 성능을 조사, 발표하고자 한다.

Following are results of a study on the "Human Resource Development Center for Economic Region Leading Industry" Project, supported by the Ministry of Education, Science & Tehnology (MEST) and the National Research Foundation of Korea (NRF).

이 논문은 2010년 6월 8일 접수하여 2010년 6월 18일 채택되었음.

책임저자 : 오영기, (700-712) 대구시 중구 동산동 194

계명대학교 동산의료원 방사선종양학과

Tel: 053)250-7683, Fax: 053)250-7984

E-mail: ykoh@dsmc.or.kr

대상 및 방법

일반적으로 물질의 원자번호는 원자주위의 전자궤도와 전자수를 결정하게 되고, 궤도에너지에 해당하는 에너지를 흡수하면 전자 이탈이 일어나며 궤도전자의 천이를 일으키게 된다. 영상의학의 방사선에너지 영역에서는 주로 물질의 최내각궤도의 전자와 상호작용하여 에너지 수수가 일어나게 됨을 의미한다.

최내각전자의 궤도에너지가 E_b 인 경우 이탈전자의 운동에너지 E_e 는 외부충돌입자에너지 E_p 에서 궤도에너지 E_b 를 제한($E_e = E_p - E_b$) 값을 갖는다. 이 과정에서 외부방사선은 에너지를 잃게 되어 광전효과(Photoelectric Effect)가 일어나고 물질에서는 단일파장의 특성X선이 방출하게 된다. 이 광전효과는 물질의 원자번호의 세제곱에 비례하고, 에너지의 세제곱에 역비례하므로 방사선차폐체 구성물질에 중요한 지점이 된다.

본 실험은 방사선차폐체로 Z=50인 주석(Sn)에서 Z=56인 바륨(Ba)까지 각 물질에 대하여 영상의학영역의 방사선에너지로 50 kVp와 100 kVp의 스펙트럼(X-123, Spectrometer, APPTek 제공)을 이용하여²⁾ 흡수체의 투과율 T(%)를 다음과 같이 구하였다(Fig. 1).

$$T(\%) = \frac{\int_{\Delta E}^{E_{max}} \psi(E) i \exp^{-(\mu \times t)a + (\mu \times t)b \dots} dE}{\int_{\Delta E}^{E_{max}} \psi(E) i dE} \times 100 \quad (1)$$

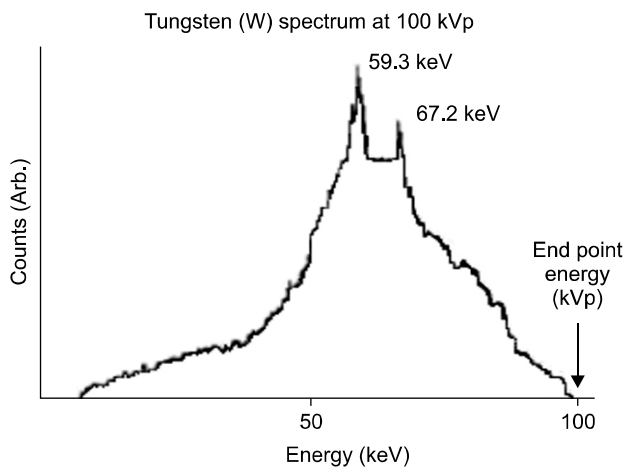


Fig. 1. Energy spectrum of diagnostic radiation operation of 100 kVp.

여기서 ΔE 는 절삭에너지로 10 keV로 정하였으며,³⁻⁵⁾ a와 b는 흡수체 재질을, t는 각 흡수체의 두께를 의미한다. 에너지 함수인 선흡수계수 μ 는 기발표된 질량흡수계수 자료를 이용하였으며, 실험에 사용된 차폐체 재질에 대한 질량흡수계수는 Fig. 2와 같이 나타났다.²⁾

무납차폐체는 주석(밀도 7.28 g/cm³)과 안티몬(밀도 6.68 g/cm³), 요오드(밀도 4.93 g/cm³)로 구성되며, 차폐체에 50, 100 kVp를 조사 시 에너지별 투과율을 구하여 납 0.5 mm 두께에 의한 투과율과 비교하였다.

