

Feasibility Study of Modifying Diagnostic Radiation Dose using Magnetic Field

Jeong-Min Seo*

Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan

Received: October 07, 2024. Revised: October 24, 2024. Accepted: October 31, 2024.

ABSTRACT

This study investigated the feasibility of applying the changes in electron dose distribution, observed in high-energy therapeutic radiation using magnetic fields, to low-energy diagnostic radiation. The diagnostic X-ray exposure conditions were set with a tube current of 200 mA, source-to-detector distance (SDD) of 100 cm, exposure time of 1.0 sec, and an irradiation field size of 20×20 cm². The tube voltage was varied from 70 to 100 kVp in 10 kVp increments. A 0.5 T permanent Nd magnet was used to create a magnetic field below the collimator. Measurements were repeated 20 times for each tube voltage, both with and without the magnetic field, and were compared using an independent-samples t-test. While slight differences of dose were observed at tube voltages of 70, 80, and 90 kVp, no statistically significant differences were found ($p > .05$). However, a significant difference was observed at 100 kVp ($p = .048$). Based on these findings, it is suggested that applying higher energy, longer exposure times, stronger magnetic fields, and high-performance detectors could potentially modify the electron dose distribution in diagnostic radiation. This could contribute to dose reduction for patients and improvement in the quality of medical imaging.

Keywords: Magnetic Field, Electron Beam, Dose Reduction

I. INTRODUCTION

의료방사선의 사용에서 피검자에 대한 방사선의 방호는 명확한 이슈이다. 진단 및 중재적 방사선 절차에서 불필요하거나 비생산적인 방사선피폭을 방지하기 위한 기전으로서 절차의 정당화와 최적화를 만족하기 위한 환자 선량의 관리가 적절하게 이루어져야만 한다^[1]. 우리나라 1인 기준 연간 진단용 방사선 피폭선량은 약 1.4 mSv이며, 진단용 엑스선을 이용한 일반촬영이 0.44 mSv로 약 32%를 차지한다^[2].

국제방사선방호위원회의 권고에 따른 인체에 유해한 방사선은 물질의 전리현상을 유발할 수 있는 것으로서 알파선, 베타선과 전자선, 감마선과 엑스선 및 중성자선 등이 있으며 의료 진단용에서 사용

하는 것은 주로 엑스선이라고 할 수 있다^[3]. 진단용 엑스선의 발생 과정에서 전자선이 다량 발생하며, 제동엑스선의 관전압 및 관전류 값에 따라 전자의 발생량이 변화된다^[4]. 진단용 엑스선의 에너지 분포에는 엑스선 발생 과정에서 함께 발생하는 전자선이 크게 기여하며^[5]. 이는 피검자에 대한 피폭선량과 방사선의 방호에도 영향을 미친다고 할 수 있다.

전자선과 같은 하전입자 방사선은 자기장을 통과할 때 영향을 받아 진행경로가 변화된다. 의료방사선 분야에서 자기장을 이용한 전자선의 경로변화를 유도하여 방사선 선량의 변화를 확인하는 실험연구와 전산모사 연구가 다수 수행되었다^[6-11]. 방사선치료의 고에너지 엑스선 치료 시 0.5 T 수준의 강도를 가진 영구자석으로 전자선속의 경로를 변화시키는 연구를 확인할 수 있으며^[6,7], 엑스선의 수

* Corresponding Author: Jeong-Min Seo

E-mail: thomas8@cup.ac.kr

Tel: +82-51-510-0581

직 방향으로 0.3 T의 저 강도 자기장을 인가하여 전자선속의 방향을 변화시켜 직장암 치료의 주변 선량 감소를 확인하는 연구를 찾아 볼 수 있다¹²⁾.

자기장에 의한 의료 방사선 선량 변화에 사용되는 영구자석은 자기적 특성이 우수한 Nd계 자석이 주로 이용되고 있다^{6,7,12,13)}. 이같이 자기장을 이용한 의료방사선 선량변화를 확인하는 대부분의 관련 연구들이 치료용 방사선의 선량변화 확인에 국한되어 있으며 진단용 방사선에 대한 연구는 찾아 보기 어렵다.

