

A Study on the Reduction of Absorbed Dose through the Insertion of a Shielding Material in the Intraoralsensor of Dental Radiography

A Yeon Kim¹, Seung-Jae Lee^{2,3,*}

¹Lee Dental Clinic

²Department of Radiological Science, Dongseo University

³Center for Radiological Environment & Health Science, Dongseo University

Received: May 17, 2022. Revised: June 10, 2022. Accepted: June 30, 2022.

ABSTRACT

In order to reduce the absorbed dose given to the patient during dental radiography, a sensor that inserts a shield into the intraoralsensor was designed. Using the designed sensor, the change in absorbed dose depending on whether or not a shield was used was evaluated. The system used to evaluate the absorbed dose is VEX-S300C from Vatech, and the energy spectrum of X-rays was obtained through SPEKTR simulation based on the irradiation conditions of 65 kV, 3 mA, and 0.15 sec, and the number of photons for each energy was derived. After designing the system through Genat4 Application for Tomographic Emission(GATE) simulation, the energy spectrum obtained was used as a radiation source to calculate the absorbed dose. Lead was used for the shield, and simulations were performed at 0.1 mm thickness intervals from 0.1 mm to 0.5 mm was evaluated. In the case of using an X-ray field with a diameter of 60 mm, the decrease in absorbed dose according to the presence or absence of a shield decreased exponentially as the thickness of the shield increased. In addition, when a 20 mm × 30 mm field was used, the absorbed dose was significantly reduced even when no shield was used, and it was confirmed that the absorbed dose was further reduced when a shield was used.

Keywords: Dental radiography, Intraoralsensor, Shield, SPEKTR, GATE

I. INTRODUCTION

현대 의학에서 방사선을 통한 질병의 진단과 치료는 필수 수단으로 간주되고 있다^[1]. 다양한 기관, 장기, 구조물에 대한 방사선 촬영이 이루어지고 이를 바탕으로 질병의 진단과 치료에 방사선이 이용되고 있다. 이러한 방사선 촬영이 증가함에 따라 방사선으로 인한 인체의 피폭에 대한 관심도 증가하고 있으며, 피폭선량에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다^[2-6]. 치과 방사선 촬영에 따른 피폭량은 극히 미량이라고 알려져 있어, 피폭선량에 대한 연구는 미미하였으나, 최근 방사선 피폭에 대한 사회적인 관심이 증가함에 따라 치과 방사선에 대한 피

폭선량 연구도 증가하고 있다^[7-12]. 그러나 대다수의 연구는 피폭선량을 평가하는 것으로 피폭선량을 감소시킬 수 있는 방안에 대한 연구는 미미하다.

이에 본 연구에서는 구내 방사선 촬영 시 인체에 부여되는 피폭선량을 감소시킬 수 있는 방법을 도출하고자 한다. 구내 촬영에 사용되는 센서는 여러 구조물의 층으로 구성된다^[13]. Fig. 1과 같이 실질적인 영상을 구성하기 위한 센서 등을 감싸고 있는 하우징과 X-선을 빛으로 변환시켜주는 섬광체 및 이를 센서로 정확히 전달하기 위한 광학판, 빛을 전기적 신호로 바꿔주는 Complementary metal-oxide-semiconductor(CMOS) 센서, 전자적 신호를 처리하기 위한 회로기판 등으로 구성된다. 이러한 구조물

* Corresponding Author: Seung-Jae Lee E-mail: sjlee@gdsu.dongseo.ac.kr
Address: Jurye-ro 47, Sasang-gu, Busan, Republic of Korea

Tel: +82-51-320-2719

층에서 가장 후면에 차폐체를 삽입하여 인체가 받는 피폭선량의 변화량을 평가하였다. 이를 위해 X-선의 에너지스펙트럼을 생성하고, 각 에너지에 따른 광자의 수를 산출할 수 있는 SPEKTR^[14] 시뮬레이션 툴을 사용하여 방사선원을 산출하였고, 방사선원을 Geant4 Application for Tomographic Emission (GATE)^[15] 시뮬레이션 툴에 적용하여 차폐체의 삽입 유무에 따른 피폭선량의 변화를 측정하였다.

