

## 전뇌조사의 체적변조회전치료 시 두피선량 감소에 관한 평가

김정호<sup>1</sup>, 배석환<sup>2\*</sup>, 김기진<sup>3</sup>, 유세종<sup>4</sup>

<sup>1</sup>건양대학교병원 방사선종양학과, <sup>2</sup>건양대학교 방사선학과, <sup>3</sup>건양대학교병원 핵의학과, <sup>4</sup>건양대학교병원 영상의학과

### Evaluation of the reduced scalp dose at Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT)

Jeong-Ho Kim<sup>1</sup>, Seok-Hwan Bae<sup>2\*</sup>, Ki-Jin Kim<sup>3</sup>, Se-Jong Yoo<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiation Oncology, Konyang University Hospital

<sup>2</sup>Division of Radiology, Konyang University

<sup>3</sup>Department of Nuclear Medicine, Konyang University Hospital

<sup>4</sup>Department of Radiology, Konyang University Hospital

**요약** 전이성 뇌종양의 증가에 따라 전뇌 방사선치료가 증가하게 되었다. 그리고 치료기법의 발전은 삶의 질 향상의 중요성을 증가시키게 되었다. 체적변조회전 전뇌조사는 용적별 선량을 차등시킬 수 있는 우수한 치료기법이다. 이에 두피선량 증가에 따른 탈모에 대하여 기존 전뇌조사와 체적변조회전 전뇌조사를 비교하고자 하였다. 두정부 인체모형을 이용하여 치료계획을 비교하였다. 뇌 실질의 경우 정합지수, 동질성지수, 범위의 질지수를 적용하였으며, 두피, 안구, 수정체, 경추의 경우 20%선량의 용적, 50%선량의 용적을 적용하여 비교하였다. 비교결과 뇌 실질은 기존 전뇌조사가 10%정도 우수하였지만, 두피, 안구, 수정체, 경추의 경우는 체적변조회전 전뇌조사가 1000%정도 우수하였다. 향후 체적변조회전 전뇌조사의 처방선량을 조정한다면 탈모를 방지하는 전이성 뇌종양 방사선치료로 선정될 것이다.

**Abstract** The use of WBRT(whole brain radiation therapy) has increased due to the increase in the incidence of metastatic brain tumors. The development of radiation therapy techniques is expected to improve the quality of life. The VMAT (Volumetric Modulated Arc Therapy) is an excellent treatment technique that can distinguish the dose in each volume. Therefore, this study compared conventional WBRT and VMAT for hair loss according to the scalp dose using a head phantom. The CI (Conformity Index), HI (Homogeneity Index) and QOC (Quality of Coverage) were measured brain tissue. A 20 percent and 50 percent dose was measured at the scalp, eyeball, lens, and c-spine. Conventional WBRT is excellent at 10 percent of brain tissue. VMAT is far superior at 1000 percent at the other organs. VMAT at the prescribed dose can be used as radiation therapy of metastatic brain tumors with less hair loss.

**Key Words** : Alopecia, Brain Cancer, Volumetric Modulated Arc Therapy, Whole Brain Radiation Therapy

### 1. 서론

전이성 뇌종양의 경우에는 모든 원발암에서 전이가 가능하며, 특히 소화기계암, 유방암, 비소세포성폐암의 경우에 전이확률이 커진다[1-4]. 최근 고령화에 따른 암 발생률의 증가와 전신요법의 발전, 뇌전이에 대한 진단

방법의 발전으로 인해 빈도가 약 20 ~ 40 %를 차지하게 된다[5,6]. 이러한 뇌전이의 경우에는 방사선치료가 생존율을 향상시키는 것으로 보고되고 있다[7]. 이러한 이유로 뇌전이의 경우에는 방사선치료가 표준치료로 구성되어 왔다. 이러한 뇌 전이에 대한 치료방법은 종양의 크기 및 종류, 형태에 따라 달라지며, 특히 신경학적 증상 완

\*Corresponding Author : Seok-Hwan Bae(Konyang Univ.)

