JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 20, No. 10 : 2001~2006 Oct. 2016

영상처리기반 감마선원 거리탐지 고속화 및 가시화 연구

황영관* · 이남호

The Visualization and the Fast Detection of Gamma Radiation Source using Stereo Image Processing

Young-Gwan Hwang* · **Nam-Ho Lee**

Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, 34057, Korea

요 약

감마선 공간 탐지 장치는 감마선원을 스캔하여 영상화 한 후 스테레오 영상처리기술을 적용하여 탐지선원까지의 거리를 측정한다. 또한 실제 공간의 방사선원에 대한 분포 정보를 제공해 준다. 본 논문에서는 감마선 탐지장치가 3차원 공간상에서 장치로부터 선원을 찾기 위해 스캔하는 탐지 시간을 단축 시킬 수 있도록 감마선 탐지 고속화 알고리즘을 구현하였다. 그리고 감마선 조사 시험장에서 실험을 통해 그 성능을 검증하였다. 탐지시험 결과 고속 탐지를 위한 알고리즘을 적용할 경우 단일선원을 탐지할 경우 좌·우 스테레오 영상 획득 시보다 약 35% 의 탐지 시간을 단축시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 사용자에게 방사선 공간분포 정보를 효율적으로 전달하기 위한 감마선원 분포의 입체 가시화를 구현하여 방사선원에 대한 정보를 제공할 수 있도록 하였다.

ABSTRACT

The stereo radiation detection system detects the gamma source and acquires two dimensional left and right images for gamma source and visible objects using the detection result. And then the system measures the distance to the radiation source from the system in 3D space using stereo vision algorithm. In this paper, we implemented the fast detection algorithm for gamma source from the system in 3D space to reduce the detection time with image processing algorithms. Additionally, the system's performance is verified through experiments on gamma irradiation facilities. As a result, if the fast detection algorithm applied to the system, we can confirm that the detection system represents a 35% better performance than the conventional detection method that is full scanning to acquire the stereo image. We also have visualized a gamma source distribution through a 3D monitor using the stereo vision algorithm in order to provide the information of radiation spatial distribution to the user efficiently.

키워드 : 감마선 검출, 감마선원 거리측정, 방사선 영상화, 방사선 분포 가시화

Key word : Gamma detection, Measurement distance of radiation source, Radiation imaging, Visualization of gamma ray

Received 11 August 2016, **Revised** 12 August 2016, **Accepted** 29 August 2016

* **Corresponding Author** Young-Gwan Hwang(yghwang@kaeri.re.kr, Tel:+82-42-868-2245)
Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, 34057, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.10.2001 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

1954년 6월 러시아에서 세계 최초의 원자력 발전소를 가동한 이후 원자력 발전시설은 지속적으로 증가하였으며 60년이 지난 현재 446기가 가동 중이며, 63기가 건설되고 있다. 또한 157기의 폐로가 있으며, 사용이 중단된 원전의 수도 증가하고 있다. 후쿠시마의 원전사고뿐만 아니라 노후 원전의 증가에 따라 해체 시 위험요소인 감마선원에 대한 제염 분야의 관심이 증가하며 관련 기술의 개발 역시 발전되고 있다. 이러한 제염 분야에서 효율적인 방사선원 제염작업을 위해서는 방사선 오염물질에 대한 분포 및 세기 정보 그리고 탐지 장치를 기준으로 선원까지의 거리정보 등이 필요하다.

오염된 물질의 방사선에 대한 분포 및 세기 정보를 얻기 위한 방사선 영상화 장치의 개발은 지속적으로 이루어져 왔으며, 현재까지 개발된 방사선 영상화 장치는 크게 두 종류로 분류된다. 첫 번째로 탐지 장치를 고정시킨 후 일정 영역을 사진 찍듯 탐지하는 칼토갬(Cartogam) 장치가 있고, 누출된 감마선원을 조사구와 감마선 검출기를 이용해 설정된 공간을 스캔하는 형태의 라드스캔(Radscan) 장치가 있다[1-5].

먼저 탐지 장치를 고정한 후 사진 찍듯 감마선 분포 영상을 측정하는 장치는 크기가 작고 비교적 빠른 시간에 감마선원을 탐지할 수 있다는 장점이 있지만, 고선량에서는 입사되는 선량에 대한 간섭으로 인해 탐지 공간에서 감마선원의 정확한 분포탐지에 어려움이 있다.

