

# A Study on the Surface Dose Distribution by Scattered and Leakage Radiation in Radiation Therapy

Jongsu Kang,<sup>1,2</sup> Dongkyung Jung,<sup>3</sup> Yongmin Kim<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Science, Daegu Catholic University

<sup>2</sup>Department of Radiation Safety Management, Kyungpook National University

<sup>3</sup>Department of Radiologic Technology, Daegu Health College

Received: May 02, 2018. Revised: June 27, 2018. Accepted: June 30, 2018

## ABSTRACT

During radiation therapy, the patient is exposed to secondary radiation by scattered and leakage radiation. For the diagnostic radiation, guidelines for reducing the patient's exposure as the diagnostic reference level are provided. However, in the case of therapeutic radiation, even though the radiation dose by the secondary radiation is considerable, the prescription dose is not limited because of the reason of the therapeutic efficiency.

The purpose of this study was to evaluate the secondary radiation that the patient could be received at the peripheral tissue during the radiotherapy using the linear accelerator with the radiophotoluminescent glass dosimeter. In addition, we measured the degree of saturation of the luminescent amount according to the build-up characteristic of the radiophotoluminescent glass dosimeter.

As a result of carrying out this study, the exposure dose decreased drastically farther away from the treatment field. When the head was irradiated with 1 Gy, the neck could be exposed to 18.45 mGy. When the same dose was irradiated at the neck, 15.55 mGy of the head and irradiated at the chest, 14.26 mGy of the neck and irradiated at the pelvis, 1.14 mGy of the chest were exposed separately. The degree of saturation of the luminescent intensity could be overestimated by 1.8 ~ 4.8% depending on time interval for 3 days.

Keywords: Radiation therapy, Secondary radiation, Radiophotoluminescent glass dosimeter

## I. INTRODUCTION

의료 분야에서는 질병의 적절한 진단과 치료를 위해 방사선을 사용하고 있다. 또한 암환자수의 증가와 의료 보험의 혜택으로 방사성동위원소와 방사선발생장치의 사용량이 증가하는 추세이다.<sup>[1]</sup> 방사선 치료는 수술적 요법과 달리 비침습적 치료이며 치료부위에만 최적의 선량을 부과하여 주변 정상 조직이나 장기의 손상을 줄이는 장점이 있다. 국내의 선형가속기를 이용한 방사선 치료는 1970년대 선형가속기의 설치 이후 킬로볼트 수준의 에너지에서 메가볼트 수준으로 높아지고 광자에서

중하전입자 치료로 해당부위에만 효과를 극대화하는 추세이다.<sup>[2]</sup> 이러한 방사선 치료의 장점에도 불구하고 광자선을 이용한 방사선 치료 시 환자는 가속기 두부에서의 누설선과 주변 구조물에 의한 산란선, 환자 본인에 의한 산란선 등 2차 방사선으로 인해 불필요한 피폭을 받게 된다. 뿐만 아니라, 광자의 에너지가 수 메가볼트 이상에서는 가속기 구성부품과의 광핵반응을 통해 발생한 광중성자 및 가속기를 포함한 주변 구조물의 방사화로 인한 추가 피폭을 받을 수 있다.

국제방사선방호위원회(ICRP, International Commission on Radiological Protection)는 방사선 방호의 원칙으

