

Effect of the Space Dose Rate due to Change of X-ray Irradiation Energy and MU Value in Radiation Therapy Room

Hyeonghyo Kwon,¹ Geonryul Park,¹ Minji Kim,² Yeongdan Jo,³ Youngjae Kim^{4,*}

¹Daegu Catholic University Medical Center, Radiation Oncology

²Yeungnam University Medical Center, Radiation Oncology

³Kyungpook National University Chilgok Medical Center, Radiation Oncology

⁴Department of Radiologic Technology, Daegu Health College

Received: February 28, 2020. Revised: April 23, 2020. Accepted: April 30, 2020

ABSTRACT

This study investigated the radiation protection of therapeutic radiologists. Based on the change in X-ray energy and MU value, the space dose rate in the treatment room after the irradiation was measured. 6MV, 10MV and 15MV photon beams were exposed to radiation inside the treatment room based on 300MU, 600MU and 1000MU using a linear accelerator. And repeated 10 times under the same conditions. As a result of the experiment, 0.1555 μ Sv/h for 6MV 300MU, 0.157 μ Sv/h for 300sec, 0.152 μ Sv/h, 0.156 μ Sv/h for 600MU, and 0.157 μ Sv/h 0.152 μ Sv/h for 1000MU. 300MU of 10MV was 0.49 μ Sv/h, 0.309 μ Sv/h, and 0.69 μ Sv/h, 0.416 μ Sv/h for 600MU, respectively, and 1000MU was 0.977 μ Sv/h and 0.478 μ Sv/h, respectively. The 300MU of 15MV was 3.02 μ Sv/h, 1.2 μ Sv/h, 5.459 μ Sv/h at 600MU, 7.34 μ Sv/h at 1.836 μ Sv/h 1000MU, and 2.709 μ Sv/h. The average spatial dose rate of 6MV was not significantly different from the natural spatial dose rate in the treatment room. High spatial dose rates were measured at 10 MV and 15 MV and were attenuated over time. Therefore, entering the treatment room after a certain period of time (more than 60 seconds) is considered to be effective to prevent the exposure dose of radiation workers.

Keywords: Radiation therapy, Linac, Space dose rate

I. INTRODUCTION

대표적인 암의 3대 치료법으로는 수술, 항암화학요법, 방사선치료요법이며 이 중 방사선치료요법은 과학기술의 증가와 더불어 많은 발전을 이루었고, 그에 대한 치료효과도 급격하게 향상되고 있다.^[1] 방사선치료는 정상조직에는 방사선의 영향을 최소화하면서 동시에 종양조직에 방사선의 흡수량을 극대화하여 암을 제어하며 환자의 상태나 병기에 따라 근치적 치료(curative) 및 증상완화 치료(palliative)를 적용할 수 있다. 특히, 방사선치료는 수술이 불가능한 환자나 고령의 환자에게

적용할 수 있어 환자의 삶의 질을 향상시킬 수 있다.^[2] 이러한 방사선치료는 치료효과를 높이기 위해 제반기술이 개발되어 환자를 치료해 왔으며 2D치료에서 VMAT로, 저에너지에서 고에너지로, 전자선, 엑스선 같은 저LET에서 중입자선, 알파선과 같은 고LET의 방사선을 사용하게 되었다.^[3]

방사선치료시 10MV 이상의 고 에너지 엑스선을 이용할 때, 광핵반응(Photonuclear reaction)을 일으켜 광중성자(Photoneutron)를 방출하게 되며^[4] 방사화로 인한 방사선의 피폭이 환자와 방사선치료 종사자에게 큰 영향을 유발시킬 수 있다.^[5]

본 논문에서는 선형가속기에서 방사화되어 나

타나게 되는 공간선량률을 MU(Monitor Unit)값 (300, 600, 1,000), Gantry부터 거리, 에너지(6MV, 10MV, 15MV)를 기준으로 측정하여 방사선 조사 종료(Beam off) 후 시간에 따른 선량을 평가(30초 단위 5분 측정)하여 향후 방사선작업종사자 및 환자들의 피폭선량 저감에 대한 기초자료로 활용하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. Material

실험기기로서 활용한 선형가속기는 Fig. 1의 Varian사의 VitalBeam을 이용 하였다.