물질의 두께는 면질량으로 변환될 수 있으므로, 납의 두께 0.5 mm의 면질량과 동일한 각 물질의 총 면질량을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_{pb} \cdot t_{pb} = \sum_i^{a,b,c} \rho_i \cdot t_i \quad (2)$$

여기서 질량과 두께의 첨자 pb는 납을 가리키며, a, b, c는 혼합물의 구성을 각각 나타낸다.

혼합물의 적정 비는 식 2에서 각 성분의 면질량에 해당되는 두께 t를 식 1에 적용하여 투과율이 표준 연당량에 의한 투과율보다 작으면서 연당량보다 가벼운 조건에서 정해졌으며, 미량의 Polyisoprene을 첨가하여 Fig. 3과 같이 무납차폐체를 제작하였다.⁶⁾

제작된 차폐체에 대한 일차선의 투과율 실측은 2차 표준기관에서 Air Kerma ($N_k = 9.208 \times 10^5$ Gy/C - 3 mm HVL of Al) 값으로 교정된 원통형 전리함(Type 23361-0597, 전리함용적 30 cc PTW사)을 사용하여 평가하였으며, 전리함은 영

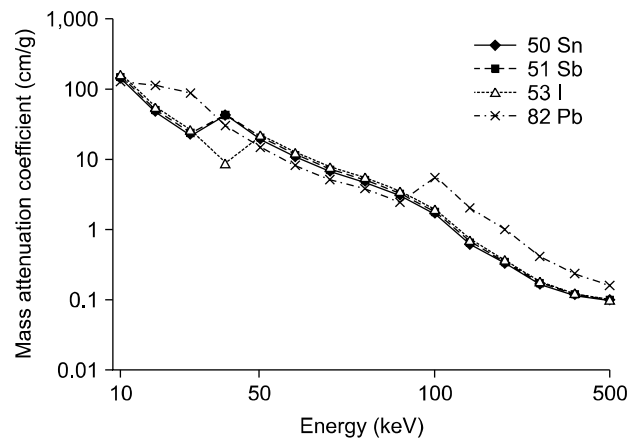


Fig. 2. The linear attenuation coefficients as a function of radiation energy in keV.

상장치의 선원-전리함 거리 100 cm의 위치에 두고 선속에 수직으로 조사되도록 설치하였으며, 납 0.5 mm 두께의 표준필터와 제작된 무납차폐체를 SSD 80 cm 위치에 둘 수 있도록 플라스틱 지그를 두었으며, 조사면적은 원통형 전리함을 충분히 포함할 수 있는 최소면적으로 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 을 사용하였다(Fig. 4a). 전리함은 외경 $31 \times 51 \text{ mm}$, 유효용적 내경은 $14 \times 43.5 \text{ mm}$, 전리함 지지체인 스텝직경은 10 mm이며, 전위계(Unidose, PTW) 전압은 400 V이다.

특히 인체의 산란선에 대한 흡수체의 투과율 측정은 인체팬텀(Rando Humanoid Phantom, U.S.A)의 복부와 골반부(팬텀번호 #18~#190, 높이 40 cm)에 $27 \times 27 \text{ cm}^2$ 의 조사면을 조사하고, 팬텀의 측방으로 20 cm 떨어진 위치에 전리

함을 두고 측정되었다. 산란선에 대한 투과율비교는 Fig. 4b와 같이 팬텀과 전리함 사이에 연당량 0.5 mm의 표준필터와 제작된 무납차폐체를 각각 설치하고 필터가 없을 때의 선량을 기준으로 투과율을 비교 하였다. 차폐체에 대한 산란선의 투과율은 X선관의 누출선량의 영향을 줄이기 위해 전리함 주위를 1 mm 두께의 납으로 차폐하여 팬텀 측 이외에서 누출되는 2차선을 차폐하였다. 일차선 에너지는 50 kVp에서 110 kVp까지 20 kVp 간격으로 조사하여 팬텀에서 산란되어 나오는 방사선을 측정비교 하였다.

