

# 폐암 고에너지 방사선치료 시 갑상선 피폭에 관한 연구

## A Study on the Thyroid Dose High-Energy Radiation Therapy of Lung Cancer

양오남\*, 임청환\*\*

목포과학대학교 방사선과/한서대학교 보건의료학과\*, 한서대학교 보건의료학과\*\*

Oh-Nam Yang(lando2000@hanmail.net)\*, Cheong-Hwan Lim(lch116@hanseo.ac.kr)\*\*

### 요약

고에너지 의료용 선형가속기를 이용한 폐암 방사선치료 시 갑상선에 미치는 선량을 광자극발광선량계(OSLD)를 이용하여 평가하였다. 산란광자의 영향은 3D-CRT의 경우 25.4 mSv, 28.8 mSv, 31.3 mSv, 26.5 mSv, 27.4 mSv로 5회 평균은 27.9 mSv, IMRT에 있어서는 46.8 mSv, 43.2 mSv, 42.3 mSv, 41.5 mSv, 44.1 mSv로 5회 평균은 43.6 mSv의 결과 값을 보였다. 광중성자 선량 평가 결과는 3D-CRT의 경우 3 mSv, 3 mSv, 3.4 mSv, 3.5 mSv, 3.1 mSv로 5회 평균은 3.2 mSv, IMRT에 있어서는 5.1 mSv, 4.8 mSv, 4.2 mSv, 4.8 mSv, 4.9 mSv로 5회 평균은 4.7 mSv의 결과 값을 보였다. 산란광자와 광중성자 모두 3D-CRT 보다 IMRT가 높은 것으로 평가 되었다. 본 연구를 통하여 고에너지를 이용한 방사선치료 시 인접한 정상조직에 상당한 양의 산란선량이 영향을 주는 것으로 평가된 바와 같이 방사선을 이용한 암 치료 종사자는 이러한 내용을 충분히 인지하여 피폭 저감화를 위한 노력이 필요할 것으로 사료된다.

■ 중심어 : | 폐암 | 고에너지 | 갑상선 | 선형가속기 | 광중성자 |

### Abstract

High-energy medical linear accelerator on the dose to the thyroid cancer during radiotherapy were evaluated using optical stimulation luminescence dosimeters(OSLD) using. Scattered's influence in the case of 3D-CRT 25.4 mSv, 28.8 mSv, 31.3 mSv, 26.5 mSv, 27.4 mSv 5 times with an average 27.9 mSv, in the IMRT 46.8 mSv, 43.2 mSv, 42.3 mSv, 41.5 mSv, 44.1 mSv to five times the average of 43.6 was the result of mSv. In the case of light neutron dosimetry results 3D-CRT 3 mSv, 3 mSv, 3.4 mSv, 3.5 mSv, 3.1 mSv to five times the average 3.2 mSv, in the IMRT 5.1 mSv, 4.8 mSv, 4.2 mSv, 4.8 mSv, 4.9 mSv, to five times the average of 4.7 was the result of mSv. Both parties and the light scattered neutrons were significantly appreciated compared to IMRT 3D-CRT. Treatment of cancer using radiation workers, as in this study, and that a significant amount of scattered rays in the adjacent normal tissues during radiation therapy using energy assessment to influence by fully aware of this information is necessary for the exposure reduction efforts the feed.

■ keyword : | Lung Cancer | High-energy | Thyroid | Linear Accelerator | Photoneutrons |

