

두부 CT촬영 시 비스무스 차폐체를 활용한 시각 기관의 방사선피폭평가

Radiation Exposure Evaluation of Visual Organs using Bismuth Shielding Material on Head CT Scan

강세식, 김창수, 김정훈

부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

Se-Sik Kang(sskang@cup.ac.kr), Changsoo Kim(cszzim@cup.ac.kr),
Jung-Hoon Kim(donald@cup.ac.kr)

요약

방사선방호목적의 두부용 수학적 모의 피폭체를 제작하여 두부 CT촬영 시 시각기관(눈, 각막, 수정체)의 흡수선량을 분석하였다. 이후 안구차폐에 따른 방사선량 감소효과를 분석하였다.

그 결과 안구의 흡수선량은 에너지가 증가 할수록 높은 선량을 나타냈으며, 선량이 높은 장기는 두부를 제외하고 눈(eye), 각막(cornea), 수정체(lens) 순으로 평가되었다. 또한 눈의 경우 차폐체 전·후 선량 감소율을 약 38%에서 55%까지, 각막은 약 35%에서 52%를, 끝으로 수정체는 전면만 차폐한 경우 약 51%를 전면과 측면을 동시에 차폐한 경우 약 67%의 감소율을 나타냈다.

■ 중심어 : | 방사선방호 | 컴퓨터단층촬영 | 시각기관 | 안구차폐 |

Abstract

To analyse the absorbed radiation dose of the visual organs (eyes, corneas, lenses) during a head CT scan, a with the purpose of radiation protection was designed. Afterwards, the reduction rate of radiation dose when using an eye-shielding was analyzed.

The results showed that the higher the energy, the higher the absorbed dose of the eyes. Excluding the head, the organs with high dose were the eyes, corneas, and lenses, respectively. Furthermore, the dose reduction rate before and after shielding was between 38% and 55% for the eyes, and between 35% and 52% for the corneas. In the case of the lenses, when the front was shielded, the reduction rate was 51%, and when the front and the side were shielded simultaneously, the reduction rate was 67%.

■ keyword : | Radiation Protection | CT | Visual Organs | Eye-shielding |

I. 서론

1971년 G Housfield가 개발한 CT(Computed Tomography)

는 외과 의사들이 수술에 절대적으로 필요한 내부기관 의 얇은 단면을 볼 수 있도록 함으로써 검사의 유용성이 더욱 커지게 되었다[1][3].

* 본 연구는 2015년 부산가톨릭대학교 교내 학술연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

접수일자 : 2016년 02월 02일

심사완료일 : 2016년 03월 07일

수정일자 : 2016년 03월 07일

교신저자 : 김정훈, e-mail : donald@cup.ac.kr

우리나라는 1977년 경희대학교 병원에서 최초 전신용 CT를 설치하였으며, 이후 1996년 건강보험급여대상이 되면서 이용률과 보급률이 급격히 증가하였다[2][4].

그러나 충분한 영상 정보와 고화질의 영상을 얻을 수 있는 CT검사는 순간적으로 촬영되는 일반엑스선 촬영과는 달리 피검자 주변을 엑스선관이 회전하면서 수많은 단층영상을 얻는 기술이므로 촬영과정에서 피검자가 피폭되는 선량은 상당히 높다[5]. 또한 2004년을 기준으로 CT 절차만으로 피폭하는 의외피폭이 11200 man-Sv로서 직무피폭 집단선량의 120배를 넘는다. 더욱이 2002년 CT선량 평가치 9,960 man-Sv와 비교하면 2년 동안 1,200 man-Sv가 증가한 것으로 평가되고 있다[6]. CT검사의 약 45%를 차지하고 있는 두부 CT검사는 머리의 상해, 뇌 압, 그리고 기타 뇌와 관련된 질환의 정보를 얻기 위해 시행하고 있다.