실험 측정 전 MPC(Machine Performance Check)를 통하여 각 6MV, 10MV, 15MV 엑스선 에너지의 빔 출력을 측정 전마다 확인하였으며, 선형가속기의 출력은 실제 $\pm 3\%$ 로 항상 유지 되는 상태로 본 실험을 진행하였다. 측정기는 Fig. 2의 Polyaster사의 PM1405 GM-counter를 이용 하였고 측정 가능한 범위는 $0.1 \mu\text{Sv/h} \sim 100 \text{ mSv/h}$ 이다. 측정된 모든 공간선량률 데이터는 당시 검교정 일자에 입각한 평균 교정인자를 각각 대입하여 실험결과를 도출하였으며 Fig. 3과 같이 치료 조정실에 실험 기기들을 세팅하였다. 치료실 내부는 온도 $20\text{도}\pm 2$ 로 유지 중인 상태로 실험이 진행하였고 치료실 내부는 $0.16 \pm 0.01 \mu\text{Sv/h}$ 유지된 상태에서 공간선량률을 측정하였다.

2. Methode

실험방법은 에너지의 크기와 MU(Monitor Unit)에 따른 방사선 조사 후 공간선량률의 변화를 알아보 고자 6MV, 10MV, 15MV 엑스선별로 각 300MU, 600MU, 1,000MU를 기준으로 하였다.

방사선 조사 직후 PM-1405 Surveymeter의 CCTV를 통하여 측정시작 30초가 경과된 시점에서 30초 단위로 5분 측정하였으며 선량률 400MU/min, 조사야 10x10를 고정인자로 하였다.

측정기는 Fig. 1과 같이 치료테이블을 기준으로 수직방향 5cm, 상하방향 100cm, 좌우방향 16cm으

로 임의의 수치를 설정한 상태로, 조사야의 중심점에서 50cm 떨어진 지점에 측정기를 거치시켰으며 겐트리와 콜리메이터의 각도는 0° 로 유지 하였다.

측정기는 조사 종료 직후 시간이 측정되는 동시에 조종실의 CCTV Monitor를 측정기의 수치를 관찰이 가능한 배율로 조정하여 실시간으로 수치를 관찰 및 기록하였다. 실험은 같은 방법으로 10회 반복 하여 평균값을 측정하였다.



Fig. 1. Linac(vitalbeam).



Fig. 2. PM-1405 Surveymeter.



Fig. 3. Experiment environment.

III. RESULT

Fig. 4는 6MV의 엑스선의 경우 조사종료 직후의 측정되는 선량률을 확인할 수 있다. 측정 시작점에서 300MU를 측정 하였을 때 0.155 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었고 300sec가 경과된 시점에서 0.157 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었다. 600MU에서는 측정 시작점에서 0.152 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정 되었으며, 300sec가 경과된 시점에서 0.156 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었다. 1000MU에서는 측정 시작점에서 0.157 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정 되었으며, 300sec가 경과된 시점에서는 0.152 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었다.

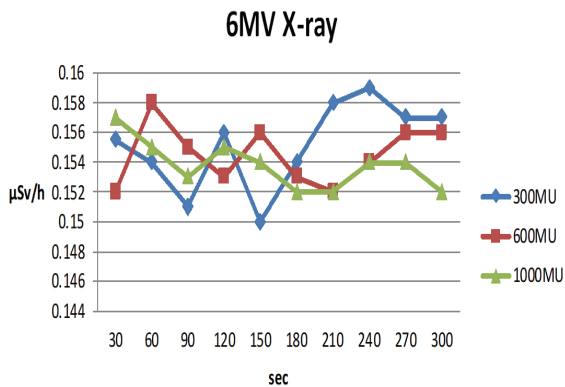


Fig. 4. Changes in 6MV Energy X-ray time and MU values air dose rate.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 10MV의 엑스선인 경우 조사 직후 측정 시작점에서 300MU를 측정 하였을 때 0.468 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었으며 300sec가 경과된 시점에서는 0.309 $\mu\text{Sv/h}$ 로 가장 낮게 측정되었다. 600MU에서는 측정 시작점에서 0.69 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었고 300sec가 경과된 시점에서 0.416 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었으며 1000MU를 측정 하였을 때 0.977 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정 되었으며, 300sec 경과된 시점에서 0.478 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었다.