본 연구에서는 진단용 엑스선을 사용할 때 발생하는 전자선이 피검자에게 미치는 방사선 선량의 영향을 확인하고, 이를 개선할 방안을 탐색하였다. 이를 위해 저 강도 자기장을 활용하여 진단용 엑스선에서 전자선이 기여하는 선량 변화의 적용 가능성을 평가하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

방사선발생장치(REX-650R, Listem, ROK)를 이용하여 관전류 200 mA, SDD 100 cm, 조사시간 1.0 sec, 조사면 크기는 일반 엑스선 영상검사에서 사용되는 조사면 크기와 영상수용체 크기를 고려하여 20 × 20 cm²로 고정하고, 관전압에 의한 변화를 확인하기 위하여 진단용 엑스선 검사에서 적용하는 일반적인 조건 범위인 70에서 100 kVp까지 10 kVp 간격으로 엑스선을 조사하고 측정하였다. 방사선량 측정에는 멀티미터 방사선 검출기(ThinX Rad, Raysafe(Unfors), Sweden)를 사용하였다.

영구자석은 10 × 5 cm² 판형으로 형성하여, 콜리메이터 조사창 아래에 양쪽으로 15 cm 간격으로 설치하고 방사선 조사방향에 대하여 엑스선관의 음극과 양극 방향 축으로 직교하는 자기장이 형성 되도록 하였다. 자기장은 영구자석 표면에서 0.5 T 자기장을 적용하였으며, 자기장 측정에는 Tesla-meter(TM-801 EXP, Kanetec, Japan)을 사용하였다.

자기장을 형성하지 않은 상황에서 관전압 조건 별로 각 20회 반복 측정하였으며, Nd계 영구자석을 이용하여 자기장을 형성한 상황에서 관전압 조건 별로 각 20회 반복측정하고 그 결과를 비교하였다.

측정한 결과는 SPSS (SPSS Statistics 26, IBM, US)를 이용하여 비교하였으며 유의수준은 0.05를 기준으로 하였다.

III. RESULT

본 실험에서 측정한 측정값은 mGy 단위로 획득하였으며, 각 관전압에서 자기장을 적용하지 않은 상황에서 측정한 결과와 자기장을 적용한 상황에서 측정한 결과를 사용하여 독립표본 t 검정을 시행하였고, 등분산 검정을 통하여 등분산 가정 여부를 구분하고 이에 해당되는 t 검정의 유의확률을 적용하였다. 그 결과는 Table 1과 같다. 또한 방사선발생장치의 출력의 재현성을 확인하기 위하여 각 조사조건별 변동계수를 확인하였으며 모든 조사조건에서 0.05 미만의 값을 보였고 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 1. Results of measured dose in two sample T-test by using magnetic field in each tube voltage

Tube Voltage	Absorbed Dose		p
	Normal Condition	Magnetic Field	
70	11.105 ± 0.211	11.015 ± 0.114	0.104
80	15.385 ± 0.087	15.340 ± 0.068	0.077
90	17.960 ± 0.139	17.885 ± 0.099	0.058
100	21.325 ± 0.155	21.245 ± 0.076	0.048

Tube voltage [kVp]
 Absorbed dose : mean ± SD [mGy]
 p : p-value

Table 2. Coefficient of variation in each tube voltage

Tube Voltage	Coefficient Variation	
	Normal Condition	Magnetic Field
70	0.0190	0.0103
80	0.0056	0.0044
90	0.0077	0.0055
100	0.0073	0.0036

Tube voltage [kVp]

관전압 70 kVp에서 자기장이 없는 일반적인 상황에서의 측정값은 11.105 ± 0.211 mGy, 자기장이 적용된 상황에서의 측정값은 11.015 ± 0.114 mGy로

나타났으며 두 측정그룹 사이의 유의확률은 0.104로 나타났다. 관전압 80 kVp에서 자기장이 없는 일반적인 상황에서의 측정값은 15.385 ± 0.087 mGy, 자기장이 적용된 상황에서의 측정값은 15.340 ± 0.068 mGy로 나타났으며 두 측정그룹 사이의 유의확률은 0.077로 나타났다. 관전압 90 kVp에서 자기장이 없는 일반적인 상황에서의 측정값은 17.960 ± 0.139 mGy, 자기장이 적용된 상황에서의 측정값은 17.885 ± 0.099 mGy로 나타났으며 두 측정그룹 사이의 유의확률은 0.058로 나타났다. 관전압 70, 80, 그리고 90 kVp에서 자기장 적용에 따른 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않으나 자기장을 적용한 조건의 측정값이 미세하게 낮은 측정값을 보이는 것을 볼 수 있었다. 관전압 100 kVp에서 자기장이 없는 일반적인 상황에서의 측정값은 21.325 ± 0.155 mGy, 자기장이 적용된 상황에서의 측정값은 21.245 ± 0.076 mGy로 나타났으며 두 측정그룹 사이의 유의확률은 0.048로 차이가 보임을 확인할 수 있었다.