## I. 서론

암의 방사선치료에는 의료용 선형가속기, 사이버나이프, 토모치료기, 양성자치료기 등의 고에너지 방사선 치료기가 이용되고 있으며, 이 중에서도 고에너지 의료용선가속기를 암 치료에 많이 이용하고 있다. 2011년 대한방사선치료학회 장비통계에 의하면 국내 전국방사선종양학과에서 암 치료에 사용되는 선형가속기는 총 134기로 과거 10년 전과 비교 했을 때 두 배 이상 증가하였고[1], 2008년 통계청 암 통계 자료에 의하면 최근 10년간 암 발생률은 매년 남, 녀 평균 10만 명당 3.3%씩 증가하고 있는 추세이다[2]. 현재 평균수명을 80세 로 가정했을 경우 평균수명까지 생존 시 암 발생확률은 34%로 3명 중 1명인 셈이다. 통계적으로 보았을 때 암 환자는 해가 거듭할수록 증가할 것이며, 암 치료를 위하여 사용되는 선형가속기의 보급도 갈수록 증가할 것으로 예측이 된다. 과거에는 저에너지를 사용하여 암 치료를 시행했는데, 이는 심부에 발생한 종양을 치료하기에는 한계가 있었다. 따라서 근래 개발된 선형가속기는 대부분 15MV까지 가속하여 피부에 조사되는 영향을 줄이면서 심부에 발생한 종양을 효율적으로 제어할 수 있게 되었다[3]. 이러한 고에너지 의료용선형가속기의 조사두부(head)는 원자번호가 높은 납(Pb)이나 텅스텐(W)의 재질로 구성되어 있는데, 이들은 발생된 광자와 상호작용을 통하여 광중성자를 발생하는 것으로 알려져 있다[4][5]. 이러한 일반적인 사항은 NCRP 79에서 논의된 바 있고, 이에 대한 관심이 고조됨에 따라 최근 많은 연구자들에 의해 꾸준한 연구가 이루어지고 있다. 이와 관련하여 발생된 광중성자가 방사선치료실 내 환자에게 미치는 영향에 대해서 연구가 된 바 있고 [6-8] 광중성자를 비롯한 광핵반응(photonuclear reaction)에 의해 생성되는 입자들에 의한 선량을 평가한 바 있다[9]. 또한 최근 고에너지선형가속기의 도입이 증가되고 있을 뿐 아니라 세관에 반입되는 컨테이너 화물의 검색에 사용되는 검색장치에서도 중성자가 발생이 되어 문제가 된 바 있다[10].

광중성자는 고유의 특성상 방사선치료실 뿐만 아니라 시설 밖 일반인 구역에도 영향을 미치게 되어 차폐 시설을 설비함에 있어 중요하게 고려되는 사항이며, 관

계 기관의 엄격한 규제와 관리를 받고 있지만 방사선치료실 내 환자에 대해서는 의료과정에서의 환자에게 손해보다는 이익이 많다는 이유로 안전관리에 소극적인 것이 현실이다[11].

이에 본 연구에서는 폐 종격에 발생된 암을 가상하여 고에너지의료용선형가속기를 이용하여 일반적인 치료법과 최근 학계에 각광받고 있는 세기조절방사선치료(intensity modulated radiotherapy, IMRT)[12-14] 시 발생하는 산란광자와 광중성자가 인접한 정상조직인 갑상선에 조사되는 선량을 평가하고자 하였으며, 이를 통하여 암 환자의 삶의 질이 향상에 다소 보탬이 될 수 있기를 희망하며 연구하였다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

본 연구에 사용된 재료는 방사선조사를 위해 의료용 선형가속기(21ix, Varian, USA)를 사용하였고, CT-Simulator(16RTCT, GE), Rando 팬텀, 치료계획시스템(Eclipse version 8.6, Varian Medical System Inc., Chicago, IL, USA), 그리고 발생된 산란광자와 광중성자 수집과 분석에는 일반적으로 TLD, 광자극발광선량계(Optically stimulated luminescent dosimeter, OSLD) Bubble chamber, 조직등가비레계수기, CR39 등이 주로 이용되지만, 본 연구에서 사용된 OSLD[그림 1]는 물리적인 충격이나, 온도, 습도 등 환경적인 영향 및 잠상퇴행이 작고 0.01 mSv의 저 선량영역까지 측정이 가능한 선량계이며, 또한 재현성  $\pm 0.0150$ , 선형성 5mSv까지  $1 \pm 0.1$ 에 모두 분포하고 0.1 mSv~1 SV까지  $1 \pm 0.06$ 으로 우수한 선량계이다. 리더기로는 710 Auto200(Landauer ZPA)을 사용하였다[Fig. 1].