Tel: +82-42-600-6395 email: shbae@konyang.ac.kr

Received July 15, 2014

Revised (1st August 28, 2014, 2nd September 2, 2014)

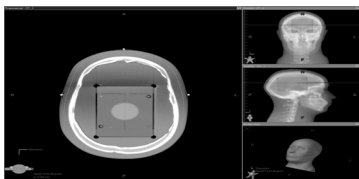
Accepted October 10, 2014

화, 환자의 삶의 질 향상, 생존기간 연장에 효과적인 방법은 전뇌조사이다[8,9]. 전뇌조사는 뇌 전체에 대해 수정체를 포함한 안면부 및 경추부를 차폐하여 대향 2분 측방향 조사를 실시하는 것이다[10]. 이러한 전뇌조사의 경우 대부분이 남은 생존기간이 짧기 때문에 탈모와 같은 부작용은 치료 전 진료과정에서 사전 설명 후 실시하게 된다 [11]. 하지만 치료기술의 발달로 인해 생존율이 증가되고, 환자들의 인식변화 및 삶의 질 기준변화로 인해 탈모에 대한 인식도 변모해가고 있다[12,13]. 환자들의 인식변화는 탈모에 대한 삶의 질 저하에 대한 두려움으로 인해 전 이성 뇌종양의 방사선치료를 거부하는 상황까지 발생하게 되었다. 국내뿐만 아니라 해외에서도 이러한 탈모방지를 위해 다양한 연구를 진행하고 있지만, 치료기법의 한계로 연구가 더 이상 발전되지 못하고 있었다. 최근 용적별 방사선량을 차등시켜 주는 세기변조 방사선치료의 선속방향 한계를 해결한 체적변조회전치료의 개발로 전 이성 뇌종양의 탈모방지에 대한 가능성을 열게 되었다. 이에 본 연구에서는 기존의 방사선 치료와 체적변조회전 치료에서의 뇌실질과 두피의 선량에 대해 비교하여 체적 변조회전치료의 전뇌조사가 탈모 및 치료효과에 대한 유용성을 평가하고자 하였다.

## 2. 대상 및 방법

### 2.1 대상

Radiosurgery Head Phantom ACR 096 (Accuray, USA)을 대상으로 하여 Brilliance Big bore CT (Philips, USA)로 영상을 획득하여 방사선치료계획용 컴퓨터인 ECLIPSE (Varian, USA)로 계획하였다. 이때 영상에서 육안으로 가능한 뇌 실질에 대해 윤곽도를 표현하고, 두피에 대한 표현은 두정부 표면에서부터 내부로 0.5cm 간격의 영역을 설정하였다.

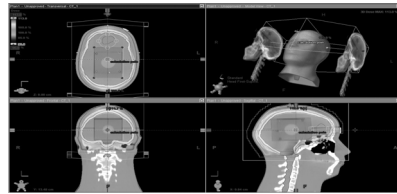


[Fig. 1] Axial and coronal and sagittal image of whole brain tomography

## 2.2 방법

### 2.2.1 기본 전뇌조사 치료계획

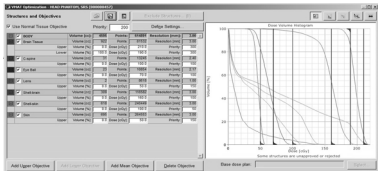
기본 전뇌조사 치료계획은 두정부의 정중심에 대해 대향 2분 측방향 조사를 설정하고, 상부, 전후부에 대해 1cm의 공간을 포함한 조사야를 설정한다. 이때 조사야는 1번 경추까지만 포함시키며, 수정체에서 0.5cm 간격을 포함한 영역을 차폐하여준다. 6MV 광자선을 이용하며, 처방선량은 95%에 대해 200cGy를 설정하였다.