이에 반해 팬틸트(Pan/Tilt)를 이용해 탐지하는 Radscan장치는 팬, 틸트로 구성된 기구부와 조사구를 두어 원하는 방향에 대한 선량 정보를 픽셀 단위로 취득하기 때문에 스캔한 위치에서의 감마선 분포를 정확하게 찾을 수는 장점이 있다. 하지만 해당하는 감마선 분포 영역을 설정하고 탐지하는데 많은 소요시간이 요구되며, 부피가 크고 고중량이라는 단점이 있다.

또한 앞서 언급한 두 가지 장비에서는 감마선원에 대한 분포 영상만을 탐지할 수 있으며, 장치로부터 얼마나 떨어져 있는지에 대한 거리정보를 획득할 수 없고, 레이저 파인더를 사용할 경우 장애물이 있는 환경에서는 거리측정이 불가능하다.

이러한 문제점을 보완하여 선행연구에서는 하나의 감마선 센서와 가시광 카메라를 이용하여 팬틸트를 통해 스테레오 기반의 감마선 공간 탐지 장치를 구현하였으며, 국외 상용 장비에서 제공할 수 없는 선원의 거리정보를 측정할 수 있도록 스테레오 기법을 통해 거리측정 기술을 적용하였다[6].

본 논문에서는 기존의 스테레오 탐지기법을 이용한 선원 탐지를 고속으로 처리하기 위해서 영상처리 기법을 적용하여 탐지 선원의 거리정보를 보다 빠르게 측정할 수 있는 고속 스캔 알고리즘을 구현하였다. 이와 함께 탐지 장치를 통해 측정한 결과를 통해 실제 공간에서 감마선에 대한 분포를 입체로 확인할 수 있는 가시화 알고리즘을 구현하였다. 구현한 탐지 장치의 성능 시험은 감마선원을 대상으로 수행한 결과 약 35%의 탐지 시간이 단축되었으며, 3차원 모니터를 통해 감마선원과 가시광 영상의 합성영상을 확인해본 결과 감마선원의 분포정보를 공간상에서 확인할 수 있어 효율적인 제염작업을 위한 정보를 제공할 수 있다.

Ⅱ. 스테레오 감마선 탐지장치

2.1. 스테레오 기반 감마선 탐지장치 구성

스테레오 기반의 감마선 공간 탐지 장치는 그림 1과 같이 구성하였다. 왼쪽에 위치한 것은 감마선원을 탐지하기 위한 감마선 검출기로 납을 이용해 차폐체 및 콜리메이터를 구성하였으며, 그 내부에는 감마선을 탐지할 수 있도록 NaI(Tl) Scintillator와 PMT(Photo Multiplier Tube)로 결합된 감마선 검출기를 설치하였다[7]. 오른쪽에는 탐지 공간을 확인하기 위해 가시영상 획득을 위한 CCD 카메라를 적용하였다. 가운데 위치한 기구부는 팬틸트 구조로되어 있으며, Motion제어와 신호 측정을 위한 전자보드를 내장하고 있다.

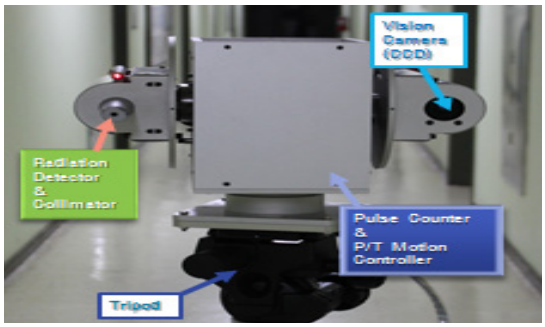

Fig. 1 Stereo gamma ray detection system

감마선 공간 탐지 장치는 감마선 검출기의 조사구를 수직, 수평방향으로 이동하며 조사구가 바라보는 위치의 방사선 신호를 측정하고, 해당 위치 값을 동기화하여 감마선 분포 영상을 생성하게 된다.

2.2. 방사선원 탐지 및 거리측정 기법

탐지 장치를 기준으로 좌, 우에 각각 가시광 카메라와 감마선 검출기가 설치되어 있다. 감마선원 탐지는 그림 2와 같이 설정된 영역을 팬틸트를 통해 스캔하게 되며 각각의 위치 값을 검출된 신호 측정값과 동기화시켜 2차원의 우측 감마선 영상을 생성하게 된다.

