

# 소동물 영상화 및 환경 방사선 검출을 위한 감마카메라 개발

## Development of Gamma Camera System for Small Animal Imaging and Environmental Radiation Detection

백철하  
동서대학교 방사선학과

Cheol-Ha Baek(baekch@gdsu.dongseo.ac.kr)

### 요약

이 연구의 목적은 감마선 검출 시스템을 개발하여 평행구멍형 조준기와 바늘구멍 조준기를 이용하여, 각각 소동물용 감마영상 획득과 환경 방사선 검출 영상을 획득하는 것이다. 본 연구에서는 크기가 50 × 50 mm 이며, 6 mm 두께의 CsI(Tl) 섬광체와 50 × 50 mm 크기의 Hamamatsu H8500C 위치민감형 광전 자증배관, 저항분배회로, 전치증폭기, 성형증폭기, NIM 모듈 및 아날로그 디지털 변환기로 구성된 감마카메라를 개발하였다. 또한, 바늘구멍 감마카메라와 전하결합소자 카메라를 결합하여 환경모니터링에 적용할 수 있는 장비를 개발하였다. 본 연구 결과는 평행 구멍형 조준기와 바늘구멍 조준기를 이용한 감마카메라를 각각 소동물용 감마영상 획득과 환경방사선 측정에 적용 할 수 있음을 보여주었다. 이 시스템은 소 동물 전용 감마카메라와 환경방사선 측정 시스템으로 활용 될 수 있을 것이다.

■ 중심어 : | 감마카메라 | 소동물 감마영상 | 환경방사선 검출 |

### Abstract

The aim of this work was to develop the gamma camera system for small animal gamma imaging and environmental radiation monitoring imaging using a parallel hole collimator and pinhole collimator. The small gamma camera system consists of a CsI(Tl) scintillation crystal with 6 mm in thickness and 50 × 50 mm in area coupled with a Hamamatsu H8500C PSPMT, are resistive charge divider, pre-amplifiers, charge amplifiers, nuclear instrument modules (NIMs), an analog to digital converter and a computer for control and display. We have developed a radiation monitoring system composed of a combined pinhole gamma camera and a charge-coupled devices (CCD) camera. The results demonstrated that the parallel hole collimator and pinhole collimator gamma camera designed in this study could be utilized to perform small animal imaging and environmental radiation monitoring system. Consequently in this paper, we proved that our gamma detector system is reliable for a gamma camera which can be used as small animal imaging and environmental radiation monitoring system.

■ keyword : | Gamma Camera | Small Animal Gamma Imaging | Environmental Radiation Monitoring |

\* 본 연구는 동서대학교 신임교수 지원 연구과제로 수행되었습니다.

접수일자 : 2013년 10월 01일

심사완료일 : 2014년 01월 08일

수정일자 : 2013년 11월 21일

교신저자 : 백철하, e-mail : baekch@gdsu.dongseo.ac.kr

## I. 서론

감마카메라는 방사성 핵종에서 방출되는 감마선을 검출하여 영상을 제공한다. 현재 감마카메라는 방사성 동위원소를 사용하는 의료 분야, 원자력 산업, 비파괴 검사분야 등 다양한 방사선 관련 산업 분야에서 널리 사용되고 있다.

의료분야에서는 생명과학 발전을 위해 소동물 모델을 통해서 질병 치료를 위한 약물과 치료방법 및 방사성 추적자의 개발을 위한 임상실험에 유용한 정보를 제공하는 소동물용 감마 영상이 이용되고 있다[1-8].

원자력 산업 분야에서는 방사성 동위원소의 사용이 증가됨에 따라 보다 안전하고 효율적인 시설관리를 위해 방사선 오염을 평가하는 방법으로 환경 방사선 검출이 가능한 감마카메라가 널리 이용되고 있다. 이와 같은 다양한 분야의 연구에서도 보여주듯이 현재 소동물 전용 감마카메라와 환경모니터링 감마카메라 개발 연구가 더욱 중요한 분야가 되어가고 있다[9-14].

본 연구에서는 CsI(Tl) 섬광체, 위치민감형 광전자증배관(Position sensitive photo-multiplier tubes, PSPMT), 저항분배회로(Resistive charge divider), 전치증폭기(Pre-Amplifier), 성형증폭기(Shaping-Amplifier), 일정분획판별기 (Constant fraction Discriminator), 게이트 및 지연신호 발생기(Gate & Delay generator), 데이터 획득 시스템(Data acquisition system)으로 구성하여 감마카메라를 개발하였다.