\* Corresponding Author: Yongmin Kim

E-mail: ymkim17@cu.ac.kr

Tel: +82-53-850-2522

로 정당화, 최적화 그리고 선량한도를 권고하고 있다. 의료 피폭의 경우 환자에게 직접적 이득이 돌아가지기 때문에 선량한도를 적용하지 않고 정당화와 최적화의 원칙을 바탕으로 환자 피폭을 관리할 것을 강조하고 있다.<sup>[3]</sup> 일반적으로 방사선을 이용한 질병의 진단과 치료는 정당화되고 ICRP에서는 최적화의 일환으로 진단용 방사선의 경우 효율적인 선량부여를 위해 진단참조준위를 제시하고 있으며,<sup>[4]</sup> 식품의약품안전처에서도 영상의학검사에서의 환자선량 가이드라인을 제공하여 환자의 피폭선량 저감에 필요한 사항들을 제시하고 있다.<sup>[5]</sup> 그러나 방사선 치료 분야에서는 치료효과 저감을 이유로 선량에 대한 제약치를 설정하지 않고 있으며 이로 인해 환자는 치료 시 받게 되는 2차 방사선에 의한 피폭의 부담을 지게 된다. 프로그래밍을 통한 치료 시뮬레이션은 치료부위에 최적의 선량을 부여하고 인접하는 주변부위에는 최소한의 선량을 부여하기 위한 프로세스이다. 추가적으로 원거리 조직에서 어느 정도 피폭을 받을 수 있는지에 대한 정보는 치료방법 및 조건에 따라 달라지며 열형광선량계(TLD, Thermo Luminescence Dosimeter), 광자극발광선량계(OSLD, Optically Stimulated Luminescence Dosimeter), 형광유리선량계(RPLGD, RadioPhotoLuminescent Glass Dosimeter)를 사용하여 선량 수준을 확인하여 왔다. 치료분야에서 RPLGD는 특정지점의 공간선량측정, 장기에서의 선량평가, 치료장비의 QA 등에 사용된다. RPLGD는 방사선 조사 후 판독시점에 따라 형광량의 포화도가 증가되는 빌드업 특성이 있다. 이러한 특성은 선량의 과소평가 또는 과대평가가 발생할 수 있으므로 판독시점에 따른 포화도를 확인하는 것이 필요하다.

이에 본 연구에서는 RPLGD의 빌드업 특성에 따른 형광량의 포화도를 확인하고 치료부위 외 원거리 부분에서의 2차 방사선에 의한 선량의 수준을 정량적으로 평가하여 추가적인 차폐의 필요성을 제시하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 실험재료

본 실험에 사용된 선형가속기(Novalis Tx, Varian, USA)의 광자선의 에너지는 6 MV, 15 MV 듀얼에너지가 가능하며 본 연구에서는 15 MV의 에너지를 사용하였다. 선량의 측정에는 RPLGD (GD-352M)를 사용하였고 선량 판독은 판독시스템 (Fluorescent Glass Dosimeter System, Model : FGD-1000SE, Asahi Techno Glass Co., Japan)을 활용하였으며 판독시스템의 제원은 Fig. 2 및 Table 1과 같다.



Fig. 1. Linac Novalis Tx.

RPLGD는 종류에 따라 용도가 다르다. GD-300 시리즈는 고 선량 치료용과 저 선량 진단용으로 용도가 나누어진다. 고 선량 치료용은 방사선 치료 시 1차선을 측정할 때 사용되며 저 선량 진단용은 치료부위 외부의 누설선이나 산란선에 의한 선량을 평가할 때 측정값이 유의하다는 결과를 기반으로 본 실험에서는 GD-352M을 사용하였다.<sup>[6]</sup> 연구의 대상은 Rando 팬텀(Radiology Support Devices Inc., USA)을 사용하였다.



Fig. 2. Photoluminescent glass dosimeter system.

Table 1. Specification of RPLGD

Manufacture company	AGC(Asahi Techno Glass Co, Japan)
Dimensions	∅ 1.5 mm x 12 mm
Value range	1 μGy to 10 Gy / 1 μSv to 10 Sv
Reproducibility	5% or less (at 100 μGy) 2% or less (at 1 mGy)
Readout	UV excitation
Preirradiation annealing	400 °C 30 min

## 2. 실험방법

RPLGD는 판독 전 70°C의 온도로 30분간 가열한 후 판독하는 가열처리 방식과 상온에서 24시간 보관 후 판독하는 대기처리 방식이 있다.<sup>[7]</sup> RPLGD의 안정적인 색중심 형성을 위해 사용되는 가열 처리방식은 조사한 선량 값을 빠른 시간 내에 확인하기 위해서 사용되며 대기처리 방식은 가열처리 방식과 비슷한 안정성을 확보하기 위해 24시간 보관 후 판독을 진행한다. 측정시기에 따른 형광량의 포화도를 확인하기 위해 본 연구에서는 대기처리 방식으로 선량을 평가하였으며 방사선 조사 후 2시간 간격으로 24시간 동안 판독하고 그 후 하루 간격으로 총 5일간 판독하였다.

방사선 치료 시 누설선 및 산란선에 의한 피폭선량을 측정하기 위해 Rando 팬텀을 선형가속기 테이블에 셋업 하였다. 선정된 방사선 조사부위는 두부(미간), 경부(갑상선), 흉부(폐), 골반(생식선)이며 각각 선량 200 MU, 선량률 400 MU/min, 조사야

10x10 cm<sup>2</sup>, 선원-표면간 거리(SSD)는 100 cm로 5회 조사하였다. RPLGD는 조사부위를 제외한 3군데 지점에 4개씩 위치시켜 측정값의 평균을 구하였다.