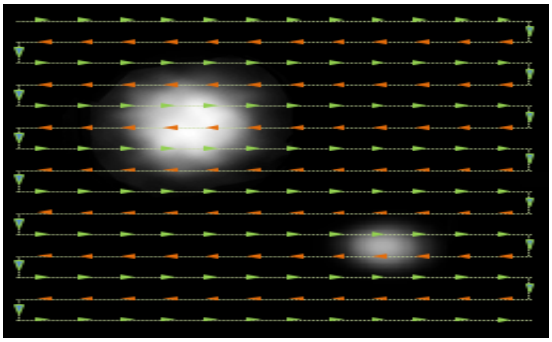

Fig. 2 The acquisition of radiation image

우측 방사선 영상을 획득한 후 그림 1에 나타난 바와 같이 좌(가시광 카메라), 우(감마선 검출기)는 틸트 축을 중심으로 180도 회전하고, 팬 축을 중심으로 180도 회전하여 감마선 검출기와 가시광 카메라의 위치를 변경한다. 변경 후 우측 감마선 영상을 획득한 것과 동일한 영역을 스캔하여 좌측 감마선 영상을 획득하여 좌, 우 스테레오 영상을 획득하게 된다. 획득된 좌, 우 스테레오 감마선 영상과 탐지 장치의 기하구조를 이용하여 탐지 장치로부터 선원까지의 거리 값을 산출할 수 있다.

Ⅲ. 영상처리기반 감마선원 고속 탐지

3.1. 감마선 공간 탐지 장치에 대한 스테레오 보정

감마선 공간 탐지 장치를 통해 방사광 영상을 좌, 우에 대해 각각 획득한다면 탐지 선원에 대한 거리정보 산출이 가능하다. 그러나 정확한 거리정보를 산출하기 위해서는 스테레오 영상을 얻는 좌, 우 감마선 검출기에 대한 스테레오 보정이 필수적으로 요구된다.

일반적으로 카메라에 대한 스테레오 보정을 위해 사용하는 패턴 이미지 획득이 감마선 검출기로는 불가능하기에 동일한 위치에 고정된 가시광 카메라를 활용하여 감마선 검출기의 스테레오 보정 파라미터를 획득하였다. 보정 절차는 크게 4단계로 구분한다. 먼저 감마카메라를 우측에 위치하여 우측 감마선 영상을 얻고, 가시광 카메라를 우측으로 위치하여 우측 가시광 영상을 획득한다. 동일한 방법으로 좌측의 감마선 영상, 가시광 영상을 획득한 후 동일 위치에서의 감마선 검출기와 가시광 카메라에 대한 Homography 변환 관계를 계산한다. 두 번째 단계에서는 가시광 카메라를 이용하여 보정패턴을 획득한다.

세 번째 단계에서는 우측 가시광 영상을 통해 획득한 보정 패턴 영상과 앞서 산출한 Homography 변환관계를 적용하여 우측 감마선 보정 패턴 영상을 생성한다. 동일한 방법으로 좌측 감마선 보정 패턴 영상을 획득하다. 마지막 단계에서는 생성된 각각의 보정 패턴 영상을 이용하여 좌, 우 감마선 검출기에 대한 카메라 보정을 실시하고, 해당하는 카메라 보정 정보를 통해 두 대의 카메라에 대한 스테레오 보정을 진행한다. 스테레오 보정은 Zhang의 알고리즘을 적용하였다[8].

3.2. 감마선원 고속탐지기법

감마선원에 대한 거리측정을 위해서는 좌, 우 스테레오 영상 획득이 필요하다. 감마선의 특성을 고려할 때, 높은 투과율을 나타내는 감마선의 경우 선원의 세기가 가장 큰 부분은 검출기의 좌, 우 모두 동일하게 나타나게 되므로 좌 영상을 획득한 후 탐지 시간을 최소화할 수 있는 영역을 설정하여 할 수 있다.