Fig. 6에서 살펴보면 15MV의 엑스선의 경우 조사 직후 측정 시작점에서 300MU를 측정 하였을 때 3.02 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었고 300sec가 경과된 시점에서 1.2 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었다. 600MU에서는 측정시작점에서 5.459 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었고 300sec가 경과된 시점에서 1.836 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었으며 1000MU에서는 측정시작점에서 7.34 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었고

300sec가 경과된 시점에서 2.709 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었다.

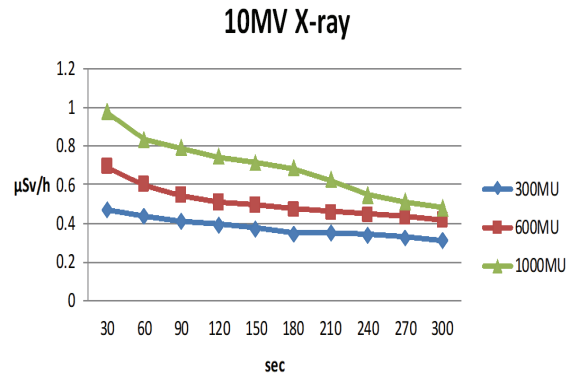


Fig. 5. Changes in 10MV Energy X-ray time and MU values air dose rate.

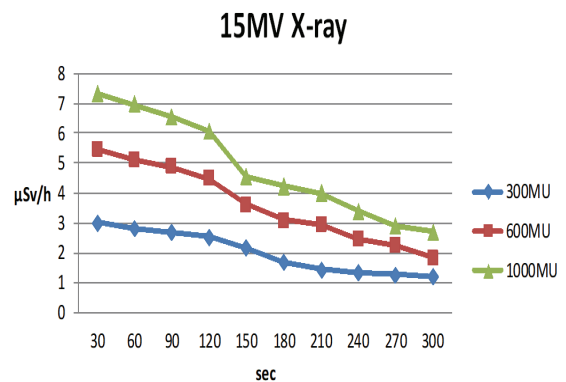


Fig. 6. Changes in 15MV Energy X-ray time and MU values air dose rate.

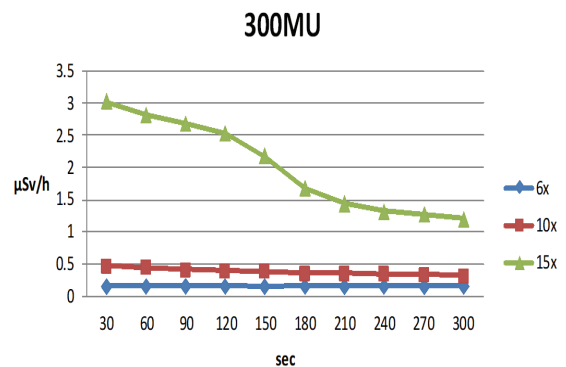


Fig. 7. 6, 10, 15 MV Energy X-ray over time and air dose rate according to the change of MU value - 300MU.

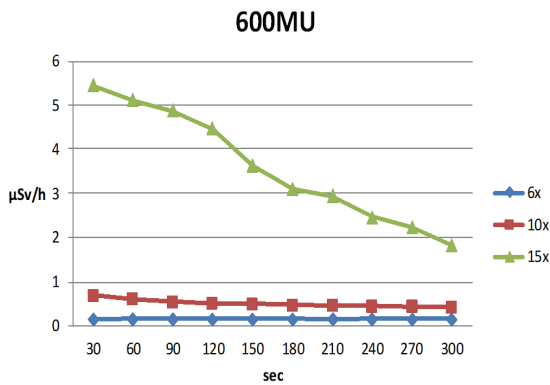


Fig. 8. 6, 10, 15 MV Energy X-ray over time and air dose rate according to the change of MU value - 600MU.

