

# 감마선 에너지에 따른 납치마의 차폐효과 분석 - A Study on the Apron Shielding Ratio According to Electromagnetic Radiation Energy -

동남권원자력의학원 핵의학과

장동근·이상호·최형석·손주철·윤창용·지영식·조용인·이홍제·양승오

### — 국문초록 —

의료기관에서 사용되고 있는 전자파 방사선은 매우 다양한 에너지를 사용하고 있으며 연구자에 따라 고에너지의 전자파 방사선이 납치마와 상호작용을 한 후 차폐효과를 얻을 수 있다는 의견과 차폐가 효과가 없을 뿐만 아니라 오히려 피폭을 가중 시킨다는 상반된 의견이 제시되고 있다. 이에 본 연구에서는 몬테칼로 모사를 이용하여 전자파 방사선의 에너지에 따른 납치마의 차폐효과를 분석하고자 하였다.

몬테칼로 모사를 이용하여 전자파 방사선을 10 keV부터 500 keV까지 10 keV 단위로 1 MBq 방출시켜 납 차폐체의 유무에 따른 선량차이를 차폐율로 표현한 결과 납차폐체(0.25 mmPb)를 사용하여 차폐를 실시하였을 때 고에너지 전자파 방사선에서 차폐율이 현저히 떨어져 차폐시 오히려 선량이 증가됨을 알 수 있었다.

**중심 단어:** 납치마, 차폐

## I. 서 론

방사선이란 전자파 또는 입자선 중 직접 또는 간접으로 공기를 전리하는 능력을 가진 것으로<sup>1)</sup> 정의되며 여러 분야에서 이용되고 있다. 이 중에서 전자파 방사선인 X선과  $\gamma$ -선은 의료환경에서 진단용 의료영상을 만들어 내는데 주로 이용되고 있으며, 동시에 방사선 피폭을 발생 시키게 된다. 전자파 방사선의 피폭을 방지하는 방법으로는 원자번호가 높은 납을 이용하는 것이 차폐효과가 가장 우수한 것으로 알려져 있으며<sup>2)</sup>, 국가표준인증종합센터의 “진료용 X선 방호 앞치마 KS P 6023:2007” 규정에 따라

0.25 mmPb 이상의 납치마가 이용되고 있다<sup>3)</sup>. 의료기관에서 사용되는 전자파의 종류는 x,  $\gamma$ 선 두 종류가 있으며, X선은 주로 일반촬영실에서 실효에너지 50 keV 이하의 저에너지를 사용하고 있으며<sup>4,5)</sup>, 감마선은 핵의학과에서 140 keV, 364 keV, 511 keV 등 높은 에너지의 방사선을 이용하고 있다<sup>6)</sup>.

연구자에 따라 핵의학과에서 사용되는 고에너지의 전자파 방사선인 감마선이 납치마와 상호작용을 한 후 차폐효과를 얻을 수 있다는 의견과 차폐가 효과가 없을 뿐만 아니라 오히려 피폭을 가중시킨다는 상반된 의견이 제시되고 있다<sup>4,7,8)</sup>.

이에 본 연구에서는 몬테칼로 모사를 이용하여 감마선의 에너지에 따른 납치마의 최소두께인 0.25 mmPb의 차폐효과를 분석하고자 하였다.

\* 접수일(2014년 10월 10일), 심사일(2014년 11월 7일), 재심사일(2014년 11월 28일), 확정일(2014년 12월 5일)

\* 이 논문 또는 저서는 2014년 부산광역시 원자력 의과학 공동연구의 지원을 받아 수행된 연구임.

교신저자: 양승오, (619-953) 부산시 기장군 장안읍 좌동길 40  
동남권원자력의학원 핵의학과  
Tel : 051-720-5154, Fax : 051-720-5913  
E-mail : soyangmd@naver.com

## II. 실험도구 및 방법

## 1. 몬테칼로 모사

몬테칼로 모사는 통계적 문제를 수학적 난수를 사용한 무작위적인 표본 추출을 이용하여 해결하는 방법으로 도박의 대명사인 모나코의 도시 이름을 따서 명명되었다<sup>9)</sup>. 방사선 응용에 이용되고 있는 몬테칼로 모사코드들은 매우 다양하게 있으며, 2001년 Geant4 Toolkit를 기반으로 OpenGATE collaboration에서 개발된 GATE 모사를 사용하였다<sup>10)</sup>.