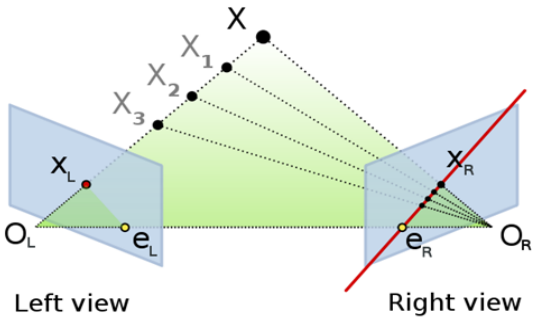

Fig. 3 The geometry of stere camera image

즉, 먼저 검출된 우측 감마선 영상 정보를 이용하면 좌측 감마선 검색 영역을 축소할 수 있으며, 탐색 시간 단축이 가능하다. 이를 위해 에피폴(Epipole) 조건을 이용하여 검색 영역 축소 방법 개발 및 모듈화를 통해 검색 영역을 단축하여 탐지 시간을 최소화하였다. 그림 3을 보면 좌 영상에서 한 점이 정해질 경우 두 카메라의 기하 관계를 알면 우영상에서의 대응되는 점은 에피폴라 라인위에 존재하는 것을 알 수 있다[9].

탐지 시간을 단축하기 위한 절차는 그림 4와 같이 나타낸다. 먼저 탐지 장치를 통한 좌측 감마선 영상을 획득한다. 그 후 탐지된 결과에 대한 이미지 처리 후 중심점을 Peak 값에 기반 한 중심점을 선정한다.

수직방향에 대해 기구적으로 정렬이 되어 있으므로 탐지한 선원이 중심점을 기준으로 수평에 대한 스캔을 통해 우측 감마 선원의 위치를 탐지한다.

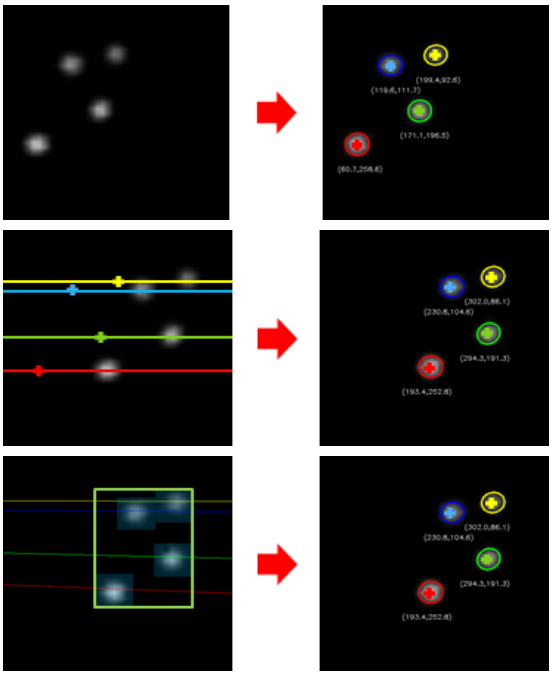

Fig. 4 The ROI scanning process for the reducing of radiation detection time

정확도 향상을 위해 탐지된 우측 감마선 영상에서 개별 선원에 대한 관심영역(ROI)을 설정한 후 해당 영역을 다시 탐지하여 우측 감마선 영상을 재구성한다. 재구성시 탐지하지 않은 영역은 선원이 존재하지 않기는 것으로 처리하여 2차원 감마선 영상을 생성한다.

3.3. 감마선원 분포 및 거리측정

감마선 공간 탐지 장치의 탐지 효율을 확인하기 위하여 감마선 조사시설을 통한 감마선원 탐지를 수행하였다. 그림 5는 감마선 조사시설의 내부의 모습을 나타내고 있다. 탐지 실험은 Cs-137 감마선원으로부터 거리를 달리하여 감마선원의 분포를 측정함과 동시에 선원에 대한 거리 값을 측정하였다. 또한, 두 장의 방사선원 영상을 획득할 경우의 시간과 탐지 효율을 개선하기 위해 영상처리 알고리즘을 적용한 탐지 시간을 비교하였다.