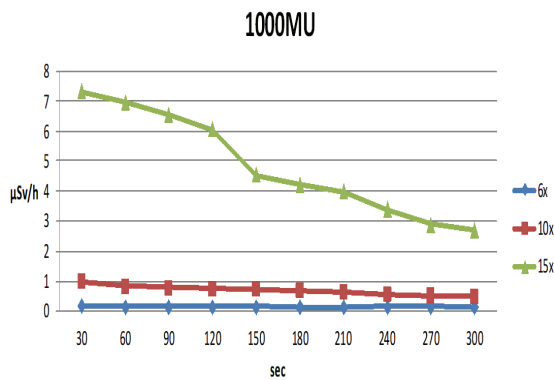


Fig. 9. 6, 10, 15 MV Energy X-ray over time and air dose rate according to the change of MU value - 1,000MU.

6MV를 측정하였을 때는 기존 치료실내부의 공간선량률 0.15 $\mu\text{Sv/h}$ 와 유사하게 측정되었으며 측정기의 실시간 측정값 변경으로 인한 미세한 수치변동의 차이를 제외하고는 시간이 지남에 공간선량률이 증가하거나 감소하는 현상은 확인 할 수 없었다. 10MV와 15MV 엑스선에서는 조사 직후 공간선량률이 치료실 내부 자연방사선량률보다 높게 측정됨을 확인 할 수 있었고, 시간이 지남에 따라 공간선량률이 감소하는 것을 확인 할 수 있었으며, 측정 에너지 중 15MV 측정 시 가장 높은 공간선량률을 확인 할 수 있었다. 동일한 에너지 측정 기준에서 MU값이 증가할수록 치료실 내부의 공간선량률이 비례하여 증가함을 관찰 할 수 있었다.

Fig. 7에서는 300MU인 경우 조사 직후 측정 시작점에서 6MV를 측정 하였을 때 0.1555 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었고 300sec가 경과한 시점에서 0.157 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었으며 10MV에서는 측정 시작점에서 0.468 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었고 300sec가 경과한 시점에서 0.309 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었다. 15MV에서는 측정 시작점에서 3.02 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었고 300sec가 경과한 시점에서 1.2 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었다.

Fig. 8에서는 600MU인 경우 조사 직후 측정 시작점에서 6MV를 측정 하였을 때 0.152 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었고 300sec가 경과한 시점에서 0.156 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었다. 10MV에서는 측정 시작점에서 0.69 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었고 300sec가 경과한 시점에서 0.416 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었다. 15MV에서는 측정 시작점에서 5.459 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었고 300sec가 경과한 시점에서 1.836 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었다.

Fig. 9에서는 1,000MU인 경우 조사 직후 측정 시작점에서 6MV를 측정 하였을 때 0.157 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었고 300sec가 경과한 시점에서 0.156 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었다. 10MV에서는 측정 시작점에서 0.977 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었고 300sec가 경과한 시점에서 0.478 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었다. 15MV에서는 측정 시작점에서 5.459 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었고 300sec가 경과한 시점에서 1.836 $\mu\text{Sv/h}$ 가 측정되었다.

동일한 MU값에서 측정된 수치를 비교해 보았을 때 에너지가 높을수록 높은 공간선량률을 확인 할 수 있었으며 6MV를 제외하고 시간에 따라 공간선량률이 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 각 측정기준이 된 동일한 MU값에서 측정 시작점과 종료시점에서 15MV에서 가장 높은 공간선량률을 확인 할 수 있었다.

IV. DISCUSSION

10MV 이상의 광자선은 높은 원자번호의 물질과 상호작용하여 광증성자를 발생시키고 이는 2차적으로 물질과 상호작용하여 높은 원자번호의 물질을 방사화 시켜 감마선을 발생 시키거나 오염 광자선을 확률적으로 발생시킨다.^[6]

본 연구의 실험결과를 바탕으로 6MV에 치료실 내부의 공간선량률은 조사 직후 변화가 없으므로

해당 에너지로 방사선치료를 받는 환자들의 경우 작업종사자의 치료실 접근시간이 비교적 짧아도 될 것으로 판단된다. 하지만 10MV 이상 엑스선 조사 직후 일정시간 공간선량률이 자연방사선 공간선량률 보다 증가한 것을 확인 할 수 있었고 특히 15MV 에너지에서는 일정시간이 지나더라도 비교적 높은 수치가 유지됨을 확인 할 수 있었다.