IV. DISCUSSION

본 연구에서는 의료방사선 분야에서 일반 엑스선 영상검사용으로 사용하는 방사선발생장치에서 영상의 형성에 기여하는 제동엑스선과 함께 발생하는 전자선으로 인한 피검자의 피폭선량을 확인하고 이를 개선하는 방향을 탐색하기 위한 기초연구의 가능성을 확인하였다. 저에너지 엑스선에 0.5 T의 자기장을 인가하고 측정하였을 때 자기장이 없는 상황과 미세한 차이를 보이는 것을 확인하였다. 사전 선행 연구로 동일한 조사조건에서 0.3 T를 이용하여 비교 측정을 하였으나 선량의 차이가 나타나지 않았으며, 본 연구에서와 같이 0.5 T에서 미약하나마 선량의 차이가 보임을 확인할 수 있었고 이는 더 높은 강도의 자기장을 적용한다면 더 유의한 차이를 보일 수 있을 것으로 사료되는 부분이다.

Ahn 등의 연구에서 0.5 T의 Nd 영구자석을 이용하여 고에너지 엑스선 조사 시 발생하는 전자선의 흡수선량을 조절함으로써 특정 부분의 선량을 약 30% 감소시켰으며^[6,7] Je 등의 연구에서는 자기장 800 Gauss, 0.37 T, 0.5 T의 영구자석을 이용하여 전

자선 조사의 표면선량을 최대 27%까지 감소시킬 수 있음을 확인하였다^[9]. 또한 Jung 등의 연구에서 0.3T의 낮은 자기장을 사용하여 6 MV 고에너지 광자선 치료에서 정상조직에 최대 33.1%의 전달선량 감소가 가능함을 확인하였다^[12]. 이러한 기존의 관련 연구 사례들은 방사선치료분야의 고에너지 방사선에 대한 연구가 대부분이다. 이는 치료용 고에너지 방사선의 발생 시, 높은 에너지와 긴 조사시간으로 선량전달에 함께 기여하는 전자선의 비중이 높아 낮은 자기장 강도를 이용하여 유의한 선량 변화가 가능하기 때문인 것으로 사료된다. 이처럼 관련 연구 대부분은 방사선치료에 국한되어 있으며 진단용 방사선에 대한 영향을 연구한 사례는 찾아보기 어렵다. 본 연구는 자기장을 이용한 선량 변화 가능성을 진단용 방사선 검사에서 적용하여 선량의 변화 가능성을 확인하고자 함으로써 진단방사선 분야의 선량관리에 중요한 인자를 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 진단용 엑스선의 에너지가 높아짐에 따라 전자선의 기여로 보이는 선량의 변화가 미세하게 증가함을 확인하였다. 일반 엑스선 영상 검사에서 적용하는 최고 관전압 영역까지의 높은 에너지와 1.0 T 이상 수준의 더 강한 자기장 그리고 투시검사까지 고려한 더 긴 조사시간을 적용하여 광범위한 조사조건과 자기장 위치에 따른 선량 변화 가능성 연구와 함께 전산모사를 통한 연구가 이어져야 할 내용으로 사료된다. 또한 본 연구에서 사용한 검출기의 한계를 고려하여 후속연구로 전리함 및 필름을 이용한 선량측정이 필요할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSIONS

본 연구에서는 치료용 고에너지 방사선에서 이미 확인된 바 있는 자기장을 이용한 전자선 선량의 변화를 저에너지 방사선 영역인 진단용 엑스선의 사용에서 적용하는 가능성을 실험 측정을 통하여 확인하였으며 이어지는 연구를 통하여 피검자에 전달되는 선량의 감소와 의료영상의 질 개선에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 2023년 부산가톨릭대학교 대학혁신지원사업 지원으로 수행되었음