이때 환자의 두부가 받게 되는 방사선량은 약 50 mGy로 보고되고 있으며, 이중 약 1.5-2%는 눈에 영향을 주는 것으로 평가되고 있다[7][8].

방사선에 의한 수정체 혼탁에 대한 발단 선량은 약 0.5-2 Gy정도 이며 백내장에 대한 발단선량은 약 4-5 Gy정도 이다. 또한 종사자의 수정체에 대한 등가선량 한도를 150 mSv/y로 권고하고 있다[9]. 그러나 일부 연구들에서는 단일 조사에서 백내장 발단 선량이 약 2 Gy이며, 장기간 피폭은 약 10-15 Gy라고 보고 하기도 한다. 이에 IAEA Cataract Study(Retrospective Evaluation of Lens Injuries and Dose, RELID)에서는 1 Gy 보다 상당히 낮은 방사선 피폭선량에 대해서 피막 내 수정체의 변화를 나타낸다고 보고하고 있다[10].

이렇듯 두부 CT검사 시 두부 및 주변장기에 대한 방사선방호가 매우 중요하다. 이를 위해서는 두부 CT검사 시 두부 및 주변장기가 받게 되는 피폭선량을 정량적으로 평가하고 분석하는 것이 우선시 되어야 한다.

기존 두부 및 주변 장기에 대한 선량평가에 대한 연구는 검출기를 이용하여 직접측정을 통하여 선량을 평가하였다. 그러나 검출기는 검출효율, 에너지 및 방향의 존성 등에 따라 결과 값이 일정하지 않아 피폭선량에 대한 신뢰성을 확보하기 어렵다.

이에 본 연구는 두부CT 촬영 시 환자의 시각기관이

받게 될 것으로 예상되는 방사선피폭을 수학적 모의피폭체를 통하여 예측하고자 한다.

II. 연구내용

1. 몬테칼로 계산

시각기관의 흡수선량을 산정하기 위한 본 연구의 수학적 두부모의피폭체는 [그림 1]과 같다.

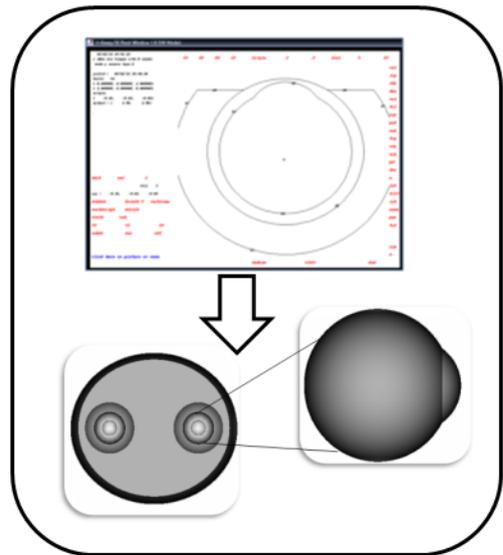


그림 1. 모의피폭체 구성도

머리(skull) 및 뇌(brain)는 ORNL phantom을 수정하였으며, 시각기관의 구성은 2010년 Jonathan R의 논문을 참조하여 눈, 각막, 수정체 그리고 눈을 감싸고 있는 안와를 모의모사 한 2012년 Kim의 모의피폭체를 활용하였다[11-13].

또한 장기의 물질은 뇌, 뼈, 눈의 밀도는 각각 1.04 g/cm³, 1.40 g/cm³, 1.03 g/cm³ 이다.

광자의 수송과 에너지 부여량 계산에는 몬테칼로 입자 수송 코드인 MCNPX를 사용하였다. CT검사에 따른 눈, 각막, 수정체, 뇌의 피폭선량 계산을 위해 현재 임상에서 사용하고 있는 X선 에너지는 80, 100, 120 keV로 설정하였고, CT에서 발생되는 beam각도는 45°

로 나누어 총 8곳에서 beam이 발생하는 것으로 가정하였다. 이때 단편두께(slice thickness)는 10 mm 간격 총 11개 단편으로 구성하였다. 피폭조직의 흡수선량 산정을 위해 F6 tally를 사용하였고, 10⁷개의 히스토리를 사용하였다. 이때 각각의 상대오차는 3%이내였다.