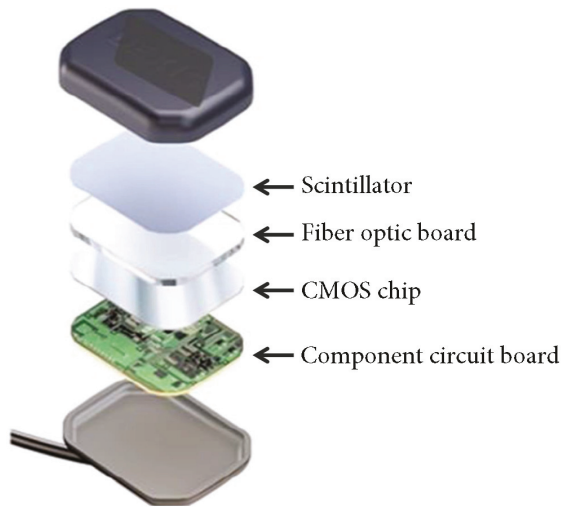


Fig. 1. The structure of the intraoral sensor of dental radiography.

II. MATERIAL AND METHODS

1. SPEKTR 시뮬레이션

SPEKTR은 X-선의 에너지스펙트럼을 획득하고 각 에너지별 발생된 광자의 수를 획득할 수 있는 시뮬레이션 툴이다. 관전압, 필터의 두께 및 종류 등의 변화를 통해 X-선 스펙트럼을 획득할 수 있으며, 거리 100 cm에서 mm²당 광자의 수로 표현된다. 이를 활용하여 치과 방사선 촬영 중 구내 촬영의 조사 조건을 바탕으로 시뮬레이션을 수행하여 X-선 에너지스펙트럼과 광자의 수를 도출하였다. 시뮬레이션에 사용한 장비는 Fig. 2와 같이 바텍사의 VEX-S300C이며, 65 kV, 3 mA, 0.15 sec의 조사 조건을 사용하였다.

2. GATE 시뮬레이션

GATE 시뮬레이션 툴은 Geant4 기반으로 다양한 방사선 기기를 모사하고 평가할 수 있다. 초기에는 핵의학 영상 기기에 대한 시뮬레이션에 관한 연구가 주로 이루어졌으며, 이후 치료기기, CT 등의 시뮬레이션도 수행 가능 하도록 다양한 기기를 추가하였다. 현재는 선량 평가에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다^[16-20]. 이를 바탕으로 Fig. 3과 같이 치과 방사선의 구내 촬영에서 환자를 촬영하는 조건을 바탕으로 선량을 평가하였다. 모사한 시스템은 SPEKTR 시뮬레이션에서 모사한 시스템과 동일하다. X-선원은 SPEKTR 시뮬레이션을 통해 도출한 결과를 적용하였다. 초점과 센서간의 거리는 250 mm로 설정하였으며, 조사 입구는 센서로부터 50 mm 거리가 멀어지도록 설계하였으며, X-선 조사야는 직경 60 mm와 시스템의 옵션으로 선택 가능한 20 mm × 30 mm 두 가지로 설계하여 비교하였다. 센서의 크기는 26 mm × 36 mm × 4.8 mm로 구성하였다. 센서 앞에는 치아가 놓여진 상황을 가정하여 직경 10 mm, 높이 20 mm의 팬텀을 위치시켰으며, 센서 뒤에는 두경부가 위치하는 것을 가정하여 150 mm × 150 mm × 150 mm의 팬텀을 위치시켜, 두경부 팬텀에서 피폭선량을 측정하였다. 센서의 물질은 플라스틱으로 설정하였으며, CMOS 센서는 실리콘으로 설정하였다. 치아 팬텀은 뼈로 설정하였고, 두경부 팬텀은 Poly Methyl Methacrylate(PMMA)로 설정하였다.