반면, 실제 방사선 작업종사자의 선량계기록이 종사자의 유효선량을 초과하지 않는 점에서 원자력 안전법에 준하는 방사선작업종사자의 개인선량한도가 지켜지는 상태로 방사선치료 업무가 수행되고 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

치료방사선사의 개인방호를 위해서 10MV의 방사선치료를 시행한 후 충분한 시간을 두고 치료실에 접근하여 환자처치를 신속하게 하고 외부로 나가야 할 것으로 판단된다. 또한, 중성자에 의한 방사화가 많이 진행된 조사헤드부와는 거리를 두고 환자처치를 시행하여야 할 것이다.

15MV의 엑스선 치료를 행하는 경우에도 10MV와 마찬가지로 측정시간을 경과한 시점에도 자연방사선의 공간선량률 보다 높게 유지된다. 때문에 치료종료끝난 후 충분한 시간을 두고 다음 환자의 방사선치료업무를 수행하도록 하여야 한다. 하지만 이는 치료 환자수와 업무의 효율성, 환자의 편의성 등 다양한 이유로 실제 업무 여건상 시행하기 어렵다.

기술의 발전으로 저에너지에서 고에너지로 방사선치료가 행해지며 그 결과로 치료실 내부의 높은 공간선량률이 유지되고 있다. 이에 선형가속기 헤드부분에 인접한 눈의 수정체 혼탁 및 백내장 같은 질병^[7]과 저 선량 장시간 피폭을 받을 경우 골수조직 파괴로 인한 백혈병과 같은 혈액학적 관련 발병 확률의 증가^[8]가 발생할 수 있으므로 이러한 확률적 장애의 감소대책이 필요하고, 이에 따라 본 연구를 진행하였다.

추가적으로 본 연구는 1대의 계측기로 특정위치 1곳에서 광자선을 측정하였다는 제한점이 있다. 본 논문의 제한점을 극복하고 거리역사층의 법칙^[9]에 근거한 정확한 공간선량률 감소량을 구체적으로 확인하기 위해서는 차기의 연구에서 2

대 이상의 측정기를 사용하여 좀더 정확한 정보를 획득해야 할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSION

고에너지 방사선조사 직후 공간선량률을 측정해 보았다. 6MV를 이용한 방사선치료시 치료가 끝난 직후 입장해도 무방하지만 10MV이상의 엑스선을 사용하는 경우 비교적 높은 공간선량률이 나타났다. 이를 고려하였을 때, 일정 시간이 시점에 치료실 내부로 입장하는 것이 방사선 작업종사자가 피폭 환경에 노출되는 것을 최소화 할 수 있을 것이다.

Reference

- [1] Y. B. Kim, C. O. Suh, "Evolution of Radiotherapy: High-precision Radiotherapy," *Journal of the Korean Medical Association*, Vol. 51, No. 7, pp. 604-611, 2008. <http://dx.doi.org/10.5124/jkma.2008.51.7.604>
- [2] M. Z. Lee, C. C. Ha, "Radiotherapy for Nasopharyngeal Carcinoma," *Journal of the radiation oncology*, Vol. 21 No. 4, pp. 269-275, 2003. <http://koreascience.or.kr/article/JAKO200307523498775.page>
- [3] Gang, youngnam, "Recent Trends in Convergence Radiation Therapy," *The Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 61, No. 6, pp. 23-29, 2012.
- [4] Nho jeongyoun, Jang howon, Je yaeyoung, "Measurement of Photo-Neutron Dose Rate from an 10-MV Linac," *Journal of korea society of radiology 2nd conference*, pp. 79-79, 2017.
- [5] D. Y. Lee, E. T. Park, J. H. Kim, "Evaluate the Activation of Linear Accelerator Components and Shielding Wall through Simulation," *Journal of korea contents association*, Vol. 17, No. 9, pp. 69-76, 2017. <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2017.17.09.069>
- [6] E. T. Park, "Evaluation of Photon and Photoneutron Using High Energy X-ray in Radiation Therapy Room," *Journal of korea society of radiology*, Vol. 10, No. 6, pp. 427-433, 2016. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2016.10.6.427>