Reference

- [1] J. M. Cosset, I. Gusev, Y. Li, etc., *Radiological Protection in Medicine*, ICRP Publication 105, 2007
- [2] H. K. Park, E. H. Goo, "A Study on Leakage Radiatin in Radiographic Examination", *Journal of Radiation Industry*, Vol. 16, No. 4, pp. 543-549, 2022. <https://doi.org/10.23042/radin.2022.16.4.543>
- [3] P. Burns, J. Cooper, J. D. Harrison, etc., *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 103, 2007
- [4] S. C. Bushong, *Radiologic Science for Technologists : Physics, Biology, and Protection*, 11th Ed., Elsevier, St. Louis, pp. 84-160, 2017
- [5] A. Querol, S. Gallardo, J. Rodenas, G. Verdu, "Analysus of the Effect of the Electron Energy Distribution on the X-Ray Spectra Produced", *International Nuclear Atlantic conference 2011*. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/046/43046450.pdf
- [6] S. S. Shin, W. Choi, W. S. Ahn, "Effect of Transverse Magnetic Field on Build-up Region of 6MV Photon Beam", *Journal of the Korean Magnetism Society*, Vol. 27, No. 1, pp. 18-22, 2017. <https://doi.org/10.4283/JKMS.2017.27.1.018>
- [7] W. S. Ahn, W. Choi, Y. R. Ka, etc., "Influence of a Localized Transverse Magnetic Field on Dose Distributions", *Journal of Magnetism*, Vol. 25, No. 3, pp. 409-414, 2020. <https://doi.org/10.4283/JMAG.2020.25.3.409>
- [8] D. E. Constantisn, R. Fahrig, P. J. Keall, "A study of the effect of in-line and perpendicular magnetic fields on beam characteristics of electron guns in medical linear accelerators", *Medical Physics*, Vol. 38, No. 7, pp.4174-4185, 2011. <https://doi.org/10.1118/1.3600695>
- [9] J. Y. Je, K. S. Noh, O. J. Shin, C. W. Park, "Surface Dose Measurement of Electron Beam within the Magnetic Field Variation", *The Journal of Korean Society for Radiation Therapy*, Vol. 20, No. 2, pp. 103-107, 2008. <https://oldkmbase.medtric.or.kr/Main.aspx?menu=01&d=KMBASE&m=VIEW&i=1164220080200020103>
- [10] K. H. Kim, Y. K. Oh, K. C. Shin, J. K. Kim, D. H. Jeong, J. K. Kim, M. J. Cho, S. Y. Kim,, "Monte Carlo Calculation on the Dose Modulation Using Dynamic Magnetic Fields for 10 MV X-rays", *Progress in Medical Physics*, Vol. 18, No. 4, pp. 221-225, 2007.
- [11] Vivien W. S. Chu, Monica W. K. Kan, Louis K. Y. Lee, Kenneth C. W. Wong, Macy Tong, Anthony T. C. Chan, "The effect of the magnetic fields from three different configurations of the MRIgRT systems on the dose deposition from lateral opposing photon beams in a laryngeal geometry - A Monte Carlo study", *Radiation Medicine and Protection*, Vol. 2, No. 3, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.radmp.2021.08.002>
- [12] N. H. Jung, Y. Shin, I. H. Jung, J. Kwak, "Feasibility of normal tissue dose reduction in radiotherapy using low strength magnetic field", *Radiation Oncology Journal*, Vol. 33, No. 3, 2015. <https://doi.org/10.3857/roj.2015.33.3.226>
- [13] C. J. Choi, J. Park, J. T. Lim, J. W. Kim, "Research Trends and Future Research Directions of Permanent Magnetic Materials", *Korean Journal of Metals and Materials*, Vol. 59, No. 11, pp. 761-768, 2021. <http://dx.doi.org/10.3365/KJMM.2021.59.11.761>

자기장을 이용한 진단방사선 선량 변화 가능성 연구

서정민*

부산가톨릭대학교 방사선학과

요 약

본 연구에서는 고에너지 치료용 방사선에서 확인된 자기장을 이용한 전자선량 분포의 변화를 저에너지 진단용 방사선에서 적용할 수 있는 가능성을 확인하였다. 진단용 엑스선 조사 조건은 관전류 200 mA, SDD 100 cm, 조사시간 1.0 sec, 조사면 크기 $20 \times 20 \text{ cm}^2$, 관전압은 70에서 100 kVp까지 10 kVp 간격으로 조사하였다. 자기장은 0.5 T 영구자석을 이용하여 콜리메이터 아래에 형성하였다. 자기장이 없는 조건과 자기장을 인가한 조건에서 각 관전압별로 20회 반복 측정하였으며 독립표본 t 검정을 통하여 비교하였다. 관전압 70, 80, 90 kVp에서 미세한 선량 차이가 보이나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으며($p>.05$), 관전압 100 kVp에서 차이가 나타남을 확인하였다($p=.048$). 이러한 결과를 통하여 본 연구에서 적용한 조건보다 높은 에너지와 긴 조사시간, 그리고 강한 자기장을 적용하고, 고성능의 검출기를 사용한다면 진단용 방사선의 사용에서 선량전달에 기여하는 전자선의 선량을 변화시켜, 피검자에 대한 선량과 의료영상의 질적 향상에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

중심단어: 자기장, 전자선, 선량감소

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	서정민	부산가톨릭대학교 방사선학과	교수