## III. RESULT

### 1. RPLGD의 시간에 따른 build up 측정

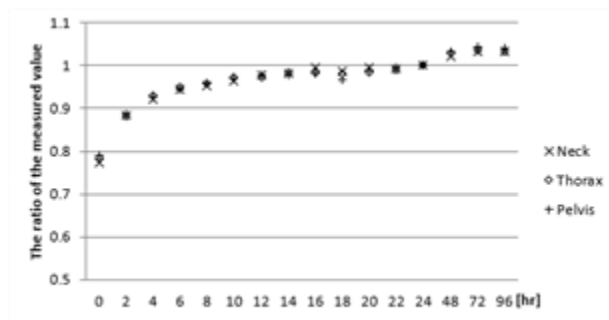
RPLGD를 조사부위 이외 3지점 표면에 4개씩 올려놓고 판독한 값의 평균을 구하였으며 방사선 조사 후 2시간 간격으로 측정한 build up 특성은 Fig. 3과 같다. 방사선 조사 후 24시간을 기준으로 했을 때 방사선 조사 직후 판독선량은 75.3 ~ 79.7% 수준이었으며 조사 후 3일 뒤에는 기준 선량의 1.2 ~ 3.9% 까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

### 2. 조사부위 이외에서의 측정 선량

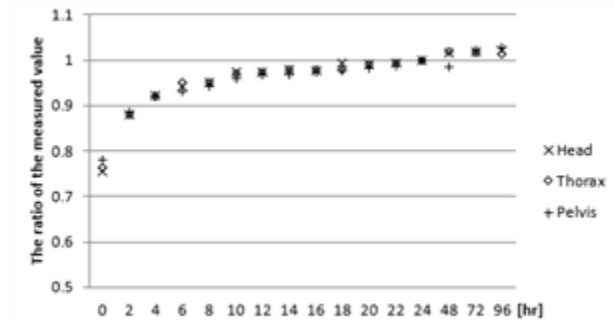
방사선치료 시 조사부위를 제외한 결정 장기가 있는 지점에서 RPLGD의 표면선량 측정 평균값은 Table 2 및 Fig. 4와 같다. 가장 높은 수준의 피폭을 받는 부위와 가장 낮은 수준의 피폭을 받는 부위는 두부 조사 시 경부에 Gy 당 18,452.2 μGy, 골반에 158.2 μGy로 나타났으며, 경부 조사 시 두부에 15,553.0 μGy, 골반에 273.4 μGy로 나타났다. 그리고 흉부 조사 시 경부에 14,263.6 μGy, 골반에 1,165.0 μGy로 나타났으며, 골반 조사 시 흉부에 1,139.9 μGy, 두부에 155.3 μGy로 나타났다. 실험 결과 조사부위에서 거리가 멀어질수록 선량이 급격히 줄어드는 것을 확인할 수 있었으며 상대오차는 1% 미만이었다.

Table 2. The secondary dose measurement at each points (Distance from the irradiation point) (units : μGy)

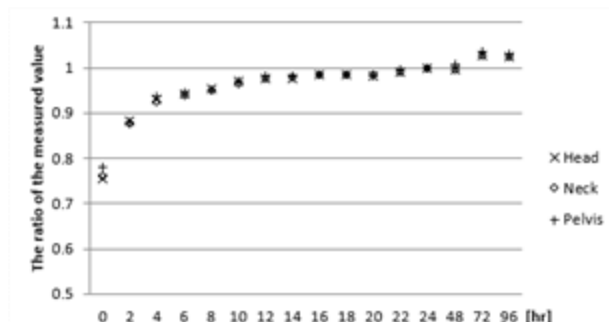
Irradiation point	Measurement points (m±Sd)		
Head	neck(13cm)	chest(31cm)	pelvis(67cm)
	18,452.2±13.2	3,711.9±2.6	158.2±0.4
Neck	head(13cm)	chest(19cm)	pelvis(54cm)
	15,553.0±9.5	14,451.5±11.9	273.4±0.6
Chest	neck(19cm)	head(31cm)	pelvis(35cm)
	14,263.6±9.5	2,692.2±2.0	1,165.0±1.6
Pelvis	chest(35cm)	neck(54cm)	head(67cm)
	1,139.9±1.3	344.2±0.8	155.3±0.4