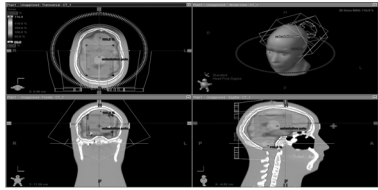
[Fig. 2] Conventional whole brain radiation therapy planning image

### 2.2.2 체적변조회전 전뇌조사 치료계획

체적변조회전 전뇌조사 치료계획은 두정부의 정중심에 치료 중심점을 설정하고, 6MV 광자선을 이용하여 체적변조회전 조사를 실시한다. 그리고 처방선량은 기본 전뇌조사 치료계획과 동일하게 95%에 대해 200cGy를 설정하였다. 설정조건은 뇌실질에 대해 100% 최소 190cGy로 가중치 300을 설정하고, 0% 최대 210cGy로 가중치 300을 설정하였다. 뇌실질의 0.5cm간격의 외부 영역을 Shell-brain이라고 지정하고 0% 최대 160cGy로 가중치 100을 설정하였다. 그리고 두피영역에 해당되는 두정부 표면에서부터 0.5cm간격의 영역에 대해 0% 최대 50cGy로 가중치 150을 설정하였다. 그리고 두피영역에서 0.5cm간격의 내부영역을 Shell-skin이라고 지정하고 0% 최대 100cGy로 가중치 50을 설정하였다. 안구에 대해 0% 최대 70cGy로 가중치 100을 설정하였고, 안구 내부에 위치한 수정체에 대해 0% 최대 50cGy로 가중치 150으로 설정하였다. 그리고 경추에 대해서는 0% 최대 100cGy로 가중치 100으로 설정하였다. 계산은 동일한 조건에 대해 2회 연속 실시하였으며, 회전조건은 CW와 CCW 두 방향으로 콜리메이터 각도 30도와 330도로 설정하여 181도에서 179도로 설정하여 계산하였다.



[Fig. 3] Optimization image of VMAT whole brain radiation therapy planning



[Fig. 4] VMAT whole brain radiation therapy planning image

### 2.2.3 뇌 실질 선량지표

뇌 실질에 대한 선량지표는 적용되어진 치료계획의 DVH (Dose-Volume Histogram)를 기준으로 기본 전뇌조사 치료계획과 체적변조회전 전뇌조사 치료계획에 대해 RTOG (Radiation Therapy Oncology Group)의 정량화된 지표인 CI (Conformity index)와 HI (Homogeneity index), QOC (Quality of Coverage)를 이용하여 뇌 실질의 지표를 비교 평가하였다[14,15]. CI는 목적선량의 중앙 포함정도를 평가하는 지표이다. 그리고 HI는 중앙 내 최대선량을, QOC는 중앙 내 최소선량을 나타내는 지표이다. CI, HI, QOC는 전립선 및 간 등의 중앙 치료계획 평가에 적용된다[16,17].

### 2.2.3 기타 선량지표

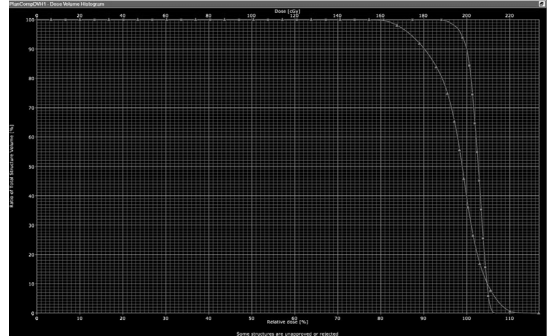
뇌 실질 주변에 방사선 위해가 발생할 수 있는 주요장기인 두피, 안구, 수정체, 경추에 대해 선량지표를 적용하였으며, 두피 및 수정체의 한계선량을 고려하여 20cGy가 피폭되는 두피영역의 용적인  $V_{20}$ 과 50cGy가 피폭되는 두피영역의 용적인  $V_{50}$ 을 비교평가 하였다[18].