## 2. 실험방법

GATE 모사를 이용하여 가상공간에 선원으로부터 일직선상으로 1m 거리를 두고 0.25 mm의 납과 팬텀을 위치시킨 후 전자와 방사선인 감마선을 10 keV부터 500 keV 까지 10 keV 단위로 1 MBq을 360° 방사시켜 납 차폐체의 유무에 따른 선량차이를 차폐율로 표현하고자 하였다.

팬텀은 Fig. 1과 같은 물팬텀과 흉부팬텀을 조합하여 Fig. 2와 같이 사용하였으며, 실험은 아래와 같은 3가지 조건으로 진행하였다.

실험 1. 가상의 공간에 진공( $d=0.000001 \text{ mg/cm}^3$ )으로 매질을 채운 후 팬텀A의 선량을 측정 한 후 납 0.25 mm 납에서 발생하는 산란된 전자들을 제거하기 위한 필터를 납 뒤에 위치시켜 산란선의 영향을 최소화 한 후 선량을 측정한다. 두 측정값의 차이를 이용하여 납 차폐체 적용 유무에 따른 선량차이를 알아보하고자 하였다.

실험 2. 가상의 공간에 진공( $d=0.000001 \text{ mg/cm}^3$ )으로 매질을 채운 후 팬텀B의 선량을 측정 한 후 납 0.25 mm의 차폐체와 납에서 발생하는 산란된 전자들을 제거하기 위한 필터를 납 뒤에 위치시켜 산란선의 영향을 최소화 하여 선량

