

X선 및 감마선에 대한 apron의 차폐율 측정

— Measurement of Apron Shielding Rate for X-ray and Gamma-ray —

대구보건대학 방사선과

박명환 · 권덕문

— 국문초록 —

진단용 방사선발생장치에서의 X선 에너지와 ^{99m}Tc -MDP, ^{18}F -FDG의 감마선 에너지에 대한 apron 0.25, 0.5 mmPb에 대한 차폐율을 측정하였다. X선 에너지는 관전압 40~120 kVp 범위 내에서 부가여과판 0, 2 mmAl을 사용한 경우에 실효에너지가 26.2~45.6 keV로 측정되었으며, 이때 apron 0.5 mmPb은 0.25 mmPb보다 최대 선질에서 5.5% 정도 차폐율이 증가하였다. 또한 두 종류의 apron은 직접선과 공간선량률에 대하여 90% 이상의 높은 차폐율을 나타내었다. 그리고 ^{99m}Tc -MDP의 140 keV에서 0.25, 0.5 mmPb apron을 사용할 경우 30~53% 정도의 차폐효과가 있었으며, ^{18}F -FDG의 511 keV의 높은 에너지에서는 1.3~3.6%로 apron의 차폐효과가 매우 적었다.

중심 단어 : Apron, 차폐율, 실효에너지, 공간선량률

I. 서 론

의료기관이나 산업체 등에서 방사선을 이용하는 경우 허용된 범위의 피폭이라 하더라도 방사선 피폭으로 인한 이익이 손실보다 클 경우에만 피폭을 허용하며, 가능한 방사선 피폭을 줄임으로서 방사선 피폭으로 인한 확률적 영향과 결정적 영향의 발생을 감소시킬 수 있다¹⁾. 그리고 최근 국민의 건강에 대한 관심이 고조되면서 의료기관의 방사선발생장치 및 방사성동위원소의 이용이 급증하고 있다. 따라서 방사선에 따른 인체의 영향을 줄이기 위한 방사선관계종사자와 환자의 피폭선량 관리가 매우 중요한 업무 중의 하나이다²⁻⁴⁾.

방사선관계종사자 중에 질병의 진단 및 치료에 가장

중요한 역할을 하는 우리나라 방사선사의 개인피폭선량을 2003년도 기준으로 선진국과 비교해 보면 일본은 0.26 mSv, 캐나다는 0.09 mSv인 반면에 한국은 2.02 mSv로 선진국의 약 10배로 매우 높음을 알 수 있으며⁵⁾, 또한 식품의약품안전청에서 발표한 방사선관계종사자의 직종별 연간 평균피폭선량을 보면 다른 직종에 비하여 방사선사가 월등히 많음을 알 수 있다. 이와 같이 개인피폭선량은 방사선 장해를 유발할 수 있기 때문에 가급적 줄일 수 있는 방안이 필요하다. 특히 외부방사선 피폭의 방어 원칙에서 거리, 시간, 차폐의 3가지 중에서 불가피하게 환자 또는 보호자가 방사선 촬영에 보조를 할 경우 피폭을 받을 수밖에 없다. 이때 반드시 apron의 착용이 바람직하지만 착용에 따른 중량감, 불편함 등의 이유로 apron 착용에 소홀히 하고 있는 추세이다⁶⁻⁸⁾.

특히 최근에 PET을 이용한 핵의학 진료와 연구활동이 급속히 확대되면서 2006년도 기준으로 66대로 PET의 설치가 전국적으로 분포하고, PET 검사에서 이용되는 ^{18}F -FDG의 양전자방출핵종의 사용이 급증하게 되었으며, 또

* 이 논문은 2007년 6월 7일 접수되어 2007년 8월 29일 채택 됨.

책임저자: 박명환 (702-722) 대구광역시 북구 태전동 산 7번지
대구보건대학 방사선과
TEL: 053-320-1313, 011-555-0192
FAX: 053-320-1449, E-mail: mhpark@mail.dhc.ac.kr

한 핵의학검사에서 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 의 방사성동위원소 사용량은 가장 많이 이용하고 있을 뿐 아니라 매년 20% 이상 증가하고 있다⁹⁾. 따라서 종사자나 환자는 핵의학 검사에서 방사선훈증으로부터의 방사선 피폭선량 저감을 위한 노력이 요구된다.