Fig. 5 The experiment for gamma source detection

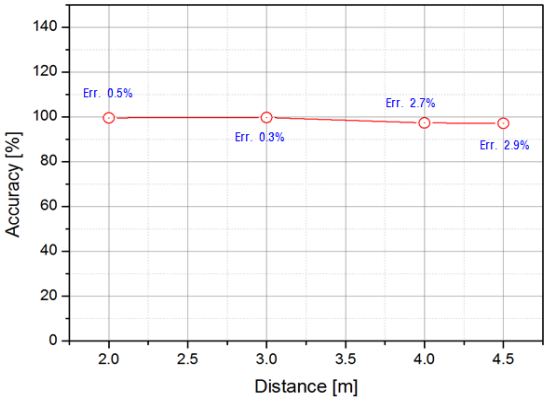

Fig. 6 The result of detection for distance variation

Table. 1 The test results of Gamma source detection

	Elapsed Time	Detection Err.
Full-Scan	510 sec	< 3%
ROI-Scan	330 sec	< 3%

감마선원 탐지를 위한 탐지 장치의 탐지 조건은 수직, 수평방향에 대해 각각 20°의 영역을 탐지하도록 설정하였다. 선원으로부터 거리는 2.0m ~ 4.5m 의 범위에서 이동하며 탐지하였다. 탐지 감마선 영상을 통해 측정한 거리와 탐지 센서로부터 선원까지의 실제 측정 거리에 대한 비교 결과를 그림 6에 나타내었다. 탐지 결과 최대 3.0% 이하의 오차를 확인하였으며 평균적으로 볼 때 1.6% 이하의 정확도를 나타내었다. 표 1에 나타난 것은 탐지 장치로부터 좌, 우 전체 영상을 획득할 경우의 소요 시간과 관심영역을 통해 탐지 시간을 개선하여 측정할 때의 소요시간을 비교한 결과이다. 그 결과 탐지 시간에서 약 35%의 시간 단축 효과를 확인하였다. 상용 장비인 Radscan의 경우 동일 영역을 같은 해상도로 탐지할 경우 약 1,600초의 탐지 시간이 소요된다. 이를 볼 때 상용 장비와 비교할 경우 동일한 분해능을 기준으로 소요시간이 약 80% 정도 빠르며, 영상 분포와 함께 선원까지의 거리 정보도 확보할 수 있다.

Ⅳ. 감마선 탐지 결과의 가시화

단 센서 기반의 스테레오 감마선 탐지기를 통해 선원의 3차원 공간정보를 획득하였고, 이를 사용자에게 제공하기 위하여 가시광 영상과 방사광 영상을 중첩하고 4대의 카메라에 대한 기하 보정을 통해 입체 가시화를 구현하였다.

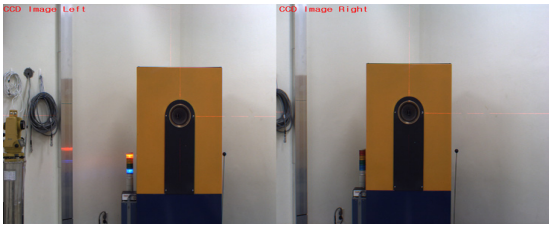

Fig. 7 Stereo vision image : Left, Right

그림 7은 가시광 영상 획득 결과를 나타낸 것이며, 그림 8은 감마선 분포 영상을 탐지한 결과이다. 획득한 가시광, 감마선 영상을 중첩하여 그림 9의 상단에 위치한 것과 같이 가시광 영상에서 실제 방사선의 분포를 나타내었다. 그 후 3차원 입체영상 생성을 위하여 좌우 카메라의 센서 보정을 진행하고 영상에 대한 정류화(Rectification)을 진행하여 그림 9와 같은 입체 가시화 결과를 나타내었다.

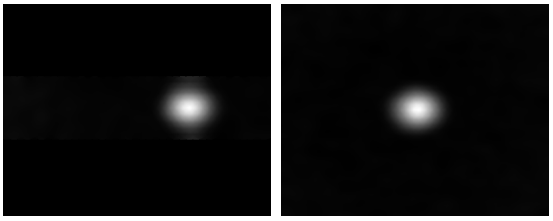

Fig. 8 Gamma detection image : left, right

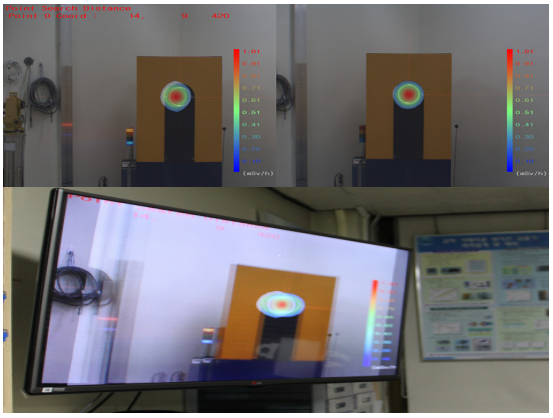

Fig. 9 The visualization of detection results

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 감마선원을 탐지하여 영상화하기 위한 스테레오 감마선 탐지장치를 구현하였다. 기존 상용 장치의 경우 무게가 무겁고 고가이며 탐지 속도가 느리다는 문제가 지적되었다. 또한 탐지 분포를 나타내지만 선원에 대한 거리측정 시 레이저 파인더를 사용하고 있기에 장애물이 있을 경우 정확한 거리정보 획득이 불가능하다. 이에 반해 감마선은 투과도가 높아 이를 영상화시킨 후 스테레오 기법으로 거리를 탐지한다면 장애물의 유무에 관계없이 거리측정이 가능하다.