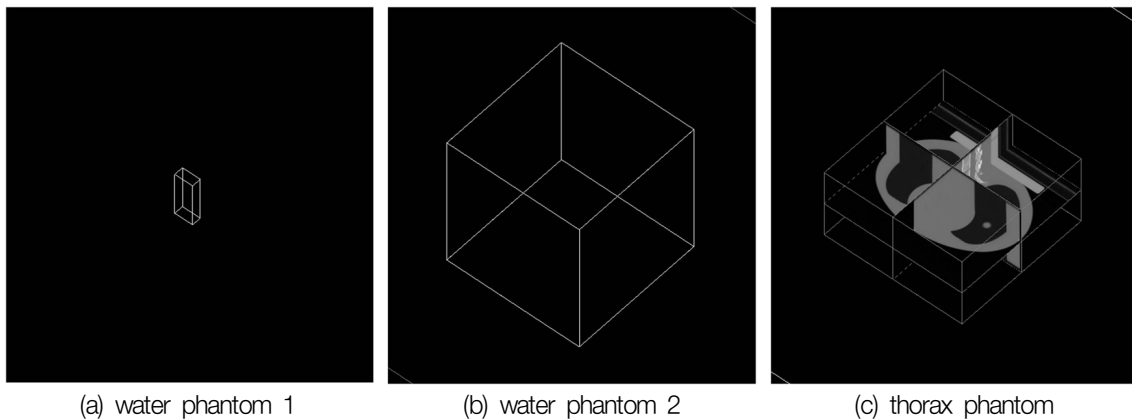


Fig. 1 Resource of the phantom

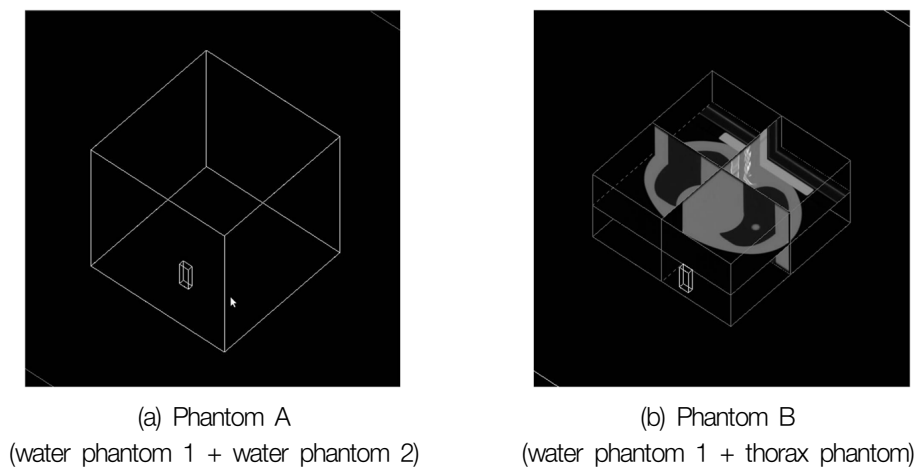


Fig. 2 Used phantom for simulation

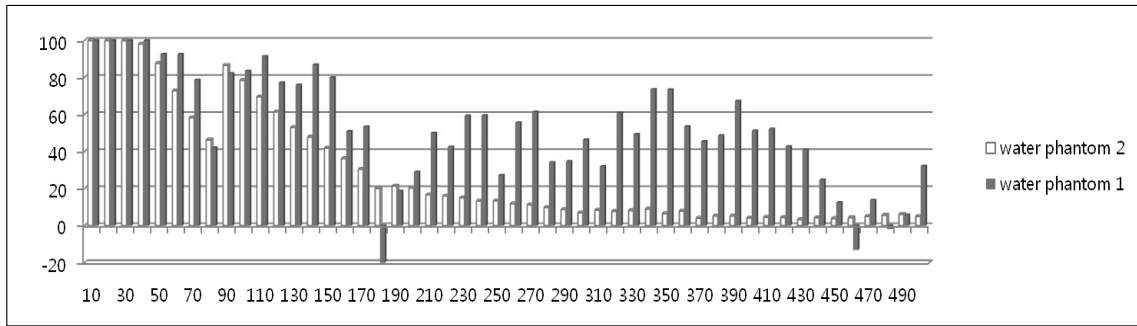


Fig. 3 comparative analysis of shielding ratio between phantom in the experiment 1

을 측정한다. 두 값의 차이를 이용하여 납 차폐체 적용 유무에 따른 차폐율을 알아보고자 하였다.

실험 3. 가상의 공간에 공기( $d=1.29 \text{ mg/cm}^3$ )로 매질을 채운 후 팬텀B의 선량을 측정 한 후 납 0.25 mm의 차폐체 적용 후 선량을 측정하여 차폐율을 알아보고자 하였다.

차폐율이 불규칙한 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

### 2. 실험 2

실험 1과 같은 조건에서 팬텀의 종류를 팬텀B로 교체한 후 실험을 진행한 결과 크기가 작은 물팬텀1( $2.0 \times 5.0 \times 1.0 \text{ cm}^3$ )에서는 불규칙한 정도가 더욱 심해졌으며 방사선의 에너지가 높아질수록 차폐율이 현저히 떨어져 오히려 선량이 증가되는 구간이 늘어났다. 실험 1의 물팬텀2( $30.0 \times 30.0 \times 30.0 \text{ cm}^3$ )는 차폐율이 안정적으로 감소하는 반면 흉부팬텀( $30.8 \times 30.8 \times 15.9 \text{ cm}^3$ )은 불규칙함이 나타났으며, 방사선의 에너지가 높은 구간에서 차폐율이 현저히 떨어져 오히려 피폭이 증가되는 경우가 발생되었다(Fig. 4).

## III. 결 과

### 1. 실험 1

진공상태에서 팬텀A을 이용하여 납 차폐체 유무에 따른 선량 차이를 측정한 결과 물팬텀2( $30.0 \times 30.0 \times 30.0 \text{ cm}^3$ )에서는 차폐율이 70~90 keV를 제외한 구간에서 서서히 감소하는 그래프를 나타냈으나 크기가 작은 물팬텀1( $2.0 \times 5.0 \times 1.0 \text{ cm}^3$ )에서는 180 keV, 460 keV에서 차폐율이 오히려 떨어져 납차폐시 선량이 높게 나타났으며, 전반적인

### 3. 실험 3

실험 2 같은 조건에서 공간의 매질을 진공에서 공기로 변경하여 실험한 결과 실험 2에 비해 고에너지 방사선 구간에서 차폐율의 불규칙정도는 크게 늘어났으며, 차폐율