X선 영상장치의 일차선과 산란선의 에너지 스펙트럼은 스펙트로메터(Gamma Rad, U.S.A)를 전리함의 위치와 동일한 위치에 두고 측정되었으며, 각 에너지의 플루언스로 산란선의 투과율 변화 원인을 규명하고자 하였다.⁷⁾

결 과

실험에서 설계한 차폐체는 주석과 안티몬 및 요오드(I) 분자와 Polyisoprene을 혼합한 것으로 무납차폐체로 부른다. 실험에서 사용된 요오드는 인체의 조영촬영에 많이 이용되고 있고, 방사선흡수도가 매우 높은 것으로 알려져 있다.⁷⁾

의료 영상용 X선장치의 방사선은 40~150 kVp 영역을 주로 사용하고 있으며, 방사선차폐에 주요한 흡수단은 주석이 44.3 keV와 29.2 keV, 요오드-125가 36.4 keV, 33.2 keV이며, 납은 88 keV와 15 keV로 알려져 있어 단일재질에 비해 혼합구성을 하는 차폐체에 의해 감쇠효과가 더 뛰어나 수 있음을 알 수 있다.^{3,4)}

방사선 방호의 주요관점은 일차선에 대한 방호와 환자와 검사대, 콜리메터 등에서 방출되는 산란선의 방호를 고려



Fig. 3. The Pb 0.5 mm thickness of filter for standard (Left) and experimental lead-free shielder (Right) which is $200 \times 200 \times 1.5 \text{ mm}^3$ of size for 0.42 mm Pb equivalent.

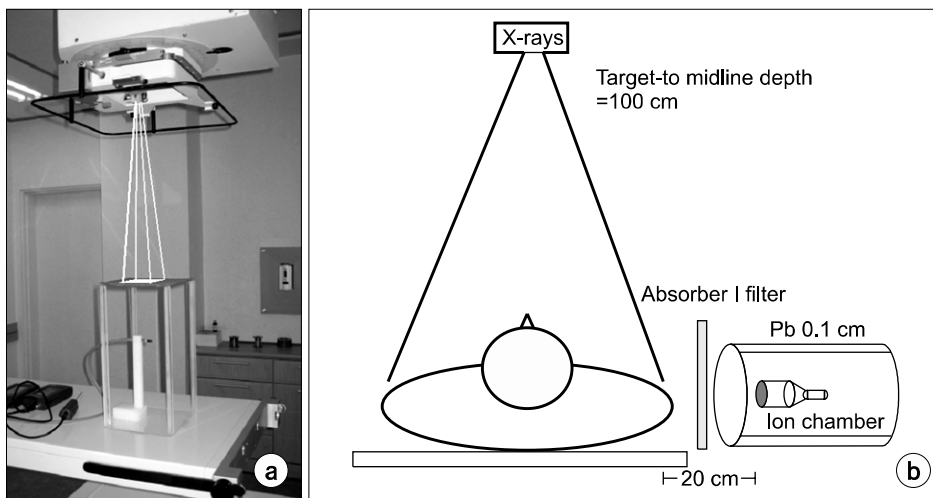


Fig. 4. (a) Source alignment of measurements of transmission of filter. The source-chamber distance is 100 cm and distance from filter to chamber is 20 cm. (b) Schematic alignment for detection of scattered x-rays of a given operation energy.