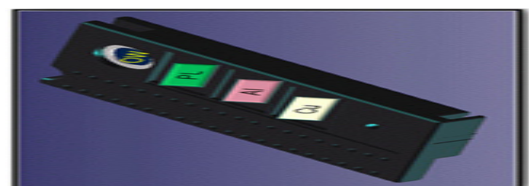


Fig. 1. Optically Stimulated Luminescent Dosimeter (OSLD)

## 2. 연구방법

CT-Simulator를 이용하여 Rando 팬텀을 Table에 셋업 후 측정하고자 하는 갑상선이 충분히 포함되도록 5mm 절편두께로 촬영한 후 획득된 영상은 Eclipse로 전송하여 치료계획시스템에서 각 절편을 이용하여 한 명의 방사선종양학 전문의에 의해 육안적 종양체적(Gross Tumor Volume, GTV), 임상표적체적(Clinical Target Volume, CTV)과 계획용 표적체적(Planning Target Volume, PTV) 그리고 인접 주요 장기의 윤곽을 그렸다. 삼차원입체조형치료(Three Dimensional Conformal Radiotherapy, 3D-CRT) 계획은 일반적으로 많이 활용하는 4문 조사야로 치료계획을 수립하였고, 세기조절방사선치료(Intensity modulated radiotherapy, IMRT) 계획은 표적에 선량을 집중하고 정상조직을 효율적으로 보호할 수 있도록 6문 조사야로 치료계획을 수립하였다[Fig. 2].

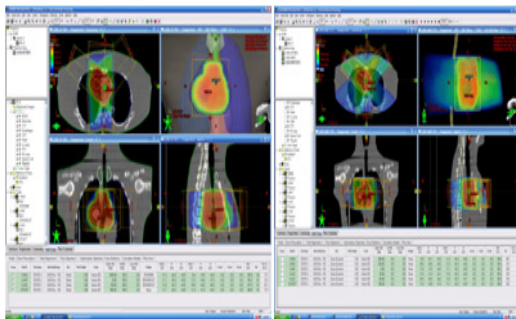


Fig. 2. 3D-CRT(a) and IMRT plan(b)

두 방사선치료계획에서 선량 정규화(normalization)는 처방선량(prescription dose)에 98%를 처방하였고, 치료계획에 사용된 에너지는 15MV 광자선을 이용하였다. 치료선량은 PTV에 daily dose 200 cGy씩 28회로 총 5,040 cGy를 처방하였으며, 갑상선 선량평가를 위해서 Rando 팬텀을 치료실 테이블에 셋업한 후 [Fig. 3]과 같이 OSLD를 갑상선 표면에 위치하고 치료계획 수립을 바탕으로 계획된 선량을 조사하였으며, 실험은 각각 5회 반복 시행하였다.



Fig. 3. Dosimeters on the surface of the thyroid gland Setup

## III. 결과

### 1. 산란광자의 선량 평가

OSLD를 이용하여 산란광자의 선량을 평가한 결과, Hp10(심부10mm)에서 받는 선량을 기준으로 3D-CRT의 경우는 25.4 mSv, 28.8 mSv, 31.3 mSv, 26.5 mSv, 27.4 mSv로 5회 평균선량은 27.9 mSv의 결과 값을 보였다.

IMRT에 있어서는 46.8 mSv, 43.2 mSv, 42.3 mSv, 41.5 mSv, 44.1 mSv로 5회 평균선량은 43.6 mSv의 결과 값을 보였으며, 각 측정 간 큰 차이는 발생하지 않았다[Table 1][Fig. 4].

Table 1. Equivalent photon doses measured by OSLD for 3DCRT and IMRT

	Equivalent Photon dose					(unit:mSv)
	1	2	3	4	5	
3D-CRT	25.4	28.8	31.3	26.5	27.4	27.9±0.46
IMRT	46.8	43.2	42.3	41.5	44.1	43.6±0.41