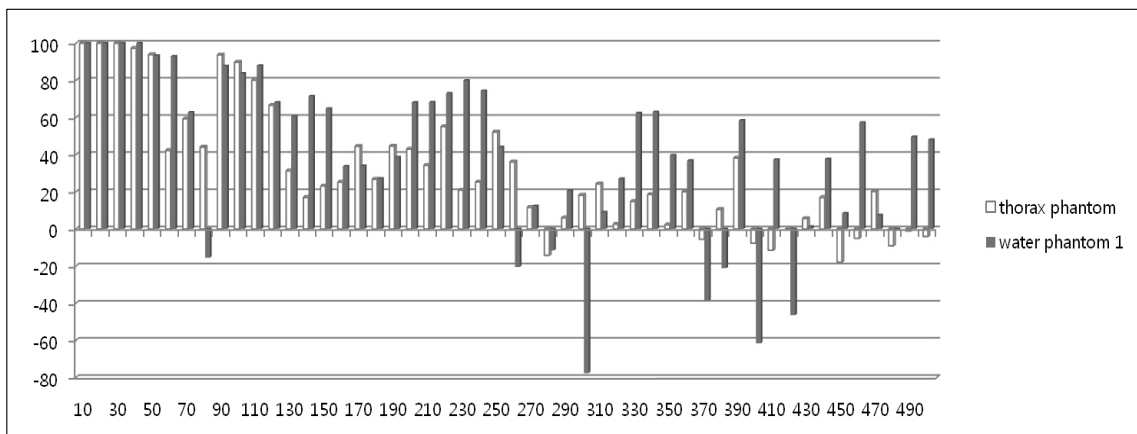


Fig. 4 comparative analysis of shielding ratio between phantom in the experiment 2

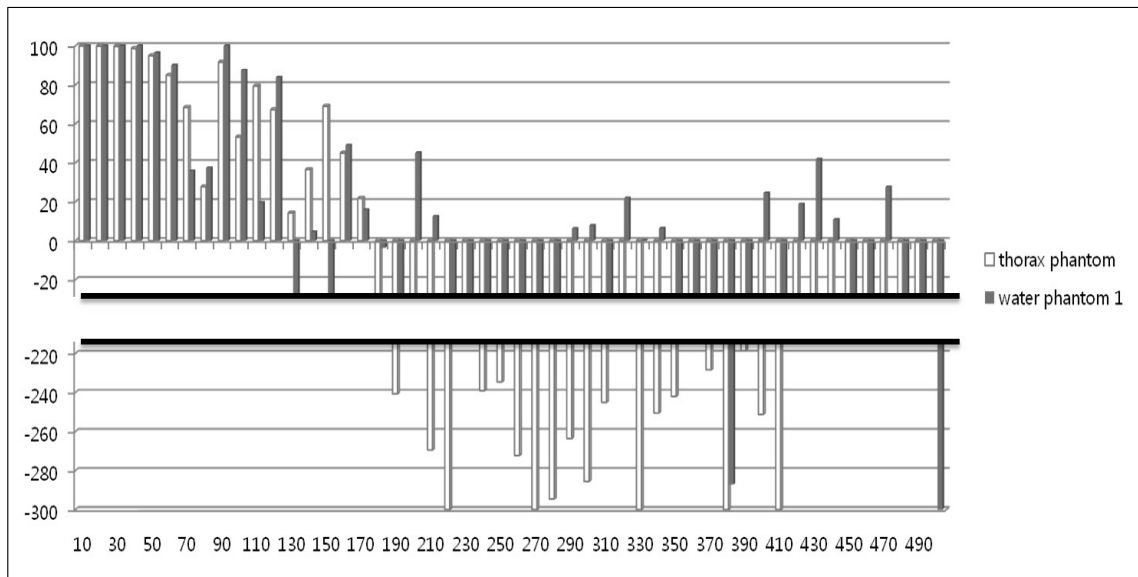


Fig. 5 comparative analysis of shielding ratio between phantom in the experiment 3

이 현저히 떨어져 오히려 선량이 증가되는 구간도 크게 늘어났다. 실험 1, 2에서는 크기가 작은 물팬텀( $2.0 \times 5.0 \times 1.0 \text{ cm}^3$ )에서 불규칙의 정도가 크게 낮지만 실험 3에서는 반대로 크기가 큰 흉부팬텀( $30.8 \times 30.8 \times 15.9 \text{ cm}^3$ )에서 불규칙의 정도가 크게 낮으며, 차폐율이 떨어져 선량이 증가되는 구간도 현저하게 늘어났다(Fig. 5).