또한 시각기관에 대한 방사선방어효과를 평가하기 위하여 1 mm의 두께를 가진 비스무트를 안구용 차폐체로 설정하여 눈의 전면과 측면에 배치하였다. 이후 안구 차폐 유·무에 따른 시각기관의 방사선량 감소효과를 분석하였다.

2. 수학적 모의피폭체의 구성

본 연구에서 사용한 수학적 모의피폭체는 기존 MIRD형 인체 팬텀을 기초로 하여 제작 하였다. 인체의 장기를 타원, 원뿔, 평면 및 원통 등으로 구성하였으며, 식 1과 같이 2차원 수학방정식을 이용하여 3차원 공간 내에 각 장기를 표현하여 흡수선량을 도출하였다.

$$\left(\frac{x}{A_T}\right)^2 + \left(\frac{y}{B_T}\right)^2 \leq 1, 0 \leq z \leq C_T \quad (1)$$

이때 A_T와 B_T, C_T는 각각 X, Y, Z축 방향의 최대값을 나타낸다. 부등호(≤)는 각각의 수식에 정의되는 표면의 안쪽에 위치한 점들과 그 면 위에 존재하는 점들을 포함한다. 표면 바깥쪽과 표면 위에 존재하는 점들을 나타내야 한다면 부등호 ‘≥’를 사용해야 한다.

예를 들어 눈은 타원형의 원통으로 구성 할 수 있다. 이를 식으로 표현하면 식 (2)과 같다.

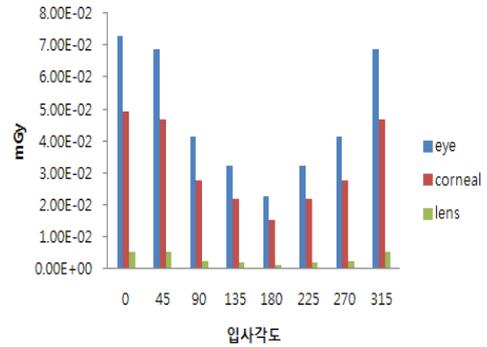
$$x^2 + y^2 + (z - 3.5)^2 = (1.23)^2 \quad (2)$$

이후 CT를 선원영역으로 하여 눈, 각막, 수정체를 표적영역으로 흡수선량을 도출 하였다.

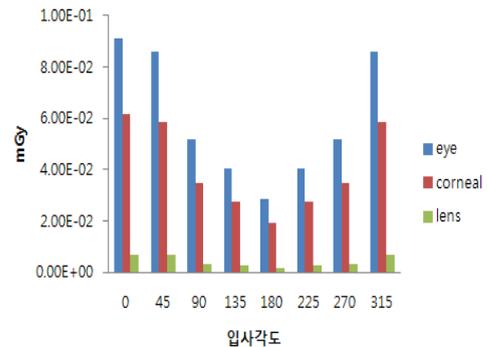
III. 결과

1. 두부 CT검사 시 입사 각도에 따른 눈, 각막, 수정체의 흡수선량 산정

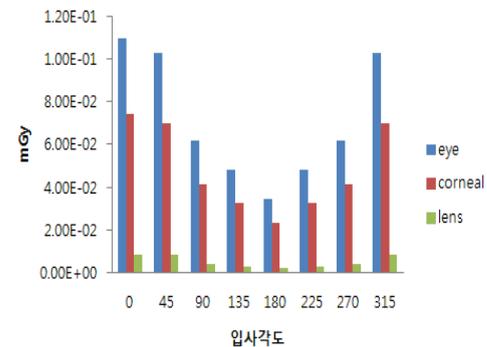
CT를 선원영역으로 하여 눈, 각막, 수정체를 표적영역으로 설정하여 시각기관의 흡수선량을 빔 입사 각도에 따라 분석한 결과, [그림 2]와 같다.



