

# 방사선치료 장치 및 관련시설에서의 산란 중성자에 관한 연구

<sup>1</sup>울산대학교 의과대학 서울아산병원 방사선종양학과, <sup>2</sup>고려대학교 보건과학대학 방사선종양학과

김대섭<sup>1</sup>, 김정만<sup>1</sup>, 이희석<sup>2</sup>, 임라승<sup>2</sup>, 김유현<sup>2</sup>

**목적** : 일반적으로 10 MV 이상의 광자선에서 산란 중성자를 발생시키는 것으로 알려져 있다. 세관에 설치된 컨테이너 검색장치는 9 MV 이하였음에도 중성자가 누출되었다. 본 연구에서 의료기관에 설치된 방사선 치료기에서 산란 방출되는 중성자의 공간적인 측정을 통해 결과를 분석하고 평가하고자 한다.

**대상 및 방법** : 본 연구의 방사선 발생장치는 의료용 선형가속기(linear accelerator, linac; Varian, Clinac 1800, USA)를 사용하였다. 중성자 측정용 검출기는 중성자가 발생하면 기포(bubble)이 생기는 Bubble 검출기(Bubble detector, BDPND type, BTI, Canada)를 사용하였다. 의료용 선형가속기 주변에 Bubble 검출기를 isocenter로부터 30 cm, 50 cm, 120 cm의 각각 3가지 거리별로 isocenter 상하 방향 네 곳에 위치시켜 측정하였다. 주변 구조물의 영향을 살펴보기 위해 Wedge와 Mount를 장착 후 50 cm 거리에서 각각 8방향에서 측정하였다. 광자선원부터 isocenter까지의 거리 (SAD: source-axis-distance)를 100 cm로 기준을 정하고 조사면의 크기(field size)는 15 X 15 cm<sup>2</sup>로 정하였다. 방사선은 20 MU를 조사하여 Bubble 검출기에 발생한 기포수를 측정하여 mrem값으로 계산하였다.

**결과** : Isocenter부터 거리가 30 cm와 50 cm 떨어진 곳의 각각 8개 측정 지점 중에서는 모두 5번 위치(Gantry 우측 아래지점)에서 측정된 산란중성자의 양이 같은 거리라도 가장 높게 측정되었다. Bubble 검출기가 Isocenter부터 120 cm 떨어진 경우와 wedge를 장착한 경우는 7번 위치(Couch 우측 아래지점), mount 탈착한 경우는 2번 위치(Gantry 왼쪽 윗지점)에서 산란 중성자가 가장 높게 측정되었다.

**결론** : 산란중성자의 측정에서 직선상 같은 거리에 있는 곳이라도, 실제 측정된 결과 값에 따르면 서로 상이한 값을 보였다. 주변 구조물도 산란 중성자에 영향을 미치며, 직선상 같은 거리라도 각각의 지점에서 다른 값을 보였다. 따라서, 산란중성자의 거리에 따른 영향은 단순히 직선으로의 거리뿐 아니라, 방향과 주변 구조물에 대한 영향까지 고려하여 공간적인 측정과 평가가 필요하다.

**핵심용어** : 중성자, 방사선치료시설

## I. 서 론

방사선 치료는 종양조직에 처방된 선량을 정확하게 투입하여 종양조직을 괴사시키고 정상세포의 부작용

은 최소화 시키는 것이 목적이다. 방사선 치료 시 의료용 선형 가속기의 Beam-on 시간 동안은 환자를 치료하고, Beam-off 시간 동안 방사선이 발생되지 않아 방사선의 영향을 직접적으로 받지 않는 환경에서 작업하게 된다. 그러나 선형 가속기의 에너지가 10 MV 이상일 경우 X선에 의한 광중성자(photoneutron)가 발생으로 중성자의 영향을 고려해야 한다.

1986년 미국 의학물리학회(AAPM)와 1984년 미국의 방사선 방어 및 측정 위원회(NCRP)에서 고에너지

이 논문은 2005년 5월 26일 접수하여 2005년 9월 7일 채택되었음.