하여 저에너지 측에서 감쇠효과가 높은 선흡수계수를 가진 물질을 조합하여 납보다 높은 차폐효과를 얻도록 고안하였다. 고안 제작된 차폐체의 함량은 Sn (34.1%), Sb (33.8%), I (26.8% of Weight)을 Polyisoprene (5.3% of Weight)과 배합하고 롤러에 눌러 $200 \times 200 \times 1.5 \text{ mm}^3$ 의 차폐체를 제작하였으며, 밀도는 3.2 g/cc로 연당량은 0.42 mm이고 무게는 표준납차폐체(0.5 mm 두께)의 84%에 해당된다(Fig. 3).

표준납차폐체와 무납차폐체의 투과율 실험은 X-선영상장치(모델명 Simulix, Odelpt사 U.S.A)를 이용하여 50, 70, 90, 110 kVp의 에너지를 선택하여 Fig. 4a와 같이 일차선에 대한 투과율을 구한 결과 Table 1과 같이 얻었다. Table 1에 의하면 일차선에 대하여 70 kVp 이상의 에너지에서 시제품으로 제작된 연당량 0.42 mm의 고무차폐체에서 투과율이 낮아 차폐효과가 더 높은 것을 알 수 있다. 무납차폐체의 두께 1.5 mm에 대한 각 에너지의 선흡수계수는 50 kVp

에서 $\mu_{50}=38.72762$, 70 kVp에서 $\mu_{70}=34.10664$, 90 kVp에서 $\mu_{90}=22.94680$ 그리고 110 kVp에서 $\mu_{110}=20.24370$ 으로 나타났다.

낮은 에너지 50 kVp 영역에서는 무납차폐체의 투과율이 납에 비해 약간 높게 나타났으나, 실측흡수를 이용한 선흡수계수를 적용하여 납과 동일한 연당량 0.5 mm 두께의 무납차폐체(Table 1의 Absorber II)인 경우 차폐효과는 50 kVp에서 납과 동일한 투과율인 반면에 높은 에너지에서는 납의 투과율의 30~50%로 월등히 낮은 값을 보였다.

인체에서 산란된 X선의 차폐효과를 평가하기 위해 저자들은 선원-전리함 거리 100 cm의 위치의 공기 중 선량률을 기준으로 팬텀에서 산란 되어 나온 선량률을 비교하였다.

선원-팬텀 중심깊이간 거리 100 cm의 위치에 둔 인체팬텀의 측방 20 cm에 위치(Fig. 4b)의 산란선량률은 일차선의 공기중 커어마월에 비해 50 kVp에서 2.2%, 70 kVp에서 3.0%, 90 kVp에서 3.6%, 110 kVp에서 4.1%를 각각 보였다.

Table 1. Comparison the percent of transmission of experimental absorber to that of lead 0.5 mm thickness as a function of primary x-ray beam energy.

Medium \ Energy	50 kVp	70 kVp	90 kVp	110 kVp
Pb	0.1	0.9	3.2	4.8
Absorber I (0.42 mm Pb)	0.3	0.6	2.0	4.2
*Absorber II (0.5 mm Pb)	0.1	0.3	1.0	2.4

*% of transmission of Absorber II derived from calculation as based attenuation of Absorber I.

Table 2. Comparison the percent of transmission of scattered rays from phantom in 0.42 mm Pb equivalent thickness of experimental absorber to that of lead 0.5 mm thickness as a function of scattered beam from a given nominal x-ray energy.

Medium \ Nominal energy	50 kVp	70 kVp	90 kVp	110 kVp
Pb	2.4	2.5	4.2	5.1
Absorber (0.42 mm Pb)	2.4	3.3	4.6	5.9