## 3. 결과

### 3.1 뇌 실질 선량지표

기본 전뇌조사와 체적변조회전 전뇌조사의 뇌 실질에 대한 지표는 뇌 실질의 DVH를 통해 계산하였다. 선량의

중앙 포함정도는 기존전뇌조사가 약 7% 높은 값을 표현하였다. 그리고 최대선량은 약 9%, 최소선량은 29% 기본 전뇌조사가 목적선량에 근접하였다.



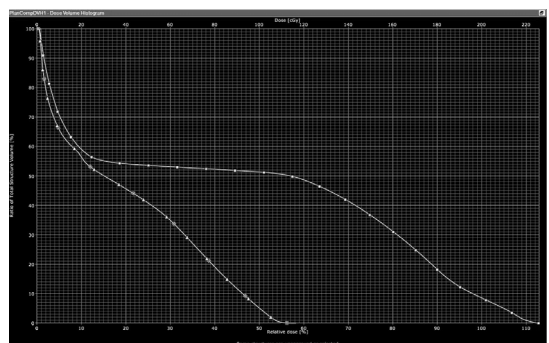
[Fig. 5] DVH image of brain tissue

[Table 1] Index of brain tissue

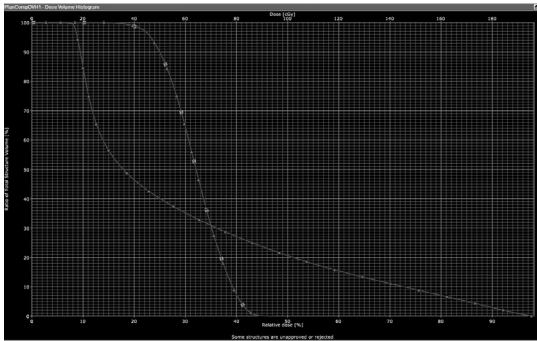
|     | Conventional | VMAT  |
|-----|--------------|-------|
| CI  | 0.973        | 0.905 |
| HI  | 1.127        | 1.231 |
| QOC | 0.983        | 0.762 |

### 3.2 기타 선량지표

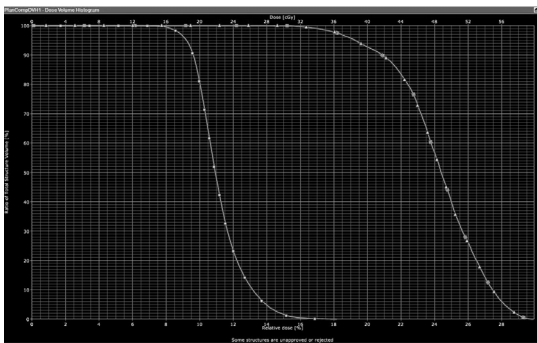
기본 전뇌조사와 체적변조회전 전뇌조사의 두피, 안구, 수정체, 경추에 대한 지표는 DVH로 확인하였으며, 고선량영역의 분포도 평가에 포함하였다. 저선량영역의 평가값은 기존체적변조회전 전뇌조사가 두피에서 약 16%, 경추에서 약 70% 감소되었다. 그리고 고선량영역의 평가값은 두피에서 약 90%, 경추에서는 약 91% 감소되었다.