책임저자 : 김유현, 고려대학교 보건과학대학 방사선학과  
Tel: 02)940-2820, Fax: 02)917-9074  
E-mail: kyh@korhealth.ac.kr

X선 주변에서 중성자 측정에 대한 표준안<sup>1</sup>과 의료용 X선 주변의 중성자 선량분포에 대한 연구<sup>2</sup>가 보고된 바 있다. 10 MV 이상의 고에너지 X선의 의해 발생된 중성자가 주변물질을 방사화(activation)시켜 Beam-off 기간에도 방사화된 물질의 유도 방사선에 의해 작업자의 피폭을 유발할 수 있다. 세관에 설치된 컨테이너 검색장치는 9 MV 이하였음에도 중성자가 누출<sup>3</sup>되어 의료기관에 설치된 방사선 치료기에서 산란 방출되는 중성자의 영향을 평가해 볼 필요가 있다. 따라서 환자 치료 시 발생하는 산란 중성자의 발생여부를 측정, 평가해 보았다.

## II. 재료 및 방법

본 연구에 사용된 방사선 발생장치는 의료용 선형 가속기(linac: Varian, Clinac 1800, USA)를 사용하였다.

주변 구조물 중 wedge (Varian, USA)는 60° wedge를 사용하였고, 중성자 측정용 bubble 검출기(Bubble detector, BDPND type, BTI, Canada)의 감도는 0.3~0.35 mrem이었다.

Bubble 검출기는 중성자가 발생하면 검출기 내에 기포가 발생한다. 발생된 기포의 개수는 선량으로 나타내어진다. 중성자의 발생이 많으면 기포가 육안으로 헤아리기 어려울 만큼 많이 발생하기 때문에 별도의 Bubble 계측기가 필요하다.

본 연구는 적은 중성자를 발생시켜 육안으로 기포

를 계측하였다. 실험은 거리에 따른 영향을 알아보기 위해 30 cm, 50 cm, 120 cm에서 측정을 하였다.

주변 구조물의 영향을 알아보기 위해 wedge를 장착할 때와 Gantry에서 mount를 제거할 경우를 측정하였다.

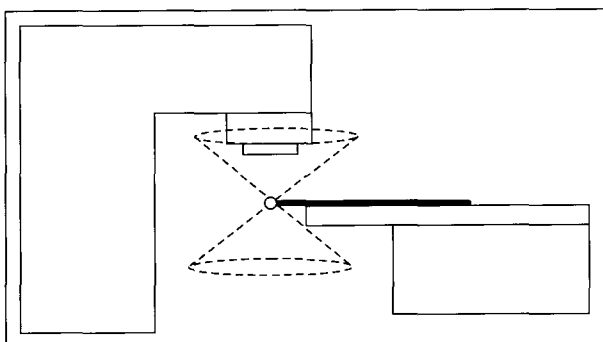
검출기의 위치는 광자선원으로부터 isocenter까지의 거리(SAD: source-axis-distance)를 100 cm로 정한 점을 기준으로 위쪽 4방향과 아래 4방향에서 각각 3가지 거리(30 cm, 50 cm, 120 cm)로 정하였다 [Fig. 1, 2]. 조사면의 크기(field size)는 일정하게 15×15 cm<sup>2</sup>로 하였고 각 조건에서 20 MU를 조사하였다. 방사선 에너지는 15 MV를 조사하였다.

위쪽 방향 및 아래 방향의 8지점에서 bubble에 발생한 기포수를 계측하여 선량 계산하였다. 주변 장치물의 영향을 알아보기 위해 50 cm 지점에서 다른 조건을 동일하게 하여 wedge를 장착하고 측정을 하였다. 또한, Gantry에서 mount를 제거한 후 각각 동일 조건을 조사하여 Bubble에 발생한 기포수를 측정하여 선량 계산하였다.

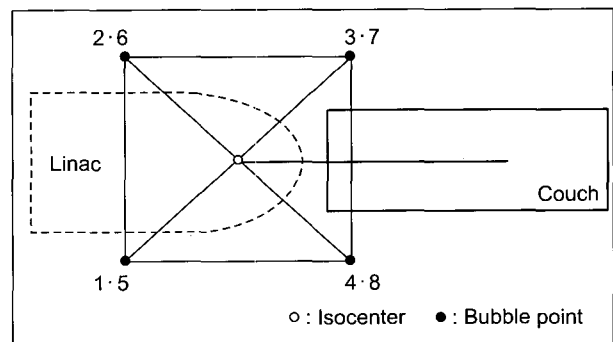
3회 측정 시 발생된 기포의 개수의 평균값을 구하여 mrem으로 환산하여 나타내었다.