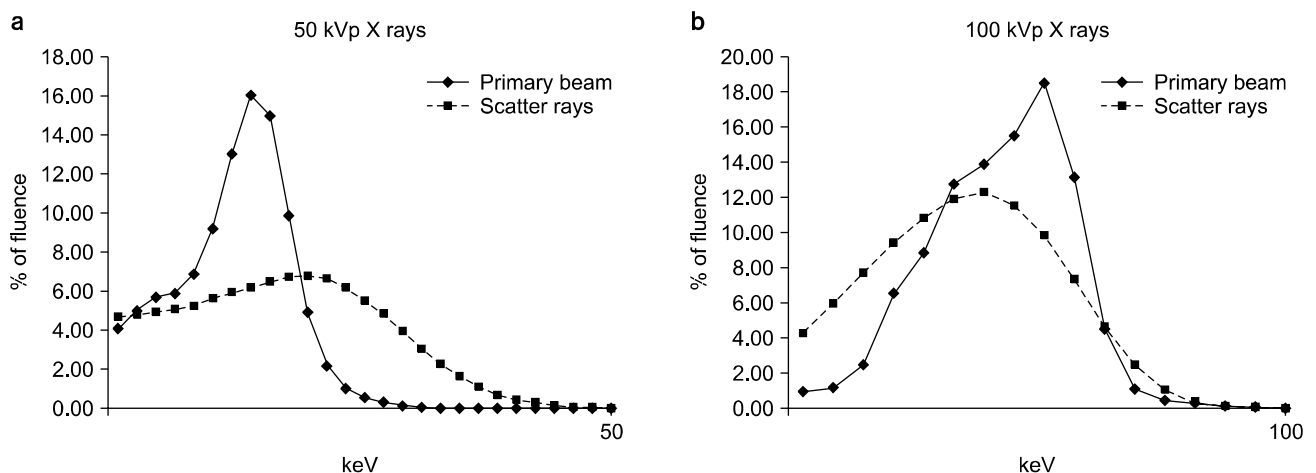


Fig. 5. (a) Energy fluence as a function of operation energy for 50 kVp x-rays. (b) Energy fluence as a function of operation energy for 100 kVp x-rays.

산란선에 대한 에너지별 차폐효과는 인체에서 발생한 산란선량을 기준으로 표준납차폐체와 연당량 0.42 mm의 무납차폐체의 투과율로 나타내어 비교한 결과 Table 2와 같다.

표준납차폐체에서 50~70 kVp의 산란선에 대한 투과율이 일차선의 투과율 보다 높은 2.4%를 보이고, 높은 에너지에서는 거의 유사한 투과율을 보이고 있다.

연당량 0.42 mm인 무납차폐체의 50 kVp X-선의 산란선에 대한 투과율은 표준납차폐체의 투과율과 동일하게 나타났으나, 높은 에너지에 의한 산란선에서는 일차선의 투과율과는 달리 적은 차이지만 표준납차폐체의 투과율을 초과하는 경향을 보였다.

이 점은 스펙트로메타(AMPTEK, U.S.A)를 이용해 얻어진 50, 100 kVp X-선의 일차선과 산란선의 에너지분포(Fig. 5)를 보면 일차선의 에너지밀도가 평균에너지 영역에 집중되어 있으나, 산란선의 경우는 최대에너지영역을 포함해 분산되어 있는 것으로 알 수 있다.

고 찰

의료방사선에 의한 방사선방호의 주된 관심은 대개 CT와 X-선 영상장치에 의한 방사선과 핵의학검사에 이용된 방사성동위원소에서 방출되는 감마선에 있다. X-선 영상장치의 에너지영역은 대개 40 kVp에서 150 kVp 이내 있으며, 개인피폭에 대한 방사선방호는 Apron에 의존하게 되나, 진료에 사용되는 방사성동위원소의 감마선의 차폐는 납용기에 의한 차폐효과가 중요하다.