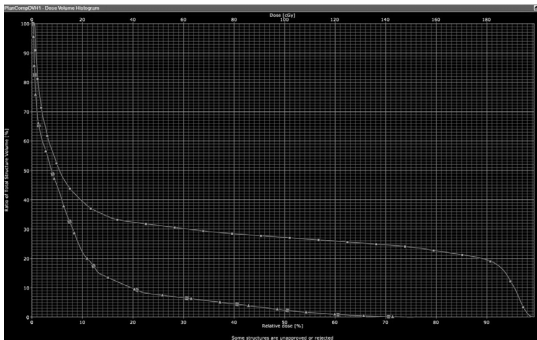
[Fig. 6] DVH image of scalp



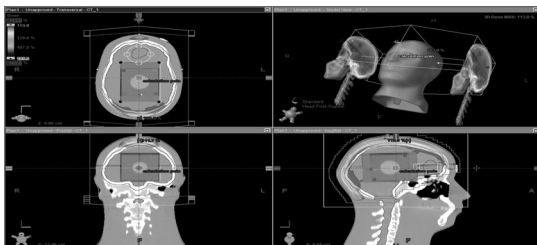
[Fig. 7] DVH image of eye ball



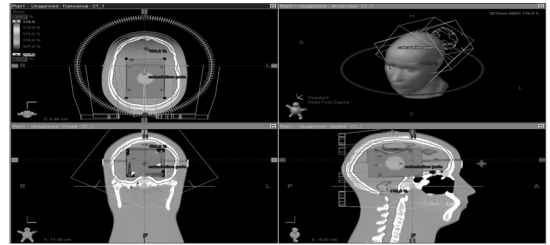
[Fig. 8] DVH image of lens



[Fig. 9] DVH image of c-spine



[Fig. 10] High Dose distribution image of conventional whole brain radiation therapy planning



[Fig. 11] High Dose distribution image of VMAT whole brain radiation therapy planning

[Table 2] Index of other

[unit : cc]

|          |                 | Conventional | VMAT   |
|----------|-----------------|--------------|--------|
| scalp    | V <sub>20</sub> | 375.14       | 316.09 |
|          | V <sub>50</sub> | 357.77       | 37.74  |
| eye ball | V <sub>20</sub> | 4.65         | 11.01  |
|          | V <sub>50</sub> | 22.47        | 0.00   |
| lens     | V <sub>20</sub> | 1.48         | 0.00   |
|          | V <sub>50</sub> | 0.00         | 0.00   |
| c-spine  | V <sub>20</sub> | 9.91         | 3.05   |
|          | V <sub>50</sub> | 8.24         | 0.76   |

#### 4. 고찰 및 결론

우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 암환자가 증가함에 따라 뇌전기도 증가하게 되었으며, 뇌전이의 표준치료인 방사선치료 역시 증가하고 있다. 이러한 전뇌방사선치료는 뇌 실질에 균등한 방사선을 조사하면서 두피에도 일정량의 방사선이 피폭되게 된다. 물론, 수정체 및 경추와 같은 주요장기에 대해서는 차폐를 하여 부작용 발생을 예방하게 되지만 두피의 경우에는 조사범위에 포함된 영역으로 기존의 전뇌조사방식에서는 두피의 피폭에 의한 탈모를 예방할 수 없게 된다. 예전에는 뇌전이에 대해 생존을 향상을 위해 탈모에 대한 부분을 감수하고 방사선치료를 진행하였지만, 최근 생존을 증가와 함께 삶의 질 향상에 환자들이 관심을 가지면서 방사선 치료로 인한 탈모에 대한 부분이 고려되고 있다. 심지어는 이러한 탈모로 인한 스트레스로 방사선치료를 중단하는 경우도 발생하게 된다. 하지만 최근 방사선치료기법이 발전하면서 체적변조회전치료기법을 응용하여 전뇌조사에 적용하게 되었다. 이러한 체적변조회전 전뇌조사의 경우