평행구멍형 조준기[15]와 제작한 감마카메라를 결합하여 소동물 영상이 획득 가능한 시스템을 개발하였고, 또한 바늘구멍 조준기를 이용한 감마카메라에 전하결합소자 카메라를 결합하여 환경 방사선 측정이 가능한 시스템을 제작해 영상을 획득 하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 감마카메라 시스템 설계

본 연구에서 설계한 감마선 검출기는 위치민감형 광전자증배관(Hamamatus, H8500 64 Ch) 앞단에 위치하

는  $50.0 \times 50.0 \times 6.0 \text{ mm}^3$ 의 평판형 CsI(Tl) 섬광체에 임의의 감마선이 들어오면 그 감마선은 빛으로 변환되고 위치민감형광전자증배관에 의해 전기신호로 바뀐 후 증배되어, 64개의 양극을 통해 해당 위치에 발생된 빛의 양을 전압으로 바꾸어 출력한다. 그 출력된 신호들은 비교기를 거친 후 하나 또는 두 개의 위치 값으로 변환된다. 이 위치 값은 감마선이 위치민감형광전자증배관의 64개의 양극 중에 어느 곳에서 반응했는지를 나타내도록 설계하였다. 위치민감형광전자증배관에서 출력되는 여러 개의 신호들을 4개의 위치신호로 변환시키는 저항 분배회로(Resistive charge divider)를 제작하고, 이 미약한 소신호를 증폭시켜 신호대잡음 비율을 높이는 전치증폭기, 성형증폭기 및 전체 readout 시스템을 구성하였다. 조준기가 결합된 감마카메라를 저항 분배회로를 통해 X+, X-, Y+, Y- 4개의 위치신호로 변환한다. 상호작용이 일어난 위치의 공간 좌표는 다음 식 (1), (2) 을 통해 계산하였다[16].

$$X = \frac{X^+ - X^-}{X^+ + X^-} \quad (1)$$

$$Y = \frac{Y^+ - Y^-}{Y^+ + Y^-} \quad (2)$$

4개의 위치신호로 변환된 신호는 전치증폭기(Pre-Amplifier)에서 증폭된다. 전치증폭기에서 증폭된 신호는 다시 두 개의 이중 성형 증폭기를 사용하여 증폭된 후 한쪽은 아날로그-디지털변환기(Analogue to Digital Conversion, ADC)로, 나머지 한쪽은 가산 및 전도 증폭기(dual sum & invert amplifier) 회로로 입력된다. 가산 및 전도 증폭기회로는 위치정보를 가지고 있는 16개의 신호를 합하여 전체 에너지 신호를 얻게 되고 이 출력을 일정분획 판별기(Constant Fraction Discriminator)에서 게이트 신호로 만들어 낸다. 이 신호는 게이트 및 지연신호 발생기(Gate & Delay generator)를 거쳐 최종적으로 아날로그 디지털 변환기에 사용할 수 있는 트리거 신호로 변환된다. 이러한 과정을 통해 신호를 획득하여 아날로그의 신호를 디지털로 바꿈으로써 영상을 확인할 수 있다. 이러한 데이터 획득 및 실시간 영상

확인은 Peripheral component interconnect bus(PCI)-6132 디지털 아날로그 변환기 보드와 컴퓨터와의 디지털 입/출력 신호제어와 처리를 위한 LabVIEW 그래픽 소프트웨어를 사용하여 영상을 표현하고 저장할 수 있도록 하였다. [그림 1]은 바늘구멍 조준기 감마카메라 시스템의 구성도를 보여준다. 검마선 검출을 위한 실험 장비 구성은 [그림 2]와 같다.