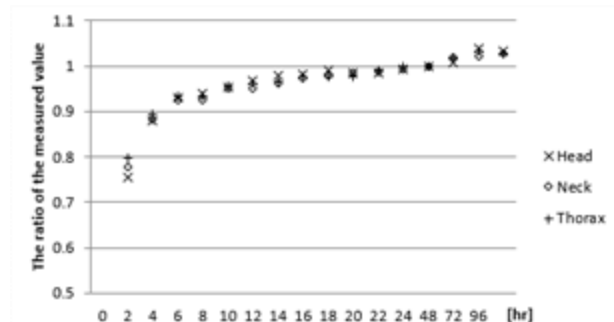
(a) Build up Characteristics at Head Irradiation



(b) Build up Characteristics at Neck Irradiation

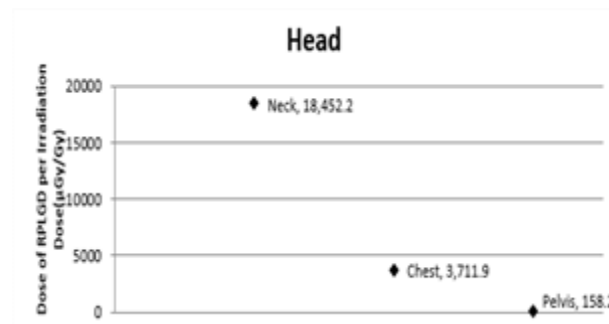


(c) Build up Characteristics at Chest Irradiation

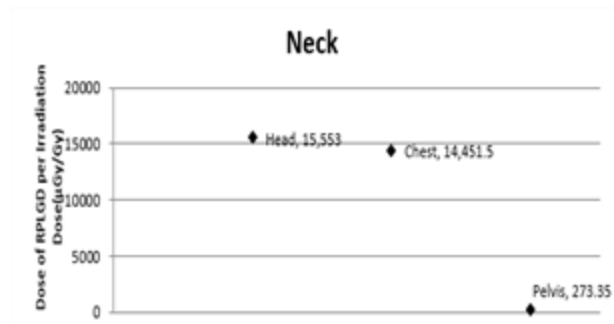


(d) Build up Characteristics at Pelvis Irradiation

Fig. 3. Build up Characteristics by time interval



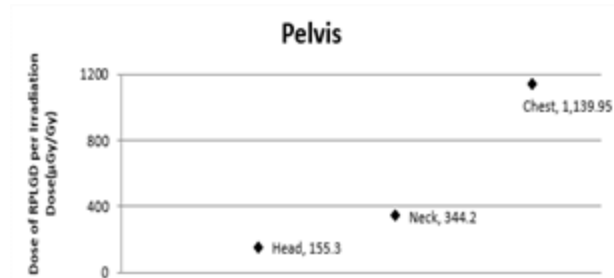
(a) Measurement Dose of RPLGD at Head Irradiation



(b) Measurement Dose of RPLGD at Neck Irradiation



(c) Measurement Dose of RPLGD at Chest Irradiation



(d) Measurement Dose of RPLGD at Pelvis Irradiation

Fig. 4. Measurement Dose of RPLGD

#### IV. DISCUSSION

본 연구에서 RPLGD의 시간경과에 따른 빌드업 특성에 관한 측정결과, 방사선 조사 후 24시간을 기준으로 관독 초기에는 약 75 ~ 79% 수준으로 포화되며 3일간 기준선량에 비해 1.8 ~ 4.8%까지 증가되었다. 이 결과와 반대로 저에너지 방사선발생장치를 이용한 방사선 조사 직후에는 초기에 36 ~ 58.4%로 포화된 후 시간이 지남에 따라 포화도가 증가하며 7일 시점에 100%로 포화됨을 보고하였다.<sup>[8]</sup> 마찬가지로 5 mGy 조사 시 18일 이후 포화되는 것으로 보고하였다.<sup>[9]</sup> 이러한 결과는 진단용 발생장치와 치료용 발생장치의 에너지 영역이 다르고 RPLGD가 실제 흡수한 선량차이가 크기 때문인 것으로 판단된다.