X-선 영상장치 방사선의 흡수는 재질마다 광전효과에 의한 흡수단이 있으므로 이를 이용하면 효과적인 차폐체를 구할 수 있다. 특히 요오드와 바륨은 방사선흡수가 높아 방사선 영상의학의 조영제로 많이 사용되는 물질이며 바륨은 BaSO₄와 같은 혼합물질로 이용한다.⁷⁾

특히 조영제의 특정에너지 흡수단은 요오드가 36.4 keV와 33.2 keV, 6.6 keV에 있고, 바륨은 37.4 keV에 있으므로 산란선의 콤프턴산란으로 발생한 낮은 에너지의 광자선의 차폐에 효과적으로 이용될 수 있다. 이들 중 바륨 또는 바륨화합물은 Polyisoprene (천연고무) 물질과 혼합하는 과정에 발열의 위험이 있어 실험에서 배제하였다.

주석(Sn)은 44.3, 29.2, 7.92 keV, 안티몬(Sb)은 30, 15 keV, 납(Pb)은 166, 88, 15 keV에 흡수단이 있는 것으로 알려져 있다.⁴⁾ 저자들은 이들 중 10 keV영역과 30 keV에서 80 keV 영역의 광자선에서 납의 선흡수계수보다 주석, 안티몬과

요오드의 선흡수계수가 더 큰 값을 가지는 특성이 있으므로 이들을 적절히 혼합함으로써 납을 사용하지 않고도 차폐효과를 높여 궁극적으로는 납보다 경량의 차폐체를 만들려고 시도하였다.

Fig. 1에서 요오드는 저에너지와 중저에너지영역에서 다른 재질의 흡수보다 크게 나타났으나, 30 keV영역에서 낮은 값을 보여 저자들은 주석과 안티몬, 요오드를 Polyisoprene과 적정비로 혼합하여 납 0.5 mm 당량의 84%의 무게(0.42 mm 연당량)의 차폐체를 제작하여 납의 감쇠율과 동등하거나 더 높은 감쇠효과를 얻을 수 있음을 밝히고 있다.

산란선은 입사에너지에 따라 특성X선이 발생할 수 있고 팬텀표면에서 콤프턴산란이 일어나 측방으로 산란되는 현상이 있으므로 에너지분포가 일정하지 않을 수 있다. 또한 측방산란의 경우 내부에서 일어난 산란은 측방으로 방출되는 과정에 조직흡수로 인한 필터효과를 예상할 수 있다. 산란선의 필터효과는 상대적으로 평균에너지를 높이는 결과를 가지며 에너지풀루언스 실험에서 분산되어 있는 것을 알 수 있다. 한편 피사체의 표면에서 산란되는 경우 낮은 에너지의 분포를 예상할 수 있어 결국 에너지 스펙트럼이 전에너지영역에 분산하는 경향이 있음을 알 수 있다.

이에 실험에서 구한 경량의 차폐체는 중에너지영역에서 납보다 투과율이 낮은 차폐효과를 보이나, 낮은 일차선에너지에서 투과율이 약간 높게 나타남을 알 수 있었으며, 제작된 차폐체를 연당량 0.5 mm 두께로 환산한 경우 저에너지영역에서 납과 동일한 차폐효과를 얻을 수 있으며, 110 kVp X선의 에너지영역에 이르기까지 납 0.5 mm 두께의 투과율보다 30~50%의 낮은 투과율을 보여 주고 있어 혼합물질로 제작된 무납차폐체의 차폐효과가 높음을 알 수 있다. 따라서 방사선 영상 장치를 사용하는 방사선구역의 피폭방호용으로 경량 차폐복 제작에 크게 기여할 것으로 사료된다.

결 론

본 연구는 영상의학의 방사선장치의 에너지영역에서 연당량과 동일한 감쇠율을 가지면서 경량의 차폐재질을 얻기 위해 주석과 안티몬과 요오드를 혼합하여 에너지스펙트럼으로 투과율을 구하고 반복법으로 적정 비율을 정하여 주석 34.1%, 안티몬 33.8%, 요오드 26.8%과 Polyisoprene 5.3%로 표준납차폐체의 연당량 0.5 mm의 84% 무게의 무납차폐체를 제작하였다.