따라서 본 실험에서는 방사선 피폭이 불가피한 경우 apron의 활용이 매우 중요하므로 방사선안전관리 측면에서 종사자와 보호자의 피폭선량 저감화를 위해 진단용 방사선발생장치의 X선 에너지와 $^{99m}\text{Tc-MDP}$, $^{18}\text{F-FDG}$ 의 감마선 에너지에 따른 정확한 apron의 차폐율을 측정하여 방사선 방어의 중요성을 강조하고자 한다.

II. 실험기기 및 재료

- 1) 진단용 X-선발생장치(EVA-HF325 system, KOMED)
- 2) PET/CT 장치(Discovery ST scanner system, GE)
- 3) 감마카메라(Vertex Epic, ADAC)
- 4) Exposure and Exposure rate meter(192X, Capintec)
- 5) Ion Chamber(Model PM-30)
- 6) 반가층 측정용 Al 흡수체 30 cm×30 cm×0.1 cm 10개
- 7) 부가필터 1 mmAl 2개(Model 115A, RMI)
- 8) Apron 0.25, 0.5 mmPb eq.(이하 mmPb) 2종류 (JOHN SAM)
- 9) 비례계수관식 Digital Surveymeter(FH-40G, Eberline)
- 10) Acryl Phantom 30 cm×30 cm×1 cm 12개
- 11) Sigmaplot 2000 소프트웨어, 줄자 등

III. 연구방법

본 실험을 하기에 앞서 의료기관의 방사선 관련 분야 즉 진단방사선과, 치료방사선과 및 핵의학과에 근무하는 종사자의 개인피폭선량 현황을 조사하기 위하여 D대학병원의 2004년도 평균 개인피폭선량 측정 결과를 파악하고, 이 등¹⁰⁾이 연구한 결과와 비교하였다. X선의 실효에너지를 측정하기 위한 기하학적 조건을 그림 1과 같이 배치하고 관전류 200 mA, 조사시간 0.1 sec로 고정하고, 관전압을 40~120 kVp 범위에서 반가층 측정용 Al 흡수체

의 두께를 변화시키면서 진리조를 이용하여 조사선량을 측정 후 반가층을 구하였다. 이때 부가여과판이 없는 경우와 2 mmAl을 사용하였을 때의 실효에너지를 이용하여 apron 0.25 mmPb, 0.5 mmPb의 두 종류에서 차폐율을 측정하였다.

반가층 측정은 감약지수법칙($I = I_0 e^{-\mu x}$)에서 양변의 \log_e 를 취하여 $y = -ax$ 의 그래프로부터 기울기를 산출하여 이 기울기로부터 선흡수계수 μ 값을 얻은 후 반가층 = $0.693/\mu$ 으로부터 계산할 수 있었다.

실효에너지 측정¹¹⁾은 앞에서 구한 반가층으로부터 단일 에너지에 해당되는 반가층과 같은 반가층을 갖는 실효에너지를 산출하기 위하여 Hubbell의 질량흡수계수표¹²⁾를 이용하였다. 실효에너지에 따른 apron의 차폐율 측정은 먼저 직접선에 대한 차폐율은 apron 생식선 부위를 반가층 측정용 Al 흡수체 대신에 위치시키고 조사선량을 측정하였다. 또한 공간산란선량에 대한 차폐율은 단순복부촬영을 가정하여 아크릴 팬텀 두께 12 cm, 조사야 30×30 cm²로 하여 X-선을 조사함과 동시에 조사야 중심으로부터 1 m 거리에서 바닥으로부터 90 cm 위치에서 비례계수관식 서베이메타를 이용하여 공간선량률을 측정하였으며, 이때 apron은 조사야 중심으로부터 50 cm에 apron 고정대로 고정시켰다. 그리고 차폐율 계산은 다음 식과 같다.