실험 1, 2, 3에서 공통적으로 70~90 keV 구간에 차폐율이 감소되었다 증가되는 그래프가 나타났다.

### III. 고 찰

방사선을 이용함에 따라 방사선 피폭은 불가피하게 발생될 수밖에 없다. 방사선 피폭을 감소시키기 위해서 의료기관에서 사용되는 방법으로 납치마를 이용한 차폐가 가장 보편화 되어있다. 하지만 고에너지의 전자와 방사선을 차폐할 때 납치마의 차폐효과에 대해서 연구자에 따라 상반된 의견<sup>4,7,8)</sup>들이 있어 본 연구에서는 몬테칼로 모사를 이용하여 전자와 방사선의 에너지에 따른 납치마의 차폐효과를 3가지 실험을 통해 알아보았다.

실험 1의 결과 2차적으로 발생하는 산란선의 영향을 최소화 한 후 팬텀A를 이용하여 실험 하였을 때 물팬텀 2( $30.0 \times 30.0 \times 30.0 \text{ cm}^3$ )에서는 0.25 mmPb의 차폐체 사용에 따라 차폐율이 70~90 keV를 제외한 구간에서 최대 100%에서 최소 4%까지 에너지에 따라 차폐율은 감소되지만 차폐효과가 있는 것으로 나타났다. 하지만 크기가

작은 물팬텀1( $2.0 \times 5.0 \times 1.0 \text{ cm}^3$ )에서는 에너지에 따라 대부분 차폐효율은 있지만 다소 불규칙한 그래프를 나타냈다. 감마선은 팬텀에 외부피폭을 발생시키지만 팬텀과 상호작용하여 광전자 및 콤프턴전자 등과 같은 전자들이 2차적으로 생성시키고 이러한 전자들이 팬텀내부에서 에너지 잃고 흡수되어 피폭을 발생시키기도 한다. 전자들은 요동이나 산란으로 인하여 불확실하고 비정 자체가 직선을 이루지 못해 크기가 작은 물팬텀1( $2.0 \times 5.0 \times 1.0 \text{ cm}^3$ )에 2차전자의 영향의 정도에 따라서 측정된 선량의 오차가 발생되어 불규칙하게 나타난 것으로 사료된다. 팬텀B를 이용한 실험 2에서는 실험 1과 유사한 그래프의 형태를 갖지만 에너지가 높아질수록 흉부팬텀과 물팬텀1에서 모두 불규칙한 차폐율을 나타냈다. 이는 흉부팬텀에서 원자번호가 높은 물질인 뼈 등이 포함되어 있어 감마선의 상호작용으로 인해 2차적으로 콤프턴 전자가 발생되어 불규칙적인 그래프가 나타난 것으로 사료되며, 심지어 차폐효과가 현저하게 떨어져 오히려 선량을 증가시키는 경우가 늘어났다. 실험 3에서는 실험 2의 조건에서 진공상태의 매질을 공기로 교체하고 필터를 제거하여 실제 환경과 유사한 조건에서 실험한 결과 흉부팬텀에서 측정된 선량은 180 keV 이상에서 모두 차폐효율이 없는 차폐율이 떨어져 선량이 증가되는 값이 나타났다. 하지만 크기가 작은 물팬텀에서는 전자의 불규칙적인 비정을 다 포함 하지 못해 일부에서는 선량감소가 있는 구간과 오히려 피폭을 증가시키는 구간이 불규칙하게 나타났다.

이처럼 산란선은 종사자의 피폭을 증가시키는 요인으로

작용하며 흉부팬텀처럼 용적이 큰 경우는 고에너지 구간에서 불규칙적인 전자의 요동을 충분히 받아들여 그로 인해 발생된 산란선으로 차폐효과가 없을 뿐만 아니라 피폭을 증가시키는 결과를 가져오는 것을 확인 할 수 있었다.

하지만 선량을 측정하는 장비의 크기가 작을 경우 본 실험처럼 전자의 불규칙적인 요동에 대한 과소평가로 인해 전부 감안할 수 없어 본 연구와 같이 차폐효율이 불규칙적으로 나타나며, 심지어 고에너지 구간에서 차폐효과가 있는 것처럼 나타날 수 있다.