방사선 조사부위 이외 부분에서의 2차 방사선에 의한 선량은 조사 경계부에서 멀어질수록 선량이 급격히 감소하는 경향을 보였다. 조사야 경계로부터 13 ~ 20 cm 거리에서 처방선량에 대한 백분율이 1.4 ~ 1.9% 수준이었으며, 31 ~ 50 cm 거리에서 0.03 ~ 0.37% 수준인 것으로 나타났다. 선행 연구로 전뇌 방사선 치료 시 처방선량에 대한 백분율로 갑상선이 받는 선량이 약 1.5% 수준으로 나타났으며 조사야 경계로부터 10 ~ 15 cm 거리에서는 본 연구와 비슷한 결과를 나타내었다.<sup>[10]</sup> 하지만 간암 치료 시 조사야 경계로부터 20 ~ 80 cm 거리에서 처방선량에 대한 백분율이 0.05 ~ 1.3% 수준으로 나타났.<sup>[11]</sup> 조사야 경계로부터 50 cm 거리에서는 본 연구에 비해 높은 선량을 나타냈으며 이는 실험조건이 인체 유사 팬텀이 아닌 것과 조사조건이 다름으로 인해 나타나는 것으로 사료된다. 폐암 치료 시 갑상선이 받는 피폭을 3차원입체조형방사선치료(3DCRT, 3D Conformal Radiation Therapy)와 세기조절방사선치료(IMRT, Intensity Modulated Radiation Therapy)에서는 처방선량에 대한 백분율로 0.05%와 0.09% 수준으로 나타났.<sup>[12]</sup> 본 연구에 비해 결과가 낮게 나타난 원인은 실험에 사용된 선량계의 특성과 방사선 조사조건으로부터 발생한 차이로 인한 것으로 사료된다.

환자는 2차 방사선으로 인한 불필요한 피폭을 수

반한 채 방사선치료를 받고 있다. 그리고 2차 방사선으로 인한 피폭은 광증성자에 의한 피폭도 수반되며 총 선량은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 비인두암 치료 시 광자에 의한 전신 유효선량으로 2.258 Sv 까지 받을 수 있고 2차암 발생이 11.29% 증가할 수 있다.<sup>[13]</sup> 그리고 방사선치료를 받은 환자에게서 과도한 선량으로 인해 후유증이 나타나거나 치료방법 및 방사선 노출연령에 따른 암발생 위험률에 대한 비교도 보고되어지고 있으므로 2차 방사선을 줄이기 위한 대책이 필요할 것으로 사료된다.<sup>[10,14]</sup>

#### V. CONCLUSION

본 연구에서는 방사선 치료 시 치료 부위 이외의 누설선이나 산란선에 의해 환자가 받을 수 있는 선량을 확인하기 위해 실험을 수행하였다. 대기처리 방식으로 RPLGD의 관독 시 선량은 측정시점에 따라 1.8 ~ 4.8% 정도 과대평가 될 수 있음에 유의해야 한다. 누설선이나 산란선에 의한 2차 방사선은 조사야로부터 거리가 멀어질수록 선량이 급격히 낮아지나 방사선에 민감한 장기가 있는 지점에서는 처방선량의 0.03 ~ 1.8%까지 피폭을 수반할 수 있는 것으로 확인되었다.

다만 본 연구는 팬텀 내부 장기의 위치에 해당하는 지점에 선량계를 위치하여 선량을 측정하지 못하고 표면선량만 측정하여 장기의 선량 수준을 확인 할 수 없었고, 실제 치료조건에서 시뮬레이션 하지 못한 한계가 있었다. 본 연구의 한계점을 보완하여 향후 연구를 수행한다면 더욱 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

그동안 방사선 치료는 모든 이득이 환자에게 돌아간다는 정당화의 원칙에 따라 불필요한 피폭을 줄이는 것에 상대적으로 무관심하였다. 치료조건과 환자별 특징, 조사부위에 따라 환자가 받을 수 있는 피폭은 다양하므로 여러 경우들을 종합하여 환자의 피폭선량을 평가하고 불필요한 피폭을 방지하여 방호를 최적화하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 환자의 치료계획수립, 2차 방사선에 의한 환자의 피폭 선량평가 및 추가적인 차폐의 필요성에 관한 자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## Reference