Fig. 2. Vatech's VEX-S300C dental radiography system used in the simulation. X-rays were generated under irradiations of 65 kVp, 3 mA, and 0.15 sec.

3. 선량 평가

SPEKTR 시뮬레이션을 통해 획득한 X-선 광자를 GATE 시뮬레이션의 방사선원으로 적용하여 두경부 팬텀에서의 선량을 획득하였다. 센서 뒷면에 차폐체를 위치시켜, 차폐체의 유무에 따라 선량의 변화를 도출하였으며, 차폐체의 두께에 따라 변화되는 선량을 평가하였다. 차폐체로는 납을 사용하였으며, 두께는 0.05 mm ~ 0.3 mm로 0.05 mm 간격으로 구성하였다.

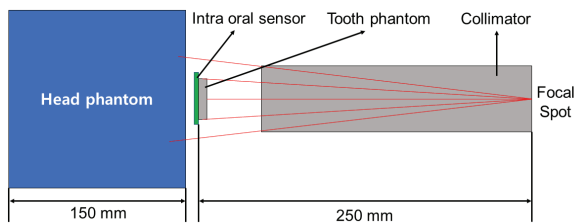


Fig. 3. Intraoral imaging of dental radiography configured in GATE simulation for dose evaluation.

III. RESULT

SPEKTR 시뮬레이션을 통해 구내 X-선 조사 시스템의 에너지스펙트럼과 각 에너지별 광자의 수를 획득하였다. Fig. 4는 65 kV의 관전압을 통해 획득한 에너지스펙트럼을 나타낸다. 이는 100 cm 거리에서 1 mm²에 대한 면적에 입사하는 각 에너지별 X-선의 분포를 나타낸다.

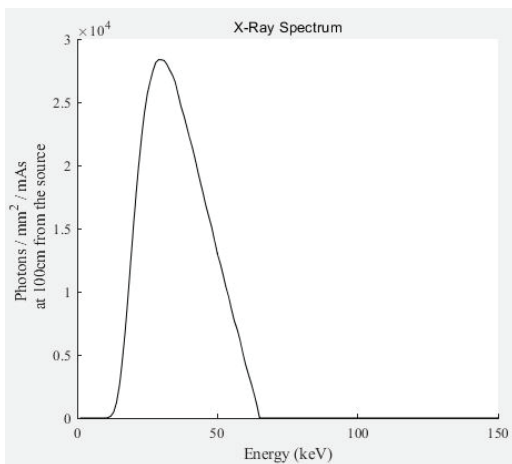


Fig. 4. Energy spectrum for a tube voltage of 65 kV obtained through SPEKTR simulation.

SPEKTR 시뮬레이션에서 획득한 X-선 에너지별 광자의 수를 통해 GATE 시뮬레이션의 방사선원으로 사용하였다. 직경 60 mm 및 20 mm x 30 mm의 조사야를 가지는 시스템에서의 피폭선량을 측정하기 위해 Fig. 3과 같이 구성한 후 X-선을 조사하였다. 또한 동일한 구성에서 납 차폐체의 두께별 피폭선량을 측정하였으며, 이를 Table 1에 나타내었다. Table 1에 나타낸 피폭선량은 각 조사야별 차폐체의 유무 및 차폐체의 두께에 따라 두경부 팬텀에서 측정된 값이다. 차폐체가 없는 경우에 대한 상대적인 값으로 나타내었다.

Table 1. Relative absorbed dose according to the use of shielding material when the X-ray field is 60 mm diameter and 20 mm × 30 mm in GATE simulation.