- [7] H. S. Lim, "Health Disorders Caused by Physical Factors among Health Care Workers - Focusing on Ionizing Radiation-," *Journal of the Korean Medical Association*, Vol. 53, No, 6, pp. 483-491, 2010.
<http://dx.doi.org/10.5124/jkma.2010.53.6.483>
- [8] Mohammad Davoudi, BijanKeikhaei, Mortezatahmasebi, Fakher Rahim, "Haematological Profile Change in Radiation Field Workers," *Apadana Journal of Clinical Research*, Vol. 1, pp. 38-44, 2012.
- [9] Choi seongkwan "Relationship between the Distribution of Space doses in X-ray Rooms and the inverse Square Law of Distance," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 13, No. 8, pp. 301-307, 2013.
<http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2013.13.08.301>

선형가속기의 엑스선 조사에너지와 MU값의 변화가 치료실 내 공간선량률 변화에 미치는 영향

권형효,¹ 박건륜,¹ 김민지,² 조영단,³ 김영재^{4,*}

¹대구가톨릭대학교병원 방사선종양학과

²영남대학교병원 방사선종양학과

³칠곡경북대학교병원 방사선종양학과

⁴대구보건대학교 방사선학과

요 약

본 논문은 방사선 조사 후 치료실 내부의 공간선량률을 엑스선 에너지 및 MU값 변화를 기준으로 측정하여 치료방사선사의 방사선 방호에 대해 연구해보고자 하였다. 선형가속기를 이용하여 6MV, 10MV, 15MV 광자선을 300MU, 600MU, 1000MU를 기준으로 치료실 내부에 방사선을 노출시킨 후 측정기를 통하여 30초 단위로 5분간 기록하고 시간별로 평균값을 산정하였으며 동일 조건으로 10회 반복 하였다. 실험결과 6MV 300MU인 경우 0.1555 $\mu\text{Sv/h}$, 300sec가 경과된 시점에서는 0.157 $\mu\text{Sv/h}$, 600MU은 0.152 $\mu\text{Sv/h}$, 0.156 $\mu\text{Sv/h}$, 1000MU에서는 0.157 $\mu\text{Sv/h}$ 0.152 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었다. 10MV의 300MU는 각각 0.468 $\mu\text{Sv/h}$, 0.309 $\mu\text{Sv/h}$, 600MU인 경우는 0.69 $\mu\text{Sv/h}$, 0.416 $\mu\text{Sv/h}$ 이었으며 1000MU는 0.977 $\mu\text{Sv/h}$, 0.478 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었다. 15MV의 300MU는 3.02 $\mu\text{Sv/h}$, 1.2 $\mu\text{Sv/h}$ 이며 600MU에서는 5.459 $\mu\text{Sv/h}$, 1.836 $\mu\text{Sv/h}$ 1000MU에서는 7.34 $\mu\text{Sv/h}$, 2.709 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었다. 6MV의 평균 공간선량률은 치료실 내부의 자연 공간선량률과 큰 차이가 없었으며, 10MV, 15MV 의 경우는 높은 공간선량률이 측정되었으며 시간에 따라 감약됨을 확인할 수 있었다. 따라서, 일정 시간(60초 이상)이 지난 이후 치료실 내부로 입장 하는 것이 방사선 작업종사자의 피폭선량 방지에 효과적일 것이라 사료된다.

중심단어: 방사선치료, 선형가속기, 공간선량률

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	권형효	대구가톨릭대학교병원 방사선종양학과	방사선사
	박건륜	대구가톨릭대학교병원 방사선종양학과	방사선사
(공동저자)	김민지	영남대학교병원 방사선종양학과	방사선사
	조영단	칠곡경북대학교병원 방사선종양학과	방사선사
(교신저자)	김영재	대구보건대학교 방사선학과	교수