$$\text{차폐율} = \frac{[\text{apron 사용 전의 선량}] - [\text{apron 사용 후의 선량}]}{[\text{apron 사용 전의 선량}]} \times 100\% = (\quad)\%$$

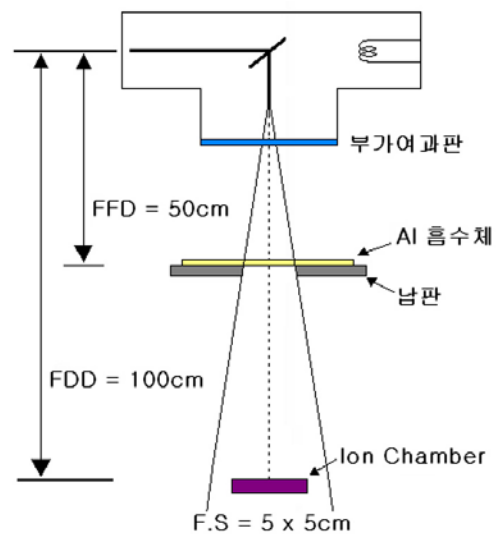


Fig. 1. Measuring arrangement for half value layer

Table 1. The cases of nuclear medicine studies in apron shielding rates

핵 종	방사능 또는 검사명	공간선량률 측정 방법
^{99m} Tc-MDP (140 keV)	7.78 mCi	선원으로부터 1 m 거리에서 선량률 측정
	Bone scan	20.0 mCi 투여 후 3시간에 검사직전 방광 위치의 체표로부터 50 cm에서 선량률 측정
¹⁸ F-FDG (511 keV)	1.1 mCi	선원으로부터 1 m 거리에서 선량률 측정
	PET scan	13.2 mCi 투여 후 1시간 20분에 검사직전 방광위치의 체표로부터 50 cm에서 선량률 측정



Fig. 2. Experiment equipments of PET and digital surveymeter for apron shielding rates

감마선 에너지에 대한 apron의 차폐율 측정을 위하여 Table 1과 같이 ^{99m}Tc-MDP, ¹⁸F-FDG에 대하여 각각 7.78 mCi와 1.1 mCi 선원으로부터 1 m 거리에서 직접선에 대하여 apron을 없을 때, 그리고 0.25, 0.5 mmPb으로 차폐한 경우에 선량률을 측정하여 위의 식으로 차폐율을 계산하였으며, 또한 방사성의약품을 각각 투여한 후에는 환자가 선원이 되기 때문에 bone scan과 PET scan 검사 직전에 배뇨를 시킨 후 그림 2와 같이 환자가 바로 누운 상태에서 방광위치의 체표로부터 50 cm 거리에서 동일한 방법으로 공간선량률을 측정하여 apron의 차폐율을 구하였다.

IV. 연구결과

1. 부서별 개인피폭선량 조사

본 실험에 앞서 의료기관의 방사선관련 분야 즉 진단 방사선과, 치료방사선과 및 핵의학과와 *in vivo*와 *in vitro* 분야로 나누어 여기에 근무하는 방사선작업종사자의 1년간 평균 개인피폭선량 측정 결과를 조사하였다. 그 결과 그림 3과 같이 실험한 D대학병원의 2004년도 평균 개인피폭선량은 방사선안전관리자가 자료 제공한 부서/개인별 연간 개인피폭선량을 분석한 결과에서 진단방사선과가 4.4 mSv로 가장 높았으며, 다음으로 핵의학과 *in vivo* 분야에 근무하는 종사자가 3.1 mSv로 높게 나타났다. 그러나 이 등¹⁰⁾이 연구한 결과에서 1997년도의 모든 의료기관 즉 소규모 병의원을 포함한 방사선 관련 분야에 근무하는 종사자의 평균 개인피폭선량은 진단방사선과 종사자가 0.52 mSv로 소규모 병의원의 방사선촬영 건수 등이 대학병원에 비해 상대적으로 적은 부분이 반영되어 개인피폭선량이 낮았다. 그러나 대규모 병원에만 설치되어 있는 핵의학과와 *in vivo* 분야가 2.85 mSv로 높게 나타났다. 따라서 대규모 병원의 핵의학 검사에서 환자로부터의 공간선량률에 의한 개인피폭선량이 대학병원 진단방사선과 보다는 낮지만 방사선종양학과와 개인 병의원 보다는 높게 나타남을 알 수 있었다.