(a) 80 keV



(b) 100 keV



(c) 120 keV

그림 2. 에너지에 따른 눈, 각막, 수정체의 흡수선량 산정

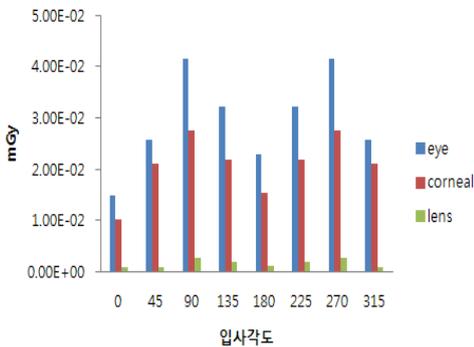
이를 세부적으로 살펴보면,

에너지는 80 keV, 입사각도는 전면 일 때 눈(eye), 각막(cornea), 수정체(lens)은 각각 0.072, 0.05, 0.0055, mGy를 받는 것으로 평가되었으며, 동일한 입사각도에서 뇌를 기준으로 눈은 약 42배, 각막은 62배, 수정체는 약 558배의 방사선피폭을 받는 것으로 분석되었다.

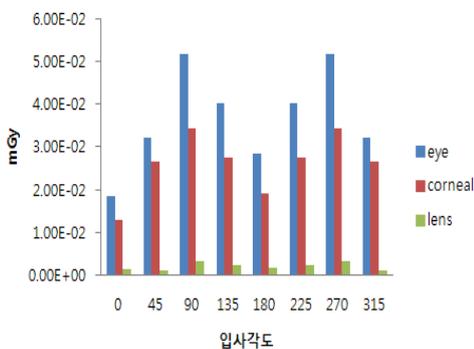
다음으로 100 keV와 120 keV일 때 즉 에너지가 증가할수록 각 장기가 받는 선량은 증가하는 것으로 나타났으며, 뇌를 기준으로 눈, 각막, 수정체가 받게 되는 방사선피폭 비율은 일정하게 유지 되는 것으로 분석되었다.

2. 두부 CT검사 시 전면 안구용 차폐체사용에 따른 눈, 각막의 흡수선량 산정.

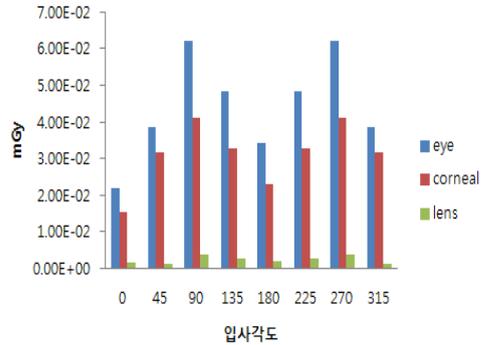
다음으로 안구에 전면 차폐체를 사용하는 경우 각 장기별 흡수선량 및 두부를 기준으로 눈, 각막, 수정체에 미치는 영향을 분석할 결과 [그림 3]과 같다.



(a) 80 keV



(b) 100 keV



(c) 120 keV

그림 3. 안구용 전면 차폐체 사용에 따른 눈, 각막, 수정체의 흡수선량 산정.

먼저 1 mm 두께의 비스무트 차폐체를 안구 전면에 배치하고 CT beam의 에너지를 각각 80, 100, 120 keV로 설정하여 눈, 각막, 수정체의 선량을 평가한 결과, 입사각도가 90°와 270°에서 가장 높은 수치를 나타냈다. 또한 눈의 경우 에너지에 따라 4.14E-02에서 6.21E-02 mGy를, 각막은 2.75E-02에서 4.13E-02 mGy를, 수정체는 2.61E-03에서 3.91E-03 mGy를 나타냈다.