Shield thickness	X-ray field	
	60 mm diameter	20 mm x 30 mm
w/o shield	100	100
Pb 0.1 mm	96.92	44.42
Pb 0.2 mm	96.44	35.54
Pb 0.3 mm	96.26	32.15
Pb 0.4 mm	96.17	30.58
Pb 0.5 mm	96.13	29.86

직경 60 mm의 조사야를 지니고 차폐체를 사용하지 않는 기존 방식의 피폭선량에 비해, 납 차폐체를 사용하였을 경우, 두께가 증가함에 따라 피폭선량은 지수함수적으로 감소되는 것을 확인할 수 있다. 납 0.1 mm 두께를 사용하였을 경우, 차폐체를 사용하지 않는 기존 방식에 비해 3.08% 줄어드는 것을 확인할 수 있으며, 0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mm, 0.5 mm에서는 각각 3.56%, 3.74%, 3.83%, 3.87%로 감소되는 추세를 보이는 것을 확인할 수 있다.

조사야를 20 mm × 30 mm로 설정한 경우, 차폐체 사용 유무 및 두께에 따른 피폭선량은 각 두께별로 0.1 mm부터 0.5 mm까지 55.58%, 64.46%, 67.85%, 69.42%, 70.14% 감소되는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5에 각 조사야에 따른 기존 방식과 차폐체의 두께에 따른 피폭선량의 변화를 나타내었다. 직경 60 mm와 20 mm × 30 mm의 조사야에서 모두 차

폐체를 사용하였을 때 지수함수적으로 피폭선량이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

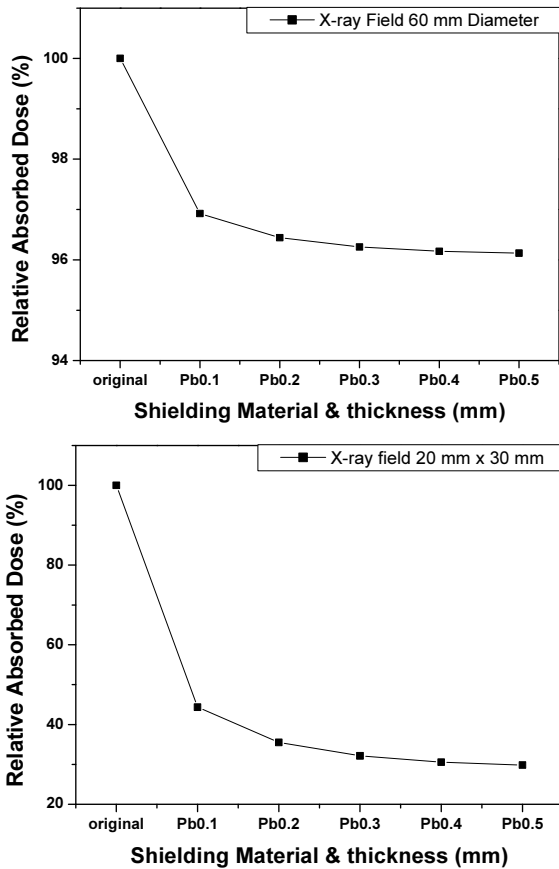


Fig. 5. Change in relative absorbed dose depending on whether or not a shield is used for each X-ray field.

IV. DISCUSSION

조사야의 크기를 직경 60 mm에서 20 mm × 30 mm로 변경하였을 경우, 피폭선량은 감소되어 나타났다. 이는 Fig. 6에서 보듯이 20 mm × 30 mm의 조사야는 센서 크기와 거의 일치하여 그 이외 영역에는 X-선이 조사되지 않은 결과로 분석된다. 그러나 직경 60 mm 조사야로 X-선을 조사하여 촬영할 경우 센서 이외의 영역에 X-선이 조사되어 촬영과는 필요 없는 선량이 부여된 것으로 판단된다. 센서 크기에 맞는 조사야를 선택하고 차폐체를 사용하면 환자에게 낮은 선량이 부여될 것으로 사료된다.

현재 납의 유해성으로 인해 인체에 접촉되는 환경을 배제하려는 노력이 이루어지고 있다. 구강내

센서에 차폐체로 납을 사용할 경우 유해성이 문제가 될 수 있다. 그러나 구강내 센서는 센서를 보호하기 위해 덮개를 사용하므로 이러한 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다. 그러나 센서의 손상으로 인해 발생할 위험이 있으므로 향후 연구에서는 납이 아닌 다른 물질로 대체하여 환자의 피폭선량에 대한 연구를 수행하고자 한다.