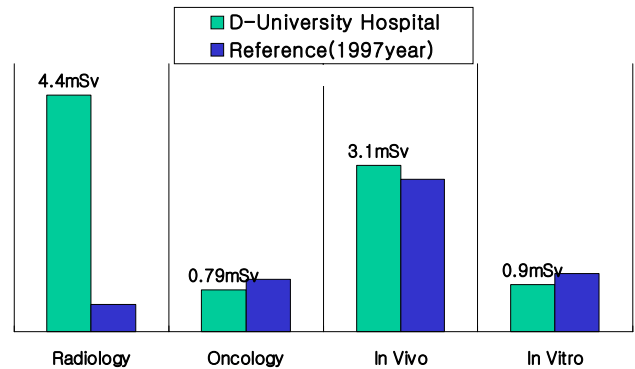


Fig. 3. Comparison of personal exposure dose for radiologic technology parts during one year

2. Apron의 차폐율 측정

1) X선 에너지에 대한 차폐율

관전압 변화에 따른 반가층은 관전압 40 kVp에서 120 kVp로 증가함에 따라 부가여과판이 없을 경우 반가층은 1.7

~4.6 mmAl, 부가여과판이 2 mmAl인 경우에 반가층은 2.3~5.9 mmAl로 부가여과판이 두꺼울수록, 관전압이 증가할수록 반가층이 증가하였다. 또한 동일 조건에서는 부가여과판의 두께가 증가하면 장과장을 제거하여 평균과장이 짧게 되어 반가층은 두껍게 측정되었다.

실효에너지 측정 결과는 그림 4와 같이 관전압이 증가함에 따라 증가하였으며 부가여과판이 없는 경우에는 26.2 keV에서 최대 40.3 keV로 측정되었고, 부가여과판이 2 mmAl인 경우는 30.2 keV에서 45.6 keV로 나타내었다. 따라서 진단용 방사선발생장치의 선질은 관전압이 증가하고, 부가여과판이 두꺼울수록 증가함을 알 수 있었다^{13,14}.

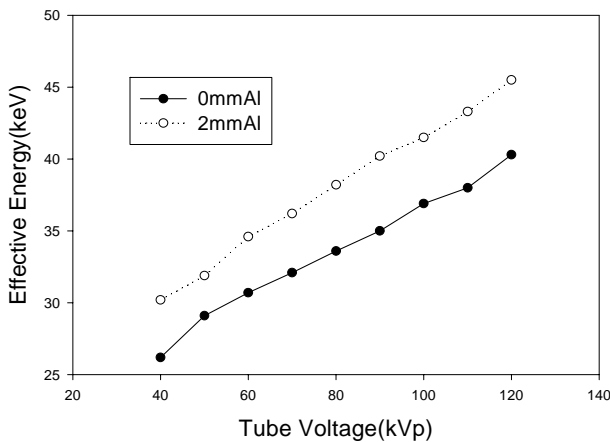


Fig. 4. Comparison of effective energy to tube voltage

직접선에 대한 apron의 차폐율은 부가여과판 없는 경우에 실효에너지가 26.2 keV인 경우 apron 두 종류 모두가 차폐율이 100%이었으나 40.3 keV에서는 apron 0.25 mmPb 경우는 90.1%, 0.5 mmPb apron은 96.5%의 높은 차폐율로 측정되었다. 그리고 부가여과판 2 mmAl를 사용한 경우는 그림 5와 같이 실효에너지 30.2 keV에서 마찬가지로 두 종류 모두가 100%의 차폐율을 나타내었으나 45.6 keV의 실효에너지에서는 부가여과판이 없을 때보다 실효에너지 증가로 투과가 많이 되어 차폐율이 약 3% 정도 낮게 측정되었다.