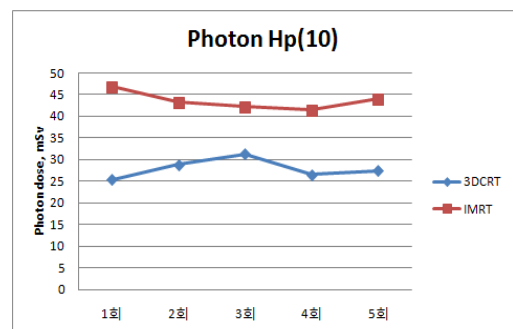


Fig. 4. Equivalent neutron doses measured by OSLD for 3D-CRT

## 2. 광중성자의 선량 평가

OSLD를 이용하여 산란광자의 선량을 평가한 결과, Hp10(심부10mm)에서 받는 선량을 기준으로 광중성자의 선량을 평가한 결과, 3D-CRT의 경우에서 3 mSv, 3 mSv, 3.4 mSv, 3.5 mSv, 3.1 mSv로 5회 평균선량은 3.2 mSv의 결과 값을 나타냈다. IMRT에 있어서는 5.1 mSv, 4.8 mSv, 4.2 mSv, 4.8 mSv, 4.9 mSv로 5회 평균 선량은 4.7 mSv의 결과 값을 보였으며 각 측정 간 편차는 심하게 발생하지 않았다[Table 2][Fig. 5].

Table 2. Equivalent neutron doses measured by OSLD for 3DCRT and IMRT

	Equivalent neutron dose					(unit:mSv)
	1	2	3	4	5	M±SD
3DCRT	3	3	3.4	3.5	3.1	3.20±0.05
IMRT	5.1	4.8	4.2	4.8	4.9	4.76±0.07

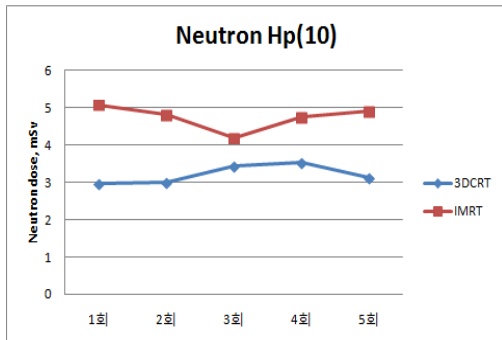


Fig. 5. Equivalent neutron doses measured by OSLD for 3D-CRT

## IV. 고찰

의료공학의 기술적 발전과 더불어 암 치료에 사용되는 선형가속기의 가속 에너지도 갈수록 높아지고 있는 추세이다. 고에너지 일수록 피부에 발생가능한 부작용을 줄이고, 심부에 발생한 종양 치료에 효율적이지만 고에너지 광자선이 선형가속기 조사두부(head)의 구성품들과의 상호작용하여 광중성자를 발생시킨다[15]. 여러 연구자들의 연구결과 고에너지 방사선을 이용한 암

치료는 선형가속기 두부 구성품들인 타겟, 콜리메이터, 선속평탄여과판, 다엽콜리메이터 등과 상호작용을 통하여 많은 산란선을 야기하는 것으로 알려져 있고, 본 연구의 결과에서도 역시 산란선이 인접한 정상조직인 갑상선에 불필요한 피폭을 가하는 것으로 확인이 되었다. 광중성자의 발생은 크게 두 가지로 설명할 수 있는데, 첫째는 (e,n)반응에 의한 발생과 둘째는 (r,n)반응에 의한 광핵반응으로 설명할 수 있으나 전자(r,n)반응의 경우는 그 발생확률이 극히 미미하고 대부분 후자(r,n)반응에 의한 생성으로 설명할 수 있다. 광중성자의 경우에는 광자나 전자에 비해 5배에서 많게는 20배까지 방사선가중인자가 높다.

본 연구는 15MV 고에너지 광자선을 이용하여 폐암 방사선 치료 시 인접한 정상조직인 갑상선에 불필요하게 조사되는 산란선량을 평가한 결과로 산란광자는 3D-CRT 경우에 평균 27.9 mSv, IMRT에 있어서는 43.6 mSv로 평가 되었다.고, 광중성자는 3D-CRT의 경우에 평균 3.2 mSv, IMRT에 있어서는 평균 4.7 mSv로 IMRT 기법을 사용 시 산란광자와 광중성자 모두 더 많은 영향을 주는 것으로 평가 되었다.