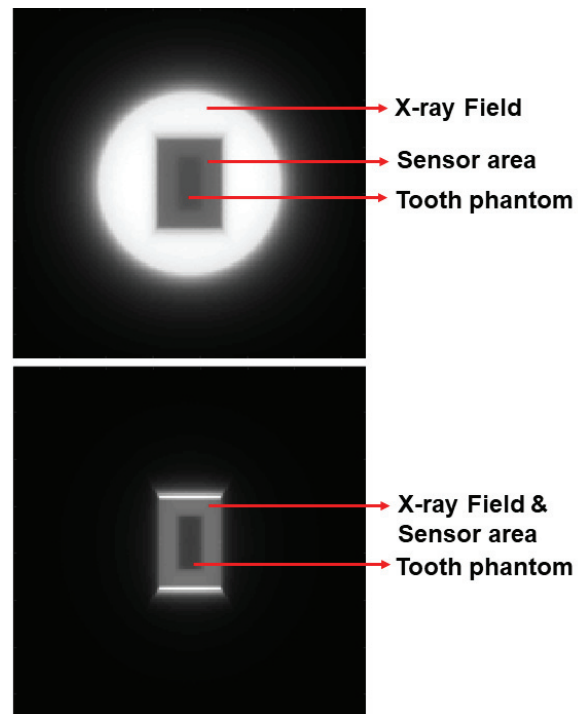


Fig. 6. Dose distribution of head phantom according to the X-ray field. 60 mm diameter field (upper), 20 mm x 30 mm field (bottom).

V. CONCLUSION

치과 방사선의 구내 촬영에서의 피폭선량을 감소시키기 위한 방안으로 센서 후면에 차폐체를 삽입하여 인체에 조사되는 X-선의 양을 감소시키기 위한 연구를 수행하였다. 기존 시스템에 사용되는 직경 60 mm의 조사야와 선택 사항으로 구성할 수 있는 20 mm × 30 mm 조사야를 바탕으로 차폐체의 유무 및 두께에 따른 피폭선량을 획득 및 평가하였다. 모든 조사야에서 차폐체의 두께가 증가함에 따라 피폭선량은 지수함수적으로 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

치과 촬영을 위한 구내 촬영 시스템을 설계시 센

서 내부에 얇은 두께의 차폐체를 사용할 경우 센서의 크기 변화없이 인체의 부여되는 피폭선량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 촬영 시스템의 조사야를 센서 크기에 맞출 경우 피폭선량을 확연히 감소시킬 수 있을 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 2022년도 동서대학교 “Dongseo Cluster Project” 지원에 의하여 이루어진 것임 (DSU-20220004).