공간산란선량에 대한 apron의 차폐율은 부가여과판이 없을 경우 26.2 keV에서는 두 종류의 모두에서 거의 100%이었고, 실효에너지가 증가함에 따라 감소하다가 40.3 keV에서는 0.25 mmPb apron은 89.2%, 0.5 mmPb apron은 94.5%의 차폐율을 나타내었다. 그리고 부가여과판 2 mmAl에서는 그림 6과 같이 선질이 30.2~45.6 keV

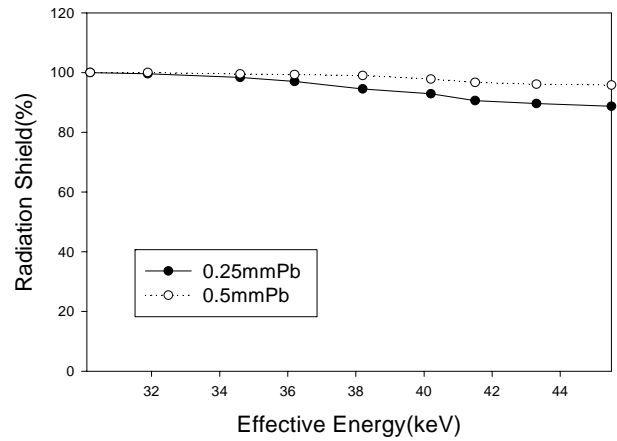


Fig. 5. Comparison of apron shielding rates to direct X-rays

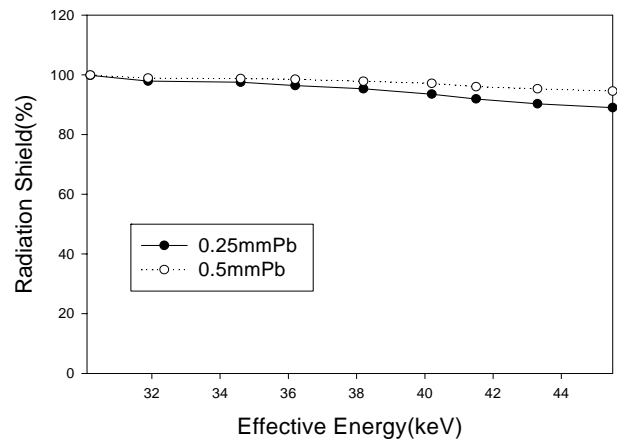


Fig. 6. Comparison of apron shielding rates to spatial dose rates

로 다소 증가하였지만 부가여과판을 사용하지 않았을 때와 마찬가지로 apron 두 종류에서 거의 90% 이상의 차폐율을 나타내는 것을 알 수 있었다.

2) 감마선 에너지에 대한 차폐율

감마선 에너지에 대한 apron의 차폐율을 측정한 결과 Table 2와 같이 ^{99m}Tc-MDP 7.78 mCi의 직접선에 대하여 0.25, 0.5 mmPb으로 차폐한 경우 각각 28.3%, 46.6% 정도의 차폐율을 알 수 있었다. 그리고 bone scan에서 ^{99m}Tc-MDP 20.0 mCi를 투여한 후 3시간에 환자 방광위치에서 체표로부터 50 cm 거리에 공간선량을 측정 결과는 0.25, 0.5 mmPb으로 차폐한 경우 각각 30.6%, 59.4% 정도의 차폐율로 측정되었다. 따라서 ^{99m}Tc의 붕괴에 의해 방출

Table 2. Comparison of apron shielding rates to gamma-rays

(unit : $\mu\text{Sv/hr}$)

핵종	방사능 또는 검사명	apron 사용 전의 선량률	0.25 mmPb 사용 후의 선량률	차폐율 (%)	0.5 mmPb 사용 후의 선량률	차폐율 (%)
$^{99\text{m}}\text{Tc-MDP}$ (140 keV)	7.78 mCi	4.91	3.52	28.3	2.62	46.6
	Bone scan	1.60	1.11	30.6	0.65	59.4
$^{18}\text{F-FDG}$ (511 keV)	1.1 mCi	4.92	4.88	0.8	4.78	2.8
	PET scan	44.0	43.2	1.8	42.1	4.3