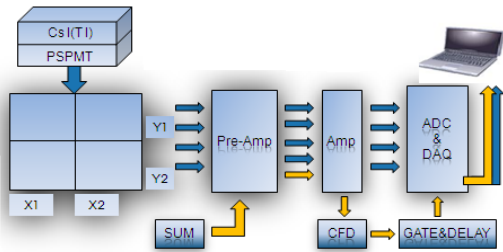
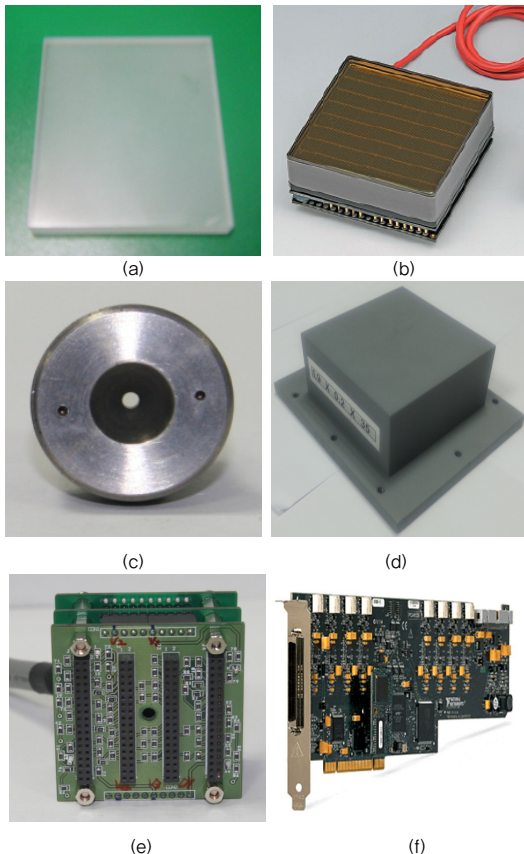


그림 1. 감마카메라 시스템 구성도



(g)

그림 2. 검마선 검출을 위한 감마카메라 시스템 구성 (a) CsI(Tl) 섬광결정 (b) 위치민감형광전자증배관 (H8500C) (c) 평행구멍형 조준기 (d) 바늘구멍 조준기 (e) 신호처리부(저항분배회로, 전치증폭기) (f) Server PC의 PCI-6132 데이터획득 보드 (g) 전하결합소자 (BASLER SCA640-70FC)

## 2. 소동물 영상 획득 및 환경 방사선 검출 시스템

소동물 영상 획득을 위해 섬광결정과 위치민감형광전자증배관으로 구성된 검출기에 평행구멍형 조준기를 결합하였다. 사용된 평행구멍형 조준기는 납으로 된 평판에 많은 수의 구멍이 뚫린 것으로 본 연구에서는 높이는 35 mm, 격벽 두께는 0.2 mm, 구멍 형태는 및 크기는 반지름 1.9 mm의 정사각형 모양을 사용하였다. 소동물 영상 획득을 위한 평행구멍형 조준기와 감마카메라 구성은 [그림 3]과 같다.

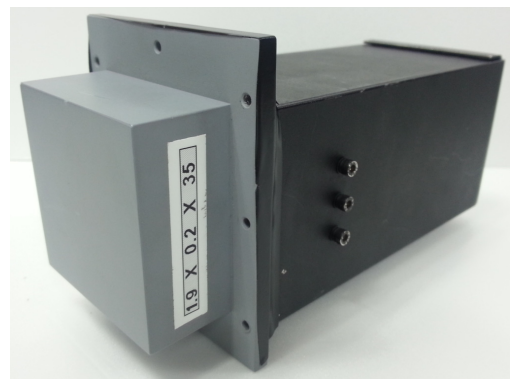


그림 3. 소동물 전용 감마카메라 시스템(평행구멍형조준기+감마카메라)

반면 환경 방사선 검출을 위해 직경 1.5 mm 이고 높이는 0.5 mm인 텅스텐 재질의 바늘구멍 조준기를 사용하였다. 그리고 제작된 감마카메라와 측정시야가 같은

전하결합소자(Charge-coupled device, CCD) 카메라를 설치하여 감마영상과 가시광영상을 동시에 측정 할 수 있는 시스템을 구성하였다. 전하결합소자 영상획득 및 제어는 National Instruments사의 PCI eXtensions for Instrumentation(PXI)-8252 프레임 그래버를 PXI에 연결하여 전하결합소자 카메라의 신호를 받아들이고 이를 PXI 익스프레스 카드(express card)를 통해 노트북으로 연결하여 노트북으로 전하결합소자 카메라의 작동을 제어 가능하도록 하였다. 환경 방사선 검출 장비를 이동이 가능한 테이블에 위치시켜 장소를 이동하면서 환경방사선 검출을 실시하였다. 환경 방사선 검출을 위한 바늘구멍 조준기와 감마카메라 및 전하결합소자 구성은 [그림 4]와 같다.