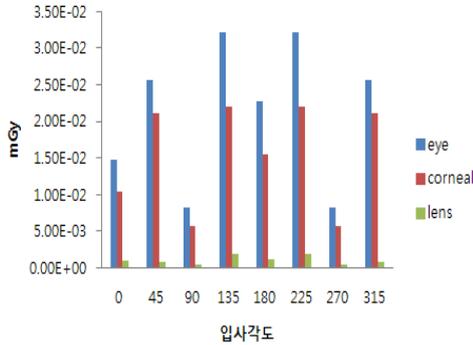
3. 두부 CT검사 시 전면 및 측면 안구용 차폐체 사용에 따른 눈, 각막의 선량감소효과와 평가

안구 차폐를 눈의 전면과 측면에 배치하여 두부 CT 검사 시 눈, 각막, 수정체의 선량감소효과를 평가하였다. 그 결과 [그림 4]와 같다.

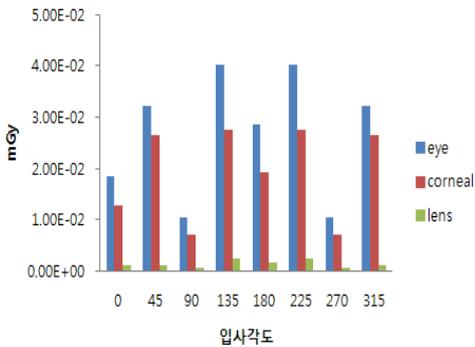
이를 세부적으로 살펴보면, 입사각도가 135°에서 225°일 때 가장 높은 수치를 나타냈다. 또한 흡수선량의 경우 눈이 3.22E-02에서 4.83E-02 mGy를, 각막의 경우 3.22E-02에서 4.83E-02 mGy를, 수정체는 1.92E-03에서 2.88E-03 mGy를 나타냈다.

[그림 2-4]를 토대로 안구 차폐체 전·후에 따른 선량 감소 효과를 분석한 결과 먼저 눈의 경우 전면 차폐체 전·후 선량 감소율을 약 38%를 나타냈으며 전면 및 측면에 차폐체를 배치한 경우 약 55%의 선량 감소를 나타냈다. 다음으로 각막의 경우 전면 차폐와 전면 및 측면 차폐후의 선량 감소율은 각각 약 35%와 52%를 나타냈으며, 끝으로 수정체는 전면만 차폐한 경

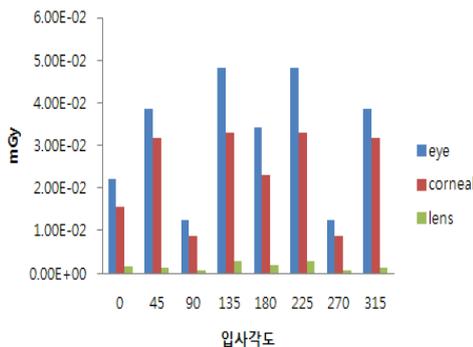
우 약 51%를 전면과 측면을 동시에 차폐한 경우 약 67%을 감소율을 나타냈다.



(a) 80 keV



(b) 100 keV



(c) 120 keV

그림 4 . 안구용 전면과 측면 차폐체 사용에 따른 눈, 각막, 수정체의 흡수선량 산정.(차폐체 두께: 1 mm)

IV. 결론

본 연구는 임상에서 두부 CT검사 시 시각기관이 받게 되는 선량을 모의피폭체를 제작하여 평가하였다. 또한 안구 차폐체 유무에 따른 선량 감소효과를 분석하였다.

시각 기관 중 수정체는 방사선감수성이 매우 높은 조직으로 두부 CT촬영에 따른 방사선피폭을 특히 주의해야 한다. 행위의 정당화 측면에서 두부CT촬영 시 수정체 피폭은 질병의 진단을 위해 피할 수 없는 상황이다. 그러나 본 연구결과에 따르면 안구용 차폐체 사용 후 시각기관의 방사선피폭감소율은 평균 약 35%이상의 감소율을 보이고 있다.