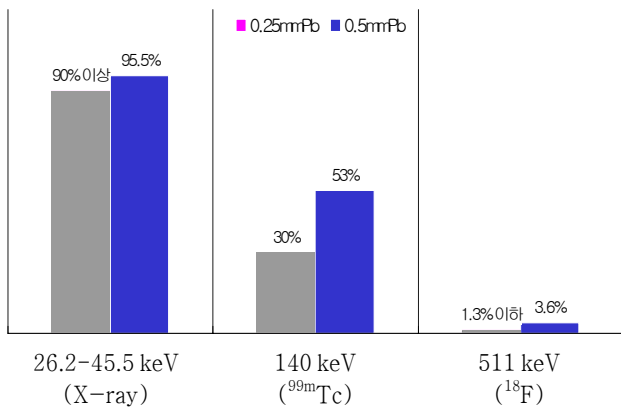


Fig. 7. Comparison of apron shielding rates to X-ray and gamma-rays

되는 단일에너지 140 keV의 감마선에 의해서는 0.25 mmPb의 apron 사용 시는 평균 30%, 0.5 mmPb의 apron 사용 시는 평균 53% 정도의 차폐율로 나타났다.

$^{18}\text{F-FDG}$ 1.1 mCi의 직접선에 대해서도 Table 2와 같이 0.25, 0.5 mmPb으로 차폐한 경우 각각 0.8%, 2.8% 정도의 매우 적은 차폐율을 나타내어 apron의 차폐효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 그리고 PET scan에서 $^{18}\text{F-FDG}$ 13.2 mCi를 투여한 후 1시간 20분에 환자 방광 위치에서 체표로부터 50 cm 거리에 공간선량률 측정 결과는 0.25, 0.5 mmPb으로 차폐한 경우 각각 1.8%, 4.3% 정도의 차폐율로 측정되었다. 따라서 $^{18}\text{F-FDG}$ 의 양전자 방출핵종은 단일에너지 511 keV의 높은 감마선이 방출되기 때문에 apron 0.25 mmPb 사용 시는 평균 1.3%, apron 0.5 mmPb 사용 시는 평균 3.6% 정도의 매우 적은 차폐율로 나타나 진단방사선 분야에서 이용하는 apron 종류에서는 차폐효과가 거의 없으며, 방사선 피폭은 불가피함을 알 수 있었다. 따라서 X선 및 감마선의 에너지에 따른 apron의 차폐율을 비교하면 그림 7과 같이 진단용 방사선 발생장치의 에너지 영역에서는 90% 이상, 140 keV 에너

지에서는 30~53% 정도로 차폐효과가 있었으나, 511 keV의 높은 에너지에서는 1.3~3.6%로 apron의 차폐효과가 매우 적었다. 그러므로 특히 PET 검사 시에 방사선사 등의 종사자는 검사 중에 환자의 접촉시간을 짧게 하고, 거리를 가급적 멀리하여 대화할 수 있도록 하며, 이동 가능한 방어 차폐벽 등을 최대한 활용하여 개인의 피폭선량을 줄일 필요가 있다고 생각된다¹⁵⁾.

V. 결 론

진단용 방사선발생장치에서 관전압 40~120 kVp 범위 내에서 부가여과판 0, 2 mmAl을 사용한 경우의 선질은 반가층이 1.7~5.9 mmAl, 실효에너지가 26.2~45.6 keV로 측정되었다. 그리고 apron 0.5 mmPb은 0.25 mmPb보다 최대 선질에서 5.5% 정도 차폐율이 증가하였다. 따라서 두 종류의 apron은 직접선과 공간산란선량에 대한 차폐율은 비슷하고 약 90% 이상의 높은 차폐율을 나타내었다. 그리고 $^{99\text{m}}\text{Tc-MDP}$ 의 140 keV에서 0.25, 0.5 mmPb apron을 사용할 경우 30~53% 정도의 차폐효과가 있었으며, $^{18}\text{F-FDG}$ 의 511 keV의 높은 에너지에서는 1.3~3.6%로 apron의 차폐효과가 매우 적었다. 따라서 PET 검사 시에는 apron의 효과가 거의 없기 때문에 방사선사 등은 검사 중에 환자의 접촉시간을 짧게 하고, 거리를 가급적 멀리하여 대화하고, 이동 가능한 방어 차폐벽을 최대한 활용하여야 하며, 또한 진단용 방사선발생장치와 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 의 에너지 범위에서는 불필요한 방사선 피폭을 줄이기 위해 반드시 apron 착용이 바람직하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. ICRP: Recommendation of the International

- Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, Pergamon Press, Oxford, New York, 1977
2. 김유현, 최종학, 김성수 등: 진단방사선검사에서의 환자피폭선량에 관한 연구, 방사선기술과학, 28(3), 241-248, 2005
 3. IAEA: International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and the Safety of Radiation Source, IAEA Safety Series No.115, Vienna, 279-280, 1996
 4. Suzuki S, Orito T, Koga S, *et al.*: Changes in X-ray Diagnostic Technology and Patient Exposure Dose Comparison with 1973 and 1989, A Monthly Journal of Medical Imaging and Information, 22(6), 359-363, 1990
 5. 오현진: 우리나라 방사선관계종사자의 피폭선량관리, 대한방사선기술학회 연수교육, 5-14, 2005
 6. 양한준, 전용석, 이근창 이인자, 이선숙, 허 준: X-선방어용 Apron의 성능 평가, 대한방사선기술학회지, 16(2), 73-79, 1993
 7. 유정임, 구정완: 방사선 방어용 앞치마를 착용하는 방사선 관련 종사자들의 근골격계 증상호소와 관련 요인, 대한산업의학회지, 16(2), 166-177, 2004
 8. 김영근, 장영일, 김정민: 방사선 방호용 에이프런의 경량화와 차폐능 개선, 대한방사선기술학회지, 26(1), 45-50, 2003
 9. 채화목: 방사선이용실태조사, 과학기술부 · 한국방사성동위원소협회, 40-41, 2006
 10. 이준일: 방사선관계종사자의 피폭현황과 대책, 전국방사선사학술대회자료집, 59-70, 1999
 11. 강희동 외: TLD 방사선 센서 및 판독장치의 개발, 센서기술연구센터, 47-48, 1992
 12. Hubbell, J. H.: Photon Mass Attenuation and Energy Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV, Int. Appl. Radiat. Isot., 33, 1269-1290, 1982
 13. 박명환: 진단용 X-선발생장치의 출력 및 선질 비교, 대구보건대학논문집, 21, 369-375, 2001
 14. 박명환, 이준일: 진단용 X-선발생장치의 선질 특성에 관한 연구, 대한방사선기술학회지, 20(1), 55-59, 1997
 15. 유광열: 양광자방출핵종의 사용에 따른 핵의학 검사실에서의 방사선안전관리, 핵의학기술, 5(2), 280-287, 2000

• Abstract

Measurement of Apron Shielding Rate for X-ray and Gamma-ray

Myeong-Hwan Park · Deok-Moon Kwon

Dept. of Radiologic Technology, Daegu Health College

This research measured the shielding rates of apron 0.25 and 0.5 mmPb for X-ray energy in diagnosis radiation system and gamma-ray energy of ^{99m}Tc -MDP and ^{18}F -FDG. X-ray energies were measured on effective energy of 26.2~45.6 keV when additional filtering plate of 0, 2 mmAl is used within the range of tube voltage 40~120 kVp, and at this time, apron 0.5 mmPb has shown about 5.5% of increase in its shielding rate over 0.25 mmPb at the highest quality. Besides, the aprons of the two types have shown high shielding rate of over 90% for direct X-ray and spatial dose rate. And, in case 0.25 and 0.5 mmPb aprons were used at 140 keV of ^{99m}Tc -MDP, the shielding effects were between 30 and 53%, and at high energy of 511 keV, ^{18}F -FDG, the shielding effects of apron, 1.3~3.6%, were very small.

Key Words : Apron, Shielding rate, Effective energy, Spatial dose rate