그림 4. 환경방사선 검출 전용 시스템(바늘구멍조준기+감마 카메라+전하결합소자)

### III. 결과

소동물 영상화를 위해 Co-57 (122 keV) 선원을 조준

기로부터 2 cm 거리에 위치시키고, 평행 구멍조준기와 감마선 검출기로 설계된 시스템을 사용하여 영상을 획득 하였다. [그림 5]에서와 같이 점선원 영상 및 프로파일을 획득하였고, 공간분해능은 점선원 영상의 점확산 분포를 가우시안 함수를 이용하여 측정한 반치폭(full width at half maximum, FWHM)으로 정의하여 계산 하였다. 그 결과 공간분해능은 3.8 mm FWHM 값을 획득하였다.

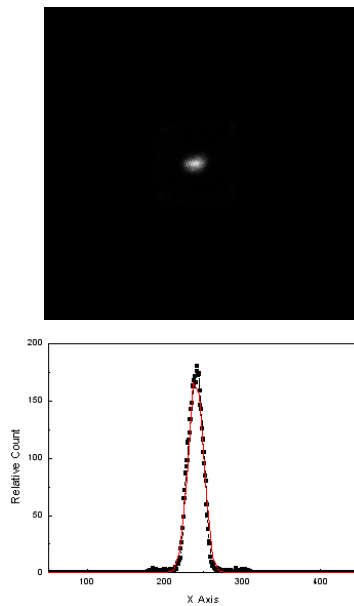


그림 5. 소동물 영상 시스템을 통해 획득한 점선원 영상 및 프로파일

환경 방사선 측정을 위해서 바늘구멍조준기를 결합하여 영상을 획득하였다. Co-57 선원에 대해 선원에서 바늘구멍조준기와의 거리를 20 cm으로 일정하게 유지시키고 Co-57 선원(122 keV)을 중심으로부터 우측으로 10cm, 20 cm 세 점으로 이동시켜 획득한 감마카메라 영상은 [그림 6]과 같다. [그림 7]은 3.0 mm 지름의 Co-57 선원(100  $\mu Ci$ )을 중앙으로부터 좌측, 우측으로 이동시켜 감마카메라 영상과 전하결합소자 카메라 (CCD) 영상을 동시 획득하여 LabVIEW 프로그램으로 융합한 영상을 보여준다.

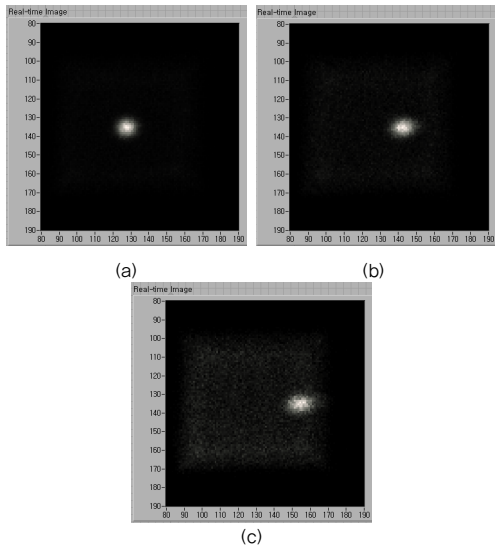


그림 6. 환경 방사선 영상 시스템을 통해 Co-57 선원을 우측으로 10 cm씩 이동시켜 획득한 감마카메라 영상 (a) 0.0 cm (b) 10.0 cm (c) 20.0 cm