스테레오 감마선 공간 탐지 장치는 이러한 문제를 해결하기 위하여 감마선 센서와 가시광 센서를 하나씩 두어 감마선원의 분포정보 탐지하고 거리정보를 획득할 수 있도록 구현되었다. 또한 스캔 방식의 알고리즘을 개선하여 감마선원의 공간정보를 고속으로 산출할 수

있도록 하였고, 실제 감마선 조사시설에서 측정한 결과 거리 탐지에 대한 정밀도는 평균적으로 약 1.6% 이내임을 확인하였다. 탐지시간은 외국 상용장비와 동일 조건에서 비교할 때 80%가량 빠르며, 스테레오 영상을 획득할 경우보다 35%의 시간 단축 효과를 확인하였다. 또한, 실제 선원의 분포를 사용자에게 제공할 수 있도록 선원에 대한 분포를 가시화하였고, 감마선 누출 환경의 공간에서 선원에 대한 위치를 사용자가 느낄 수 있는 입체 가시화 결과를 확인하였다.

본 연구의 결과는 감마선원에 대한 분포를 탐지하고 누출된 위험요소를 보다 효율적으로 제거할 수 있도록 정보를 제공할 것이라 여겨지며, 방사선 제염 분야에서 작업효율 증진에 기여할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper was supported by the Ministry of Science, ICT & Future Planning and the Institute of Civil Military Technology Cooperation.

REFERENCES

[1] K. A. Hughes, G. Mottershead, D. J. Thornley, and A. P. Comrie, “Use of gamma ray imaging instrumentation in support of TRU waste characterization challenges,” *in Proc. WM’04 Conf. Rec.*, WM-4516, Feb. 2004.

[2] O. Gal, F. Jean, F. Lain&eacute,, and C. L&eacute,v&ecirc,que, “The CARTOGAM portable gamma imaging system,” *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 47, no. 3, pp. 952-956, Feb. 2000.

[3] M. Gmar, et al. “Development of Coded-Aperture Imaging With a Compact Gamma Camera,” *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 51, no. 4, pp. 1682-1687, Aug. 2004.

[4] O. Gal, “Development of a portable gamma camera with coded aperture,” *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Section A-Accel. Spectrom. Detectors Assoc. Equip.*, vol. 563, no. 1, pp. 233-237, Jul. 2006.

[5] K. A. Hughes and J. A. Lightfoot, “Radscan 600－A portable instrument for the remote imaging of gamma contamination: Its design and use in aiding decommissioning strategy,” *in Proc. IEEE Nucl. Sci.Symp. Conf. Rec.*, vol. 2, pp. 930-933, 1996.

[6] N. H. Lee, Y. G. Hawng, S. Y. Park “Development of Three-Dimensional Gamma-ray Camera”, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 2, pp. 486-492, Feb. 2015.

[7] S. N. Ahmed, “Physics and engineering of radiation detection,” *Academic Press is an imprint of Elsevier*, chapter 6, pp.319-421, 2007.

[8] Z. Zhang, “A Flexible New Technique For Camera Calibration,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine intelligence*, vol. 22, no. 11, pp.1330-1334, Dec. 2000.

[9] R. Hartley, A. Zisserman, *Multiple view Geometry in computer view*, 2nd Edition, Cambridge University Press : Cambridge, 2003.

황영관(Young-Gwan Hwang)

2006년 수원대학교 전자공학과 학사 졸업,
2008년 수원대학교 전자공학과 석사 졸업,
2014년 충남대학교 정보통신공학과 박사 졸업,
현재 : 한국원자력연구원 융합기술개발부 연구원
※관심분야 : 방사선 센서, 영상처리, 방사선 카메라

이남호(Nam-Ho Lee)

1991년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업,
1993년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업,
2004년 충남대학교 전기공학과 박사 졸업,
현재 : 한국원자력연구원 융합기술개발부 책임연구원
※관심분야 : 방사선 센서, 입체영상, 원격제어 시스템