70~90 keV 구간에 차폐율이 감소되었다 늘어나는 구간의 경우 실험 1, 2, 3에서 공통적으로 발생하는 것으로 보아 산란선의 영향이 아닌 저에너지 방사선의 흡수와 투과가 원인으로 사료되며, 이 부분에서는 부가적인 실험이 필요할 것으로 사료된다.

본 실험은 컴퓨터 전산모사의 실험결과로 실제적인 선량 데이터와 차이가 날수 있으며, 앞으로 감마선 차폐관련 실험에서 참고자료로 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

### III. 결 론

감마선과 물질과 상호작용 후 발생된 산란선은 대표적 콤프턴 전자가 있으며, 전자는 불규칙적인 요동을 갖게 된다. 팬텀B의 흉부팬텀에 0.25 mmPb 차폐체를 설치했을 때 저에너지 구간에서는 차폐효과가 나타났지만 에너지가 높아짐에 따라 차폐율이 현저히 떨어졌으며 오히려 선량이 증가 되는 결과가 나타났다. 크기가 작은 물 팬텀 1의 경우 불규칙으로 요동치는 전자들을 전부 감안하기 힘들어 차폐율 또한 불규칙적으로 나타났으며, 일부 고에너지 구간에서는 차폐효과가 있는 것처럼 나타났다.

이처럼 전자파 방사선의 에너지가 높아짐에 따라 산란된 전자들에 의해 오히려 0.25 mmPb 납치마가 피폭을 증가시키는 요인으로 작용할 수 있다.

저에너지를 사용하는 X-ray 검사에서는 납치마가 매

우 유용하게 사용되지만 고에너지를 사용하는 핵의학영역에서는 사용되는 핵종의 에너지에 따라 납치마를 선택적으로 사용하여 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 원자력안전법: 법률 제12666호, 제1장 1조 7항
2. 한국동위원소협회: 방사선 이론과 실제, 72-79, 2008
3. KS 규격: 진료용 X선 방호 앞치마, 6023, 2007
4. Myeong-Hwan Park, Deok-Moon Kwon: Measurement of Apron Shielding Rate for X-ray and Gamma-ray, Korean Society of Radiological Science, 30(3), 245-250, 2007
5. Andrew J Reilly: Report 78 Spectrum Processor, IPEM, 1997
6. 강용길: Textbook of Nuclear Medicine, 81-86, 2013
7. Seong-wook Lee, Seung-hyun Kim, Bong-geun Ji, et al: A Consideration of Apron's Shielding in Nuclear Medicine Working Environment, Korean J. Nucl. Med. Technol., 18(1), 110-114, 2014
8. Soo-Kyung Na, Byung-Sub Park, Yong-Gil Kang: Study of occupational exposure in PET/CT, Journal of Digital Convergence, 10(11), 2012
9. Yong Hyun Chung, Cheol-Ha Beak, Seung-Jae Lee: Monte Carlo Simulation Codes for Nuclear Medicine Imaging, Med. Mol. Imaging, 42(2), 127-136, 2008
10. S. Jan, G. Santin, D. Strul, et al: GATE - Geant4 Application for Tomographic Emission: a simulation toolkit for PET and SPECT, Phys. Med. Biol., 49(19), 4543-4561, 2004

•Abstract

## A Study on the Apron Shielding Ratio According to Electromagnetic Radiation Energy

Dong-Gun Jang · Sang-Ho Lee · Hyung-Seok Choi · Joo-Chul Son · Chang-Yong Yoon ·  
Yung-Sik Ji · Yong-In Cho · Hong je Lee · Seoung-Oh Yang

*Dept. of Nuclear Medicine, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences Cancer Center*

The medical institution has been used electromagnetic radiation of various energy. But researchers are divided on whether using apron for radiation shielding will be effective or not.

The purpose of present study was to analyze electromagnetic radiation shielding effect of apron by using Monte carlo simulation.

1 MBq electromagnetic radiation was emitted from 10-500 keV at 10 keV increments in Monte carlo simulation. Then shielded radiation dose difference was confirmed, when 0.25 mmPb shield use for shielding.

As a results, shielding ratio was markedly decreased in high energy electromagnetic radiation. The radiation dose was inversely increased with 0.25 mmPb shielding.

---

**Key Words :** Monte carlo simulation, shielding, electromagnetic radiation