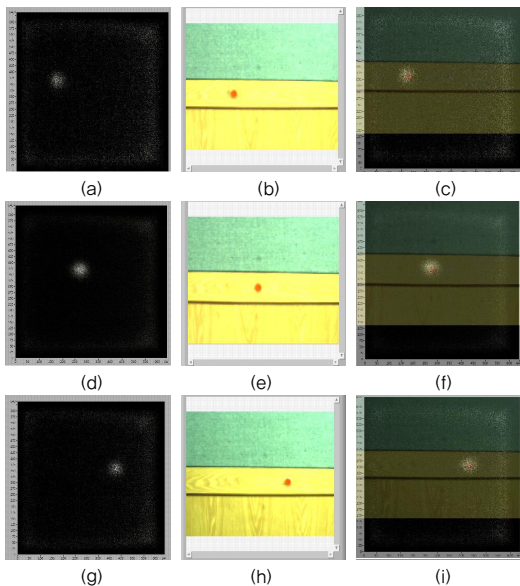


그림 7. Co-57 선원으로부터 1.5 m 거리에서 촬영한 전자결합 소자 카메라 영상과 감마카메라 영상의 LabView 프로그램을 이용한 융합 (a) 좌측 위치에서 선원영상 (b) 좌측 위치에서 CCD영상 (c) 좌측 위치에서 CCD영상과 선원영상 합성 (d) 중앙 위치에서 선원영상 (e) 중앙 위치에서 CCD영상 (f) 중앙 위치에서 CCD영상과 선원영상 합성 (g) 우측 위치에서 선원영상 (h) 우측 위치에서 CCD영상 (i) 우측 위치에서 CCD영상과 선원영상의 합성

#### IV. 고찰

소동물 전용 감마카메라는 마우스와 같은 소동물의 뇌나 심장 등의 소동물 연구에 유용성이 있고, 이는 생물현상 규명 및 질병 치료법 연구, 신약 개발 등 여러 분야에 사용될 수 있다. 그리고 감마카메라는 단일광자 방출단층 시스템(single photon emission computed tomography, SPECT)으로도 적용이 가능하다.

또한, 환경 방사선 검출 시스템은 테이블에 기기들을 설치하여 주변 환경을 이동하면서 환경 모니터링을 더욱 효과적으로 사용할 수 있다. 이 시스템은 방사성 동위원소가 사용되고 있는 원자력발전소, 재처리시설, 가속기시설에서의 누설방사선을 모니터링을 하여 불필요한 방사선 노출을 방지할 수 있으며, 작업종사자의 낮은 방사선 피폭선량을 유지시켜 줄 수 있다.

본 연구에서는 감마선 영상 획득을 위해 신호획득부, 신호처리부, 데이터 처리부로 구성된 감마카메라 시스템을 제작하였다. 이 감마카메라 시스템에 다른 두 종류의 조준기를 사용해 소동물 영상화 시스템으로 적용 가능성을 알아보았다. 또한, 전하결합소자와 감마카메라 시스템으로 구성하여 환경 모니터링에 적용 가능성에 대한 연구를 수행하였다.

그 결과 개발한 감마카메라 시스템과 평행구멍형 조준기를 이용하여 3.8 mm 공간분해능을 획득하였고, 이는 소동물 영상화에 적용할 수 있음을 보였다. 여러 연구 그룹에서 고분해능의 소동물 영상을 획득하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 바늘구멍 조준기를 이용한 영상 확대를 통해 고분해능의 영상을 획득하는 연구가 이루어지고 있지만, 하나의 구멍을 통해 입사하는 감마선을 측정하므로 매우 낮은 민감도가 문제가 된다[17]. 이러한 민감도가 낮은 문제점을 해결하기 위해 부호화 구경 조준기가 사용되고 있다[18]. 이 조준기는 피부에 가까이 위치하는 대상에 대한 영상을 획득하기는 쉽지만, 심장과 같이 깊이를 가지고 있는 대상에 대해서는 유용한 정보를 얻을 수 없는 단점이 있다. 추후 조준기 종류, 섬광체 두께 및 크기 등을 고려한 고분해능 영상을 획득할 수 있는 소동물 영상 전용의 감마카메라 연구가 필요할 것으로 사료된다.

또한, 감마카메라 시스템에 전하결합소자 카메라를 부착하여 감마선 영상과 가시광 영상을 동시에 얻어 융합 영상을 획득 하였다. 본 결과는 감마카메라 시스템이 환경방사선 모니터링에 적용할 수 있음을 보였다. 현재 바늘구멍조준기를 이용한 소형 감마카메라와 전하결합소자 카메라를 탑재한 이동형 환경감시 시스템은 해외 몇몇 회사에서 상용화 되어 시판 중이나 가격이 매우 고가인 단점이 있다[19]. 본 연구에서 획득한 기술을 바탕으로 국내화 실정에 맞는 설치 및 휴대가 간편한 환경 방사선 모니터링 시스템 개발이 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결론

본 연구에서는 감마카메라 시스템을 제작하여 다른 두 종류의 조준기를 사용해 소동물 영상화 시스템과 환경 방사선 모니터링에 적합한 시스템을 개발하였다.