## III. 결 과

Bubble 검출기의 위치가 isocenter에서 30 cm, 50 cm 떨어진 위치에서 8개 측정 지점 중에서 5번 위치(gantry 우측 아래)에서의 측정된 산란중성자의 양이



[Fig. 1] Lateral view of experiment setup



[Fig. 2] Above view of experiment setup

[Table 1] Dose rate according to distance

Measurement point	Distance	30 cm		50 cm		120 cm	
		mrem	mrem/MU	mrem	mrem/MU	mrem	mrem/MU
1		1.00	0.05	1.10	0.06	0.50	0.03
2		1.28	0.06	1.17	0.06	0.70	0.04
3		1.17	0.06	0.96	0.05	0.53	0.03
4		1.17	0.06	1.07	0.05	0.53	0.03
5		<b>1.70</b>	<b>0.09</b>	<b>1.25</b>	<b>0.06</b>	0.79	0.04
6		1.45	0.07	1.03	0.05	0.62	0.03
7		1.63	0.08	1.17	0.06	<b>0.82</b>	<b>0.04</b>
8		1.60	0.08	1.07	0.05	0.64	0.03

Result of measurement. This result shows effect of distance. The Bubble number convert into mrem value. Measured dose rate (mrem/MU) by distance at 30 cm, 50 cm, 120 cm.

[Table 2] Dose rate according to protector material at 50 cm

Measurement point	Condition	50 cm		Wedge		Without mount	
		mrem	mrem/MU	mrem	mrem/MU	mrem	mrem/MU
1		1.10	0.06	1.30	0.06	1.00	0.05
2		1.17	0.06	1.40	0.07	<b>1.40</b>	<b>0.07</b>
3		0.96	0.05	1.28	0.06	1.17	0.06
4		1.07	0.05	1.39	0.07	1.17	0.06
5		<b>1.25</b>	<b>0.06</b>	1.70	0.09	1.13	0.06
6		1.03	0.05	1.45	0.07	0.93	0.05
7		1.17	0.06	<b>1.75</b>	<b>0.09</b>	1.17	0.06
8		1.07	0.05	1.49	0.07	1.07	0.05

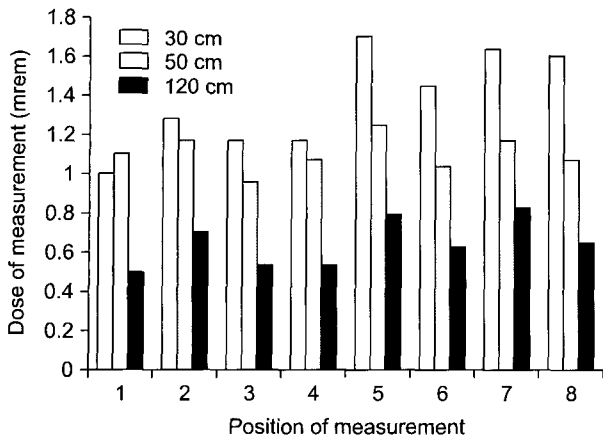
Result of measurement (mrem/MU) by protector material at 50 cm. Protector material have effect on neutron of measurement.

가장 높게 측정 되었으며, Bubbled 검출기의 위치가 120 cm 떨어져 있을 경우와 wedge를 장착하였을 때는 7번 위치(couch 우측 아래)에 산란중성자가 가장 높게 측정되었다. Gantry에서 mount를 제거 후 측정 하였을 때는 2번 위치(gantry 왼쪽 윗지점)에서 가장 많은 중성자가 측정되었다 [Table 1, 2, Fig. 3, 4].

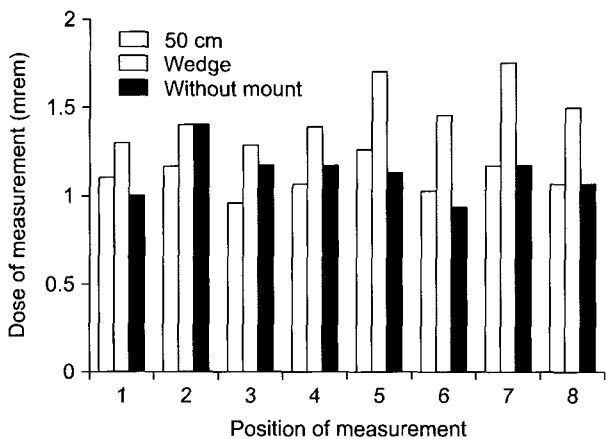
거리에 대한 영향으로 거리 증가에 따라 발생된 산란 중성자의 양이 적게 측정되었다.

#### IV. 결론 및 고찰

본 연구는 의료용 선형가속기에서 발생하는 중성자



[Fig. 3] Result of measurement (mrem) by distance at 30 · 50 · 120 cm



[Fig. 4] Result of measurement (mrem) by projector material at 50 cm

를 여러 방향에서 측정하여 중성자의 공간분포를 알아보았다.