Reference

- [1] S. R. Hwang, "The need for developing guidelines for radiation protection in dental institutions", *Journal of Korean Academy of Oral Health*, Vol. 43, No. 2, pp. 92-99, 2019. <https://doi.org/10.11149/jkaoh.2019.43.2.92>.
- [2] D. Seo, K. H. Kim, J. S. Kim, S. Han, K. Park, J. Kim, "Evaluation of radiation doses in patient and medical staff during endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures", *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 168, No. 4, pp. 516-522, 2016. <http://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncv373>
- [3] S. Y. Lee, K. L. Kim, H. K. Ha, I. C. Im, J. S. Lee, H. H. Park, B. J. Kwak, Y. S. Yu, "Evaluation of Radiation Exposure Dose for Examination Purposes other than the Critical Organ from Computed Tomography: A base on the Dose Reference Level (DRL)", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 7, No. 2, pp. 121-129, 2013. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2013.7.2.121>
- [4] A. V. B. Castilho, D. Szjenfeld, D. Nalli, V. Fornazari, A. C. Moreira, R. B. Medeiros, "A Study of Radiation Doses to the Patient and Medical Team at Embolization Procedures", *Journal of Radiation Protection and Research*, Vol. 44, No. 3, pp. 110-117, 2019. <https://doi.org/10.14407/jrpr.2019.44.3.110>.
- [5] J. K. Ko, Y. M. Kim, "Evaluation of effective dose during X-ray training in a radiological technology program in Korea", *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, Vol. 11, No. 4, pp. 383-392, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2018.08.001>.
- [6] H. W. Kwon, J. P. Kim, H. J. Lee, J. C. Paeng, J. S. Lee, G. J. Cheon, D. S. Lee, J-K. Chung, and K. W. Kang, "Radiation Dose from Whole-Body F-18 Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography/Computed Tomography: Nationwide Survey in Korea", *Journal of Korean Medical Science*, Vol. 31, No. 1, pp. 69-74, 2016. <http://dx.doi.org/10.3346/jkms.2016.31.S1.S69>.
- [7] W. J. Han, "Absorbed and effective dose for periapical radiography using portable and wall type dental X-ray machines", *The Journal of Korean Academy of Prosthodontics*, Vol. 50, No. 3, pp. 184-190, 2012. <http://dx.doi.org/10.4047/jkap.2012.50.3.184>.
- [8] C. H. Lim, S. C. Kim, H. R. Jung, D. H. Hong, I. G. You, C. S. Jeong, "The Study for Radio Protection According to a Possible Danger of Exposure During dental X-ray Examination", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 5, No. 5, pp. 237-244, 2011. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2011.5.5.237>
- [9] Y. J. Oh, G. R. Hong, S. Y. Lee, "Study on the Exposure Field of Head and Neck with Measurement of X-ray dose Distribution for Dental Panoramic X-ray System", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 9, No. 1, pp. 17-21, 2015. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2015.9.1.17>
- [10] I. W. Park, W. K. Jeung, H. S. Hwang, S. H. Lim, D. N. Lee, I. C. Im, J. S. Lee, H. H. Park, B. J. Kwak, Y. S. Yu, "A Study on the Patient Exposure Doses from the Panoramic Radiography using Dentistry", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 7, No. 1, pp. 17-24, 2013. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2013.7.1.017>
- [11] W. S. Jeon, D. K. Han, "Evaluation the absorbed dose in brain of dental radiography", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 5, No. 6, pp. 343-349, 2011. <https://doi.org/10.7742/jksr.2011.5.6.343>
- [12] E. M. T. Nury, B. S. Ibrahim, "Evaluation Effective Dose for Patients Undergoing Dental X-Ray Examination", *Erbil Dental Journal*, Vol. 1, No. 2, pp. 117-124, 2018. <http://dx.doi.org/10.15218/edj.2018.16>
- [13] C. W. Liao, K. J. Huang, J. C. Chen, C. W. Kuo, Y. Y. Wu, J. T. Hsu, "A Prototype Intraoral