- [1] KOARA, "Survey on the Status of Radiation/RI Utilization in 2015," 2016M2B5A1907172, 2017.
- [2] S. S. Kang, I. H. Go, G. J. Kim, S. H. Kim, Y. S. Kim, Y. J. Kim, W. Y. Kim, et al, *Radiation Therapeutics*, 3rd edition., Cheong-gu munwhasa, Seoul, 2014.
- [3] ICRP, Radiological Protection in Medicine, ICRP Publication 105, 2007.
- [4] ICRP, Radiological Protection and Safety in Medicine, ICRP Publication 73, 1996.
- [5] KFDA, Guideline on patient dose suggestion of general radiology, 2012.
- [6] Z. Knezevic, L. Stolarczyk, I. Bessieres, J. M. Bordy, S. Miljanic, P. Olko, "Photon dosimetry methods outside the target volume in radiation therapy: Optically stimulated luminescence(OSL), thermoluminescence(TL) and radiophotoluminescence(RPL) dosimetry," *Radiation Measurements*, Vol. 57, pp. 9-18, 2013.
- [7] Ashhi Techno Glass Corporation, "Explanation material of RPL glass dosimeter," Technical Report, ATGC, Tokyo, 2000.
- [8] D. C. Kweon, "Build up Characteristics of Radiophotoluminescent Glass Dosimeters with Exposure Time of X-ray," *Journal of Biomedical Engineering Research*, Vol. 38, No. 5, pp. 256-263, 2017.
- [9] J. H. Son, J. W. Min, K. W. Kim, S. Y. Son, H. S. Lim, "Experimental study on build up characteristic of glass dosimeter of preheat and Non-preheat in low energy according to delay time," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 14, No. 7, pp. 3412-3418, 2013.
- [10] M. S. Yang, J. K. Park, S. H. Lee, Y. S. Kim, S. Y. Lee, S. Y. Cha, "Evaluation of usability of the shielding effect for thyroid shield for peripheral dose during whole brain radiation therapy," *The Journal of Korean Society for Radiation Therapy*, Vol. 26, No. 2, pp. 265-272, 2014.
- [11] D. W. Kim, J. W. Sung, H. H. Lee, M. G. Yoon, W. K. Chung, S. H. Bae, D. O. Shin, K. Z. Chung, Y. K. Lim, D. H. Shin, S. B. Lee, "Estimation of Secondary Scattered Dose from Intensity-modulated Radiotherapy for Liver Cancer Cases, *Progress in Medical Physics*, Vol. 24, No. 4, pp. 295-302, 2013.
- [12] O. N. Yang, C. H. Lim, "A Study on the Thyroid Dose High-Energy Radiation Therapy of Lung Cancer," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 15, No. 6, pp. 298-302, 2015.
- [13] C. C. Yu, F. Y. Hsu, W. H. Yu, M. T. Liu, S. S. Huang, "Assessing doses of radiotherapy with the risk of developing cancer in the head and neck," *Radiation Measurements*, Vol. 46, pp. 1948-1951, 2011.
- [14] S. Y. Lee, "Estimation of Secondary Malignancies According to Radiotherapy Methods for Prostate Cancer," Chungbuk National University, 2016.

## 방사선 치료 시 산란선 및 누설선에 의한 표면선량 분포에 관한 연구

강종수,<sup>1,2</sup> 정동경,<sup>3</sup> 김용민<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>대구가톨릭대학교 방사선학과

<sup>2</sup>경북대학교 방사선안전관리실

<sup>3</sup>대구보건대학교 방사선과

### 요 약

방사선 치료 시 환자는 부득이하게 산란선과 누설선에 의한 2차 방사선 피폭을 받게 된다. 진단용 방사선의 경우 진단참조준위로 환자의 피폭을 줄이기 위한 가이드라인을 제시하고 있지만 치료용 방사선의 경우 2차 방사선에 의한 피폭선량이 상당함에도 불구하고 상한치 설정 시 치료 효과의 저감을 이유로 선량을 제한하지 않고 있다.

이에 본 연구는 선형가속기를 이용한 방사선 치료 시 원거리 조직에서 환자가 받을 수 있는 2차 방사선을 형광유리선량계로 측정하였으며 형광유리선량계의 빌드업 특성에 따른 형광량의 포화도를 측정하였다. 연구 결과 조사야 경계로부터 거리가 멀어질수록 피폭선량은 급격히 줄어들었으며, 두부 1 Gy 조사 시 경부 18.45 mGy, 경부 1 Gy 조사 시 두부 15.55 mGy, 흉부 1 Gy 조사 시 경부 14.26 mGy, 골반 1 Gy 조사 시 흉부 1.14 mGy로 피폭되었다. 형광량의 포화도는 관독시점에 따라 1.8 ~ 4.8% 정도 과대평가 될 수 있음을 확인하였다.

중심단어: 방사선치료, 2차 방사선, 형광유리선량계