IMRT기법은 표적에 선량을 집중하고 정상조직 보호에 효율적인 치료법으로 현재도 임상적으로 많은 각광을 받고 있지만 일반적인 치료법에 비해 조사시간 증가와 더불어 동적다엽콜리메이터를 사용함에 따라 광중성자의 발생량이 증가하게 되어 정상조직에 불필요한 선량이 미치게 되는 단점이 있다. 이혜립 등(2012)의 연구결과 진단 영역에서 유방촬영 시 갑상선 산란선량 평가에서도 상당 부분 영향을 미치는 것으로 보호가 필요하다고 보고한 바 있다[16][17] 본 연구에서는 1회 조사한 값으로 극히 적은 선량일 수도 있고, 종양의 종류와 병기에 따라서 조사선량과 횡수는 다양하지만 일반적으로 약 25회 정도의 전 치료기간과 총 선량으로 살펴본다면 결코 무시할만한 선량은 아닐 것이다. ICRP (60)에서 환자는 방사선피폭이 발생하더라도 이득이 있기 때문에 선량한도는 규정하고 있지 않다. 그러나 확률적 영향에 대한 위험에 문턱선량이 없다고 믿기 때문에 일반 대중이 받는 선량이 증가할수록 위험도도 증가하는 것으로 보고된 바 있다[18][19].

원자력법시행령에서는 비직업적 피폭에 있어 선량한도를 규정하고 있는데 갑상선의 경우 최대허용선량은 년 간 3 rem으로 제한하고 있다. 이러한 법적인 선량 제약치나 허용선량 보다도 방사선방어와 관리의 입장에서 불필요한 피폭은 가능한 저감화 시켜야 할 것이며, 또한 국민보건건강 증진 차원에서도 충분한 관심과 고민이 필요하다고 사료된다. 방사선관련 종사자에 대해서는 관계기관으로부터의 엄격한 규제와 관리가 이루어지고 있지만 암 환자의 경우에는 의료의 이득이 있다는 이유만으로 관리가 소극적인 것이 현실이다. 특히 암 환자는 암에 걸렸다는 것만으로도 충분히 불행스럽고 고통스러운 일인데 방사선치료를 받는 중 불필요한 피폭으로 부작용이 발생할 가능성을 가지고 있다면 더 큰 부담으로 작용할 것이다. 방사선 관계종사자와 시설에 대한 관리는 철저하게 이루어지고 있지만 아직 암 치료를 받는 환자에 대해서는 관리가 소극적인 것이 현실이다. 이에 방사선치료 시 불필요하게 받게 되는 피폭선량에 대한 지속적인 연구가 진행되어야 할 것이며, 또한 암 환자의 삶의 질 향상을 위하여 방사선치료를 받는 환자를 대상으로 관계기관의 별도의 안전관리 지침과 기준마련이 시급하다고 사료된다.

## V. 결론

15MV 고에너지 의료용 선형가속기를 이용한 폐암 방사선치료 시 OSLD를 이용하여 갑상선에 미치는 선량을 평가한 결과 3D-CRT의 경우 5회 평균 27.9 mSv, IMRT에 있어서는 5회 평균이 43.6 mSv의 영향이 있었고 광중성자의 경우 3D-CRT의 경우에 5회 평균은 3.2 mSv, IMRT에 있어서는 5회 평균이 4.7 mSv의 선량이 갑상선에 영향을 주는 것으로 확인이 되었으며, 산란광자와 광중성자 모두 3D-CRT에 비해 IMRT에서 훨씬 많은 선량이 검출되었다. 본 연구에서는 1회 조사한 선량 값으로 다소 적은 양으로 생각할 수 있겠지만, 25회 정도의 전 치료기간과 총 선량으로 본다면 상당한 양의 산란선량의 영향이 미칠 것으로 판단된다. 특히 광중성자는 방사선가중인자가 일반 광자의 20배가 되며 방사선 노출량이 증가할수록 암 발생율도 증가할 수 있다는