에는 기존의 수정체 및 경추의 피폭량 저감과 탈모 확률을 저감시킬 수 있도록 조절가능하게 되었다. 본 연구에서는 이러한 체적변조회전 전뇌조사가 기존 전뇌조사에 비해 유용성을 평가하는 것으로 실험결과 수정체, 안구, 경추는 물론이고 두피의 피폭량이 매우 감소하는 것을 보였다. 하지만 뇌 실질은 기존 전뇌조사보다 선량지표상으로 유용하지 못한 것으로 나타났다. 하지만 이러한 지표값의 차이는 크지 않으므로 처방선량의 조정, 체적변조회전 조건의 변경, 치료횟수의 조정으로 충분히 보완가능하다. 즉, 체적변조회전 전뇌조사를 이용하는 것이 기존 전뇌조사를 이용하는 것보다 환자의 생존율을 유지하면서, 부작용 감소를 통한 삶의 질 향상을 도모할 수 있는 방법이다. 이러한 탈모방지를 위한 방사선치료기법은 선행되었던 연구는 있었다. 하지만 기존 전뇌조사기법과 2방향에서 선량분포 조정을 한 방법인 기법, 그리고 토모테라피 장비를 이용한 기법을 비교한 것으로 임상적으로 활용하기에는 한계가 있다. 2방향 선량분포 조정기법의 경우에는 방향의 선택이 불가능하며, 토모테라피 장비를 이용한 기법의 경우 토모테라피 장비를 보유해야 하기 때문이다. 향후 체적변조회전 전뇌조사를 활용하기 위해서는 조건의 설정을 일반화 할 수 있는 프로토콜 개발을 통해 모든 경우에 적용할 수 있도록 개발이 필요하다는 숙제가 남아있다는 것을 인지하여야 할 것이다.

## References

- [1] J. H. Lee, K. Y. Choi, I. Y. Kim, et al., "Usefulness of 11C-methionine PET in the Diagnosis and Management of Tumor Seeding after Stereotactic Biopsy -Case Report-", *Brain Tumor Research and Treatment*, pp. 149-154, Jun, 2014.
- [2] D. S. Sun, L. K. Hu, Y. Cai, et al., "A Systematic Review of Risk Factors for Brain Metastases and Value of Prophylactic Cranial Irradiation in Non-Small Cell Lung Cancer", *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, pp. 1233-1239, Apr, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7314/APJCP.2014.15.3.1233>
- [3] F. Andre, K. Slimane, T. Bachelot, et al., "Breast cancer with synchronous metastases: trends in survival during a 14-year period", *J Clin Oncol*, pp. 3302-3308, Feb, 2004.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1200/JCO.2004.08.095>
- [4] A. Zabel, S. Milker-Zabel, C. Thilmann, et al., "Treatment of brain metastases in patients with non-small cell lung cancer (NSCLC) by stereotactic linac-based radiosurgery: prognostic factors", *Lung Cancer*, pp. 87-94, Jul, 2002.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5002\(02\)00030-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5002(02)00030-2)
- [5] J. S. Lee, "Cancer Facts & Figures 2014 in the Republic of Korea", *Ministry of Health & Welfare Republic of Korea*, pp. 1-138, Jul, 2014.
- [6] K. W. Jung, Y. J. W, H. J. Kong, et al., "Cancer Statistics in Korea: Incidence, Mortality, Survival, and Prevalence in 2011", *Cancer Res Treat*, pp. 109-123, Apr, 2014.
- [7] W. S. Lee, Y. H. Kim, J. H. Han, et al., "Stereotactic Radiosurgery for Brain Metastases from Non-Small Cell Lung Cancer", *Brain Tumor Research and Treatment*, pp. 38-44, Feb, 2012.
- [8] C. H. Lee, "The role of surgical resection in managements of brain metastasis : a 17-year longitudinal study", *Seoul National University*, pp. 1-32, Sep, 2012.
- [9] E. J. Kim, "Study on antitumor effect of poly-gamma-glutamate in combination with cyclophosphamide", *University of Science & Technology*, pp. 1-54, Aug, 2013.
- [10] M. K. Kang, "Comparison of the Dose of the Normal Tissues among Various Conventional Techniques for Whole Brain Radiotherapy", *The Korean Society for Radiation Oncology*, pp. 99-105, Apr, 2010.
- [11] D. W. Andrews, C. B. Scott, P. W. Sperduto, A. E. Flanders, L. E. Gaspar, M. C. Schell, et al., "Whole brain radiation therapy with or without stereotactic radiosurgery boost for patients with one to three brain metastases: phase III results of the RTOG 9508 randomised trial", *The Lancet*, pp. 1665, May, 2004.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)16250-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(04)16250-8)
- [12] J. Y. Jang, S. Y. Park, J. S. Kim, et al., "Scalp Dose Evaluation According Radiation Therapy Technique of Whole Brain Radiation Therapy", *Korea Society Radiotherapeutic Technology*, pp. 103-108, Aug, 2011.
- [13] M. H. Jang, "The Influence of Wearing Wigs on the Quality of Life the Female Cancer Patients Who Started Losing Hair", *Kosin University*, pp. 1-132, Feb, 2008.
- [14] L. Feuvret, G. Noel, J. J. Mazon, "Conformity index: A review", *Int J Radiation Oncology Biol Phys*, 64, pp. 333-342, 2006.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrobp.2005.09.028>
- [15] W. R. Lee, L. Daniel, *RTOG 0415: A phase III randomized study of hypofractionated 3D-CRT/IMR versus conventionally fractionated 3D-CRT/IMRT in patients with favorable-risk prostate cancer*, Radiation Therapy Oncology Group, Mahul, 2009.
- [16] H. D. Kim, B. Y. Kim, S. J. Kim, et al. "Influence of Couch