본 연구를 통하여 획득한 방사선 검출기 제작기술은 국내 방사선측정 산업의 활성화를 통해 방사선 측정원리를 응용한 새로운 신기술 개발의 중요한 역할을 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] F. Beekman and F. Have, "The pinhole: gateway to ultra-high resolution three-dimensional radio-nuclide imaging," *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, Vol.34, No.2, pp.151-161, 2007.
- [2] A. G. Weisenberger, E. L. Bradley, and S. Majewski, "Development of a Novel Radiation Imaging Detector System for In Vivo Gene Imaging in Small Animal Study," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, Vol.50, No.3, pp.74-79, 2003.
- [3] A. G. Weisenberger, B. Kross, and S. Majewski, "Design Features and Performance of a CsI(Na) array based gamma camera for small animal gene research," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, Vol.45, No.6, pp.3053-3058, 1998.
- [4] Y. Qi, "Optimized collimator designs for small animal SPECT imaging with a compact gamma camera," *IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, Vol.2, pp.1780-1782, 2005.
- [5] R. J. Jaszczak, L. Jianying, and, H. Wang, "Pinhole collimation for ultra-high-resolution, small-field-of-view spect," *Phys. Med. Biol.* Vol.39, No.3, pp.425-37, 1994.
- [6] Z. Liu, G. A. Kastis, and G. D. Stevenson, "Quantitative analysis of acute myocardial infarct in rat hearts with ischemia-reperfusion using a high-resolution stationary SPECT system," *J. Nucl. Med.* Vol.43, No.7, pp.933-939, 2002.
- [7] D. P. McElroy, R. L. Macdonald, and F. Beekman, "Performance evaluation of a-SPECT: a high resolution desktop pinhole SPECT system for imaging small animals," *IEEE Trans. Nucl. Sci.* Vol.49, No.5, pp.2139-2147, 2002.
- [8] S. R. Cherry, "In vivo molecular and genomic imaging: new challenges for imaging physics," *Phys. Med. Biol.*, Vol.49, No.3, pp.R13-R48, 2004.
- [9] O. Gal, M. Gmar, and O. P. Ivanov, "Development of a portable gamma camera with coded aperture," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A*, Vol.563, No.1, pp.233-237, 2006.
- [10] W. Lee and G. Cho, "Pinhole collimator design for nuclear survey system," *Annals of Nuclear Energy*, Vol.29, No.17, pp.2029-2040, 2002.
- [11] M. Gimenez, "Medium field of view multiflat panel-based portable gamma camera," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A*, Vol.525, No.1-2, pp.298-302, 2004.
- [12] R. Redus, J. S. Gordon, and P. Bennett, "An

- imaging nuclear survey system," IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol.43, No.3, pp.1827-1831, 1996.
- [13] C. H. Baek, S. J. Lee, and Y. Choi, "Optimization of Large-Angle Pinhole Collimator for Environmental Monitoring System," IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol.57, No.3, pp.1404-1408, 2010.
- [14] M. Woodring, D. Beddingfield, and D. Souza, "Advanced multi-dimensional imaging of gamma-ray radiation," Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. Vol.505, pp.415-419, 2003.
- [15] J. G. Bong, H. J. Kim, and J. D. Lee, "Computer Simulation for Effects of scintillator and parallel hole collimator on gamma probe imaging," Journal of Kor. Soc. of Med. Biol. Eng. Vol.19, No.6, pp.563-570, 1998.
- [16] H. O. Anger, "Scintillation camera," The Review of Scientific Instruments, Vol.29, No.1, pp.27-33, 1958.
- [17] D. A. Weber and M. Ivanovic, "Ultra-high-resolution imaging of small animals: Implications for preclinical and research studies," Journal of Nucl. Cardiology, Vol.6, pp.332-344, 1999.
- [18] R. Accorsi, F. Gasparini, and R. Mayans, "A coded aperture for high resolution nuclear medicine planar imaging with a conventional anger camera: experimental results," IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol.48, No.4, pp.2411-2417, 2001.
- [19] J. Edward, "GammaModeler™ 3-D Gamma-Ray Imaging Technology," U.S. Department of Energy office of Environmental Management Office of Science and Technology, Summary Report.

저 자 소 개

백 철 하(Cheol-Ha Baek)

정회원



- 2013년 2월 : 연세대학교 방사선학과(이학박사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 방사선학과 조교수

<관심분야> : 방사선 기기, 방사선 물리, 방사선 계측