사실을 감안하여 치료계획 시 이를 충분히 인지하고 더 더욱 주의를 기울여야 할 것이고 특히 상업에 발생한 폐암 치료 시에는 더욱 많은 주의를 기울여야 할 것이다. 이러한 근거로 방사선치료를 받는 암 환자의 안전과 삶의 질 향상을 위해서 정상조직 방어 등의 피폭 저감화를 위한 노력이 필요할 것으로 사료되며, 향후 갑상선 뿐만 아니라 인접한 정상조직에 대한 활발한 평가도 요구되고, 보다 객관적이고 정량적인 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] 대한방사선치료학회 장비통계, 2011.
- [2] 통계청, 암 통계, 2008.
- [3] 장남준, 석진용, 원희수 등, “두경부암 세기변조 방사선치료 계획 시 부분적 고에너지 광자선 사용에 따른 치료계획 평가”, 대한방사선치료학회지, 제21권, 제1호, pp.1-8, 2013.
- [4] H. Ing, W. R. Nelson, and R. A. Shore, “Unwanted photon and neutron radiation resulting from collimated photon beams interacting with the body of rad iotherapy patients,” Med. Phys. Vol.9, pp.27-33, 1982.
- [5] 정제호, 김홍석, 박윤환, “의료용 선형가속기에서 생성되는 광중성자에 의한 선량 평가”, 한국방사선생물학회지, 제2004권, 제1호, pp.296-296, 2004.
- [6] R. Nath, E. R. Epp, J. S. Langhlin, W. P. Swanson, and V. P. Bond, “Neutrons from high-energy X-ray medical accelerators. Anestimate of risk to the radiotherapy patient,” Med. Phys., Vol.11, pp.231-241, 1984.
- [7] 박병석, 안중호, 권동열, “10 MV 이상 고에너지 치료 시 발생하는 광중성자의 영향”, 대한방사선치료학회지, 제25권, 제1호, pp.9-14, 2013.
- [8] 이화중, 김대영, 김영택, “10MV 이상 고에너지 사용시 wedge filler의 방사화가 작업환경에 미치는 영향평가”, 대한방사선치료학회지, 제16권, 제2호, pp.69-79, 2004.

[9] Omar Chibani, and Chang-Ming Charlie Ma, "Photonuclear does calculations for high energy photon beams from Simens and Varian lineacs," Medical Physics, Vol.30, No.8, pp.1990-2000, 2003.

[10] 김대섭, 김유현, "방사선치료 장치 및 관련시설에서의 산란중성자에 관한 연구", 대한방사선치료학회지, 제17권, 제2호, pp.141-145, 2005.

[11] ICRP(74), "1995 Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation," International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 74.

[12] G. Bauman and R. B. Rumble, "Intensity-modulated Radiotherapy in the Treatment of Prostate Cancer," Clinical oncology : a journal of the Royal College of Radiologists, Vol.24, No.7, pp.461-473, 2012.

[13] P. M. McCloskey, S. Atallah, and L. Coate, "Comparison of 3D Conformal Radiation Therapy (3D CRT) and Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) in Stage III Non-small Cell Lung Cancer (NSCLC)," International journal of radiation oncology, biology, physics, Vol.84, No.3, suppl, pp.S597-S598, 2012.

[14] S. Sharma, J. T. Whaley, and W. Zou, "Incidental Nodal Irradiation in Stage III Lung Cancer Treated With Involved-Field Radiation: Comparison Between 3D CRT and IMRT," International journal of radiation oncology, biology, physics, Vol.84, No.3, suppl, p.S564, 2012.

[15] 정제호, 의료용 선형가속기에서 생성되는 광중성자에 의한 선량평가, 한양대학교 대학원, 원자력공학과 학위논문집, pp.1-56, 2005.

[16] M. H. Lee, "The Effect of Scattering Dose on the Thyroid During Mammography," Journal of the Korean institute of electronic material engineers, Vol.23, No.10, pp.826-830, 2010.

[17] 이혜림, 김현영, 최형욱 이혜미, 임창선, 파노라

마촬영 시 조직등가물질을 이용한 갑상선보호대의 갑상선 피폭선량 감소효과", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.13, No.5, pp.2278-2284, 2012.

[18] ICRP(1991), "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60.

[19] ICRP(1996), "1995 Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation," International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 74.

저 자 소 개

양 오 남(Oh-Nam Yang)

정회원



- 2013년 2월 : 한서대학교 방사선학과(석사)
- 2013년 ~ 현재 : 한서대학교 보건의료학과(박사과정)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 목포과학대학교 방사선과 교수

- 2011년 ~ 2013년 : 대한방사선치료학회 공보부장
  - 2013년 ~ 2014년 : 대한방사선과학회 지역이사
  - 2014년 ~ 현재 : 대한방사선과학회 법률이사
- <관심분야> : 방사선치료학, 보건의료학

임 청 환(Cheong-Hwan Lim)

정회원



- 2005년 2월 : 가천대학교 대학원 (보건학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 방사선학과 교수
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 보건의료학과 교수

<관심분야> : 방사선학, 보건의료학