and Collimator on Dose Distribution of RapidArc Treatment Planning for Prostate Cancer in Radiation Therapy", *Korean J Med Phys*, pp. 99-105, Jun, 2012.

[17] H. J. Park, M. H. Kim, M. Chun, et al. "Effects of Arc Number or Rotation Range upon Dose Distribution at RapidArc Planning for Liver Cancer", *Korean J Med Phys*, pp. 165-173, Jun, 2012.

[18] Korean institute of radiological & medical sciences, *Research on the Medical Preparedness for Radiological Emergencies and the International Co-operation in the Region of the Far East Asia*, Ministry of Science, ICT and Future Planning, Korea, 2002.

**김 기 진(Ki-Jin Kim)**

[정회원]



- 2009년 2월 : 전북대학교 방사선과 학기술편과(이학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 방사선학과 겸임교수
- 2000년 2월 ~ 현재 : 건양대학교 병원 핵의학과

<관심분야>

핵의학, 방사선물리학, 생물학

**김 정 호(Jeong-Ho Kim)**

[정회원]



- 2004년 3월 ~ 2005년 9월 : 삼성서울병원 방사선종양학과
- 2005년 9월 ~ 2009년 3월 : 건양대학교병원 방사선종양학과
- 2013년 7월 : 전북대학교 방사선과 학기술편과(이학석사)
- 2011년 9월 ~ 현재 : 건양대학교 병원 방사선종양학과

<관심분야>

방사선치료, 방사선방호, 방사선계획, 방사선물리

**유 세 종(Se-Jong Yoo)**

[정회원]



- 2008년 2월 : 한밭대학교 화학공학과 공학사
- 2010년 2월 : 건양대학교 보건학과 보건학석사
- 2013년 8월 : 건양대학교 보건학과 보건학박사
- 2002년 3월 ~ 현재 : 건양대학병원 영상의학과

<관심분야>

방사선학, 보건의료, 보건의료정책, PACS, 의료사건학, 디지털영상학

**배 석 환(Seok-Hwan Bae)**

[정회원]



- 2003년 3월 ~ 2005년 2월 : 건양대학교 보건학석사
- 2005년 3월 ~ 2009년 8월 : 건양대학교 보건학박사
- 2008년 9월 ~ 현재 : 건양대학교 방사선학과교수

<관심분야>

방사선학, 보건의료, 보건의료정책, 의료영상진단기술학