무납차폐체의 두께는 1.5 mm이고 밀도는 3.2 g/cm³이며,

연당량 0.42 mm에 해당되며 투과율은 50 kVp 영역을 제외하고 영상의학의 방사선 전영역에서 차폐효과가 납보다 우수하게 평가되었으며, 연당량 0.5 mm로 환산된 무납차폐체의 경우는 낮은 에너지 영역에서 납과 동일한 투과율을 보이고 진단영역의 높은 방사선에너지영역에서는 납의 30~50%의 투과율을 예상할 수 있는 우수한 차폐성능을 보이고 있다.

참 고 문 헌

1. **Bushong SC**: Radiologic science for technologists. 2nd ed. The C.V. Mosby Company, ST. Louis, Toronto, London (1980), pp. 398-445
2. **Redus R**: XRF Spectra and Spectra Analysis Software. Amptek Application Note XRF-1, Amptek Inc (2008)
3. **NSRDS-NBS29**: Photon Cross Sections, Attenuation Coefficients, and Energy Absorption Coefficients From 10 keV to 100 GeV
4. **Bureau of Radiological Health**: Section III, Radiation Protection Data. Radiological Health HandBook (1970), pp. 129-169
5. **최태진, 김옥배, 서수지**: 투과선량의 수치해석에 의한 전산화단층영상장치 X선의 에너지분포결정. 의학물리 8:35-43 (1997)
6. **최태진, 김진희, 김옥배**: 연필터의 투과선량을 이용한 15 MV X선의 에너지스펙트럼 결정과 조직선량 비교. 의학물리 19:80-88 (2008)
7. **Johns HE, Cunningham JR**: The Physics of Radiology. Diagnostic Radiology. 4th ed. Charles Thomas Publisher, Springfield. Illinois, U.S.A (1983), pp. 557

Development of Lead Free Shielding Material for Diagnostic Radiation Beams

Tae Jin Choi*, Young Kee Oh[†], Jin Hee Kim[†], Ok Bae Kim[†]

Departments of *Medical Bio-Physics Engineering,

[†]Radiation Oncology, School of Medicine, Keimyung University, Daegu, Korea

The shielding materials designed for replacement of lead equivalent materials for lighter apron than that of lead in diagnostic photon beams. The absorption characteristics of elements were applied to investigate the lead free material for design the shielding materials through the 50 kVp to 110 kVp x-ray energy in interval of 20 kVp respectively. The idea focused to the effect of K-edge absorption of variable elements excluding the lead material for weight reduction. The designed shielding materials composited of Tin 34.1%, Antimon 33.8% and Iodine 26.8% and Polyisoprene 5.3% gram weight account for 84 percent of weight of lead equivalent of 0.5 mm thickness. The size of lead-free shielder was 200×200×1.5 mm³ and 3.2 g/cm³ of density which is equivalent to 0.42 mm of Pb. The lead equivalent of 0.5 mm thickness generally used for shielding apron of diagnostic X rays which is transmitted 0.1% for 50 kVp, 0.9% for 70 kVp and 3.2% for 90 kVp and 4.8% for 110 kVp in experimental measurements. The experiment of transmittance for lead-free shielder has showed 0.3% for 50 kVp, 0.6% for 70 kVp, 2.0% for 90 kVp and 4.2% for 110 kVp within $\pm 0.1\%$. respectively. Using the attenuation coefficient of experiments for 0.5 mm Pb equivalent of lead-free materials showed 0.1%, 0.3%, 1.0% and 2.4%, respectively. Furthermore, the transmittance of lead-free shielder for scatter rays has showed the 2.4% in operation energy of 50 kVp and 5.9% in energy of 110 kVp against 2.4% and 5.1% for standard lead thickness within $\pm 0.2\%$ discrepancy, respectively. In this experiment shows the designed lead-free shielder is very effective for reduction the apron weight in diagnostic radiation fields.

Key Words: Radiation protection, Lead-free shielding material, Spectrum of x-ray beam, Apron