환자의 방사선량의 최적화를 고려해 볼 때, 두부 CT 검사에 따른 시각기관의 방어는 필수적인 요소라 할 수 있다. 이에 두부 CT촬영 시 영상의 질을 저해하지 않는 범위 내에서 시각기관의 차폐를 위해 보다 더 적극적으로 안구 차폐체를 사용한다면, 시각기관의 방사선피폭을 현저히 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] D. K. Han, S. G. Ko, H. J. Yang, and M. C. Kim, "The evaluation of image quality and radiation dose in multi detector CT," Korean society of Radiological science, Vol.30, pp.129-138, 2007.
- [2] 백철오, 한만석, "CT검사 시 다양한 매개변수와 환자의 불안 요인에 관한 연구," 방사선기술과학, 제34권, 제2호, 2011.
- [3] 이정근, 장영일, 장성주, "MDCT의 3차원 볼륨렌더링을 이용한 복강축과 위창자간막동맥의 변위 형태에 관한연구," 방사선기술과학, 제36권, 제2호, 2013.
- [4] 오정권, 비이온성 이량체 조영제 투여가 신장 배설 기능에 미치는 영향, 부산대학교 일반대학원, 석사학위논문, 2000.
- [5] 조유진, 조평곤, "Liver CT 검사에서 프로토콜 변

화에 따른 선량 감소와 영상의 질 개선에 관한 연구,” 방사선기술과학, 제38권, 제2호, 2015.

- [6] 이명철, “대한방사선방어학회 30년사,” 대한방사선방어학회, 2007
- [7] J. S. P. Tan, K. L. Tan, J. C. L. Lee, C. M. Wan, J. L. Leong, and L. L. Chan, “Comparison of Eye Lens Dose on Neuroimaging Protocols between 16- and 64-Section Multidetector CT: Achieving the Lowest Possible Dose,” American Society of Neuroradiology, Published October 14, 2008 as 10.3174/ajnr.A1327, 2009.
- [8] M. Y. Jung, D. C. Kweon, and S. I. Kwon, “Effectiveness of Bismuth Shield to Reduce Eye Lens Radiation Dose Using the Photoluminescence Dosimetry in Computed Tomography,” Korean society of Radiological science, Vol.32, pp.307-312, 2009.
- [9] The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. Oxford: Elsevier, 2007.
- [10] IAEA. IAEA Cataract study ; IAEA activity on Retrospective Evaluation of Lens Injuries and Dose(RELID), 2008.
- [11] J. R. Bristol, “Comparison of Eye Plaque Dosimetry using Deterministic and Monte Carlo Methods,” Oregon State University, Degree of Master of Science, 2010.
- [12] M. Cristy and K. F. Eckerman “Specific Absorbed Fractions of Energy at Various Ages from Internal Photon sources,” ORNL/TM-8381, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, USA, 1987.
- [13] J. H. Kim, C. S. Kim, C. S. Lim, and J. Y. Chung, “Evaluation of radiation exposure upon visual organs during a head CT scan,” Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.49, No.7, pp.754-759, 2012.

저 자 소 개

강 세 식(Se-Sik Kang)

정회원



- 1991년 2월 : 원광대학교 농화학 과(농학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과 교수

<관심분야> : 방사선치료 및 방사선기기

김 창 수(Changsoo Kim)

정회원



- 2001년 2월 : 동명대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2003년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과(공학석사)
- 2006년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과(공학박사)

- 2005년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과 부교수

<관심분야> : 의료영상신호처리, 의료정보표준, Computer Aided Detection(CAD), U-Healthcare

김 정 훈(Jung-Hoon Kim)

정회원



- 2000년 8월 : 경원대학교 물리학과(이학사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 원자력공학과(공학석사)
- 2007년 2월 : 경희대학교 원자력공학과(공학박사)

- 2009년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 방사선학과 부교수

<관심분야> : 방사선량 평가, 문항개발 및 분석