- Periapical Sensor with High Frame Rates for a 2.5D Periapical Radiography System", *Applied Bionics and Biomechanics*, Vol. 2019, pp. 1-9, 2019. <http://dx.doi.org/10.1155/2019/7987496>
- [14] J. Punnoose, J. Xu, A. Sisniega, W. Zbijewski, and J. H. Siewerdsen, "Technical Note: SPEKTR 3.0 - A computational tool for x-ray spectrum modeling and analysis", *Medical Physics*, Vol. 43, No. 8, pp. 4711-4717, 2016. <https://doi.org/10.1118/1.4955438>
- [15] D. Sarrut, M. Bardies, N. Bousson, N. Freud, S. Jan, J. M. Letang, G. Loudos, L. Maigne, S. Marcatili, T. Mauxion, D. R. Schaart, D. Visvikis, I. Buvat, "A review of the use and potential of the GATE Monte Carlo simulation code for radiation therapy and dosimetry applications", *Medical Physics*, Vol. 41, No. 6, pp. 064301, 2014. <http://dx.doi.org/10.1118/1.4871617>
- [16] T. Deschler, N. Arbor, F. Carbillat, A. Nourreddine, "Dose calculations in heterogeneous volumes with the GATE Monte Carlo software for radiological protection", *Radioprotection*, Vol. 54, No. 2, pp. 125-132, 2019. <http://dx.doi.org/10.1051/radiopro/2019014>
- [17] S. Benhalouche, D. Visvikis, A. Le Maitre, O. Pradier, N. Bousson, "Evaluation of clinical IMRT treatment planning using the GATE Monte Carlo simulation platform for absolute and relative dose calculations", *Medical Physics*, Vol. 40, No. 2, pp. 021711, 2013. <https://doi.org/10.1118/1.4774358>
- [18] D. Sarrut, J. N. Badel, A. Halty, G. Garin, D. Perol, P. Cassier, J. Y. Blay, D. Kryza, A. L. Giraudet, "3D absorbed dose distribution estimated by Monte Carlo simulation in radionuclide therapy with a monoclonal antibody targeting synovial sarcoma", *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging Physics*, Vol. 4, No. 6, pp. 1-16, 2017. <http://dx.doi.org/10.1186/s40658-016-0172-1>
- [19] M. S. Lee, D. Hwang, J. H. Kim, J. S. Lee, "Deep-dose: a voxel dose estimation method using deep convolutional neural network for personalized internal dosimetry", *SCIENTIFIC REPORTS*, Vol. 9, pp. 10308, 2019. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-46620-y>
- [20] L. Grevillot, D. J. Boersma, H. Fuchs, M. Bolsa-Ferruz, L. Scheuchenpflug, D. Georg, G. Kronrief, M. Stock, "The GATE-RTion/IDEAL Independent Dose Calculation System for Light Ion Beam Therapy", *Frontiers of Physics in China*, Vol. 9, pp. 704760, 2021. <http://dx.doi.org/10.3389/FPHY.2021.704760>

치과 방사선촬영 시 구내 센서 내 차폐체 삽입을 통한 피폭선량 감소 연구

김아연¹, 이승재^{2,3,*}

¹이치과의원

²동서대학교 방사선학과

³동서대학교 방사선보건환경연구센터

요 약

치과 방사선촬영 시 환자에게 부여되는 피폭선량을 감소시키기 위해 구내 센서 내에 차폐체를 삽입하는 센서를 설계하였다. 설계한 센서를 사용하여 차폐체의 사용 유무에 따른 피폭선량의 변화를 평가하였다. 피폭선량 평가에 사용한 시스템은 바텍 사의 VEX-S300C이며, 65 kV, 3 mA, 0.15 sec의 조사 조건을 바탕으로 SPEKTR 시뮬레이션을 통해 X-선의 에너지스펙트럼을 획득하고, 각 에너지별 광자수를 도출하였다. Genat4 Application for Tomographic Emission(GATE) 시뮬레이션을 통해 시스템을 설계한 후 획득한 에너지스펙트럼을 방사선원으로 사용하여 피폭선량을 산출하였다. 차폐체는 납을 사용하였으며, 0.1 mm ~ 0.5 mm 까지 0.1 mm 두께 간격으로 시뮬레이션을 수행하였으며, 이때 설계한 조사야는 직경 60 mm와 시스템의 선택 사항으로 사용 가능한 20 mm × 30 mm의 조사야에 대한 피폭선량을 평가하였다. 직경 60 mm 조사야를 사용할 경우 차폐체의 유무에 따른 피폭선량의 감소는 차폐체의 두께가 증가함에 따라 지수함수적으로 감소하였다. 또한 20 mm × 30 mm 조사야를 사용할 경우 차폐체를 사용하지 않았음에도 피폭선량은 상당히 감소하였고, 차폐체를 사용할 경우 더욱 피폭선량은 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

중심단어: 치과 방사선촬영, 구내 센서, 차폐체, SPEKTR, GATE

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김아연	이치과의원	치과위생사
(교신저자)	이승재	동서대학교 방사선학과	교수