Isocenter에서 거리가 멀어질수록 발생된 산란중성자의 양은 감소하는 것을 알 수 있었다. 이때 같은 직선의 거리에 위치한 bubble 검출기라도 서로 같지 않은 결과를 보여주었다. 이것은 우리가 단순히 직선상의 거리만 측정하여 중성자의 주변선량을 측정할 때 오류가 생길 수 있음을 의미한다. 즉, 산란중성자의 측정은 단순히 직선상으로만 평가하지 않고, 공간적인

위치로 평가하는 것이 바람직하다.

또한, Mount를 제거한 후 조사 한 경우는 isocenter의 상단 부분에서 산란중성자가 다른 위치와 비교하였을 때 좀 더 많은 양이 발생하였다. Mount의 유무에 따라 발생된 중성자의 양에 미세한 차이가 있음을 확인하였다. Mount에 의해 발생된 산란중성자보다 mount의 구성성분에 의하여 감약 되는 양이 더 많음을 알 수 있다.

Wedge는 방사화에 따른 유도방사선을 발생한다<sup>4</sup>. 본 실험 결과에서도 wedge의 장착 후의 중성자 측정 결과 값이 높았다.

이와 같이 Wedge 또는 mount의 장착으로 주변 중성자의 양이 변화가 있었다. 주변 장착물에 따른 중성자의 변화는 거리에 따른 영향에서와 같이 언제나 일정한 지점이 높지는 않았다. 그리고 모든 지점이 같은 값이 측정되지 않았다.

결론적으로 의료용 선형가속기의 주변 중성자의 측정은 일정한 거리에서의 측정뿐 아니라 공간적으로 이루어 져야 하며, 주변 장착물에 따라 영향을 받기 때문에 이에 대한 영향을 고려해야 한다.

### 참고문헌

1. American Association of Physicists in Medicine : Neutron measurements around high energy X-ray radiotherapy machine: AAPM No. 19: New York, 1986.
2. National Council on Radiation Protection and Measurement: Neutron contamination from medical electron accelerator: NCRP Report No. 79: Washington, DC, 1984
3. 컨테이너검색장비 방사선 누출 은폐 의혹(종합). 연합뉴스문 2003 ; 24 : 20-22
4. 이화중, 김대영, 김원택 : 10 MV 이상 고에너지 사용 시 wedge filter의 방사화가 작업환경에 미치는 영향 평가, 대한방사선치료기술학회지 2004 ; 2 : 69-79

---

Abstract

## A Study on the Neutron in Radiation Treatment System and Related Facility

Dae Sup Kim<sup>1</sup>, Jeong Man Kim<sup>1</sup>, Hee Seok Lee<sup>2</sup>, Ra Seung Lim<sup>2</sup>, You Hyun Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiation Oncology, Asan Medical Center, University of Ulsan, Seoul,

<sup>2</sup>Department of Radiologic Science, College of Health Sciences, Korea University, Seoul, Korea

**Purpose** : It is known that the neutron is generally generated from the photon, its energy is larger than 10 MV. The neutron is leaked in the container inspection system installed at the customs though its energy is below 9 MV. It is needed that the spacial effect of the neutrons released from radiation treatment machine, linac, installed in the medical canter.

**Materials and Methods** : The medical linear accelerator (Clinac 1800, varian, USA) was used in the experiment. Measuring neutron was used bubble detector(Bubble detector, BDPND type, BTI, Canada) which was created bubble by neutron. The bubble detector is located on the medical linear accelerator outskirts in three different distance, 30, 50, 120 cm and upper, lower four point from the iso-center. In addition, for effect on protect material we have measured eight points which are 50 cm distance from iso-center. The SAD (source-axis-distance), distance from photon source to iso-center, is adjusted to 100 cm and the field size is adjusted to 15X15 cm<sup>2</sup>. Irradiate 20 MU and calculate the dose rate in mrem/MU by measuring the number of bubble.

**Results** : The neutron is more detected at 5 position in 30, 50 cm, 7 position in 120 cm and with wedge, and 2 position without mount.

**Conclusion** : Though detection position is laid in the same distance in neutron measurement, the different value is shown in measuring results. Also, neutron dose is affected by the additional structure, the different value is obtained in each measurement positions. So, it is needed to measure and evaluate the neutron dose in the whole space considering the effect of the distance, angular distribution and additional structure.

---

**Key words** : neutron, radiation treatment system