

# 스테레오 감마선 탐지장치의 고속 방사선 탐지기법에 관한 연구

## The Study for the Method of Fast and Efficient Gamma-ray Detection for the Stereo Gamma-ray Detection System

황영관<sup>†</sup> · 이남호<sup>\*</sup>  
(Young-Gwan Hwang · Nam-Ho Lee)

**Abstract** - In this paper, we propose the fast and efficient detection method using the continuous measurement technique for the gamma-ray signal acquisition. This method is improved than the conventional method for the getting information of the radiation distribution. First, we implement the stereo radiation detection system using gamma-ray sensors and the motion controller. We apply continuous measurement technique to the gamma-ray detector and conduct gamma-ray irradiation test for the comparison of detection techniques. The results show that the continuous measurement technique has the high efficient performance than the conventional method.

**Key Words** : Fast gamma detector, Scintillation detector, Gamma-ray detection, Gamma Imager

### 1. 서 론

최근 일본에서 발생한 후쿠시마 원전사고로 인하여 전 세계적으로 방사선 누출 사고방지 및 사고처리에 대한 관심이 크게 증가하였다. 후쿠시마 원전사고뿐만 아니라 1986년 옛 소련 우크라이나의 체르노빌 원전사고와 같은 대규모의 방사선 누출사고를 볼 때 방사성 오염물질이 자연과 인간에게 엄청난 재앙을 불러일으킨다는 사실을 알 수 있다. 방사선 사고는 미연에 방지하는 것이 최선이지만 사고발생 시에는 신속하고 정확하게 오염물질을 제거하는 것이 매우 중요하다. 누출된 방사선원 제거를 위해서는 반드시 선원을 측정하기 위한 장비가 필요하며 대부분의 장비는 선량값의 측정을 목적으로 하고 있다. 방사선원의 위치를 확인하기 위한 대표적인 상용화 장비로는 Cartogam과 Radscan장치가 있다. 상용화된 대부분의 방사선 탐지장치에 적용된 것처럼 Cartogam과 Radscan장치 역시 NaI(Tl) 또는 CsI(Tl) 섬광체를 기반으로 방사선을 빛으로 변환하여 수광소자를 통해 탐지하는 방법을 적용하고 있다. 그러나 두 장치의 운용 방식에 차이가 있는데 Cartogam의 경우 탐지장치를 고정하여 바늘구멍사진기와 같이 탐지하는 영역에 대한 2차원 정보를 직접 받아들이는 방식을 적용하고 있고, Radscan 장치는 탐지 영역을 한 점씩 측정하여 측정된 점들을 정렬하여 2차원 영상을 만드는 방법을 적용하고 있다[1-5].

CARTOGAM 장치는 비교적 빠른 시간에 선량 분포를 측정할 수 있는 반면 핀홀을 통해 방사선 영상을 직접 취득

하기에 방사선원에 대한 분포 정보를 측정할 때 각 위치의 선원의 세기 정보가 간섭되어 측정되므로 정확한 선원의 분포 측정에 어려움이 있다. 이에 반해 래스터 스캔(Raster scan)을 적용하고 있는 Radscan 장치는 측정하는 위치에 콜리메이터 방향을 가리켜 해당하는 위치에서만 데이터를 취득하고 콜리메이터를 이동시키며 2차원 영상을 만들기 때문에 탐지 위치에 대한 절대적인 선량 정보만을 취득하므로 선원의 분포를 측정하는 것에 유리하다. 상용화된 장치의 경우 단일 센서를 통해 영상화 하므로 방사선원의 분포 정보만을 제공하고 있다. 현재 구현중인 스테레오 방사선 탐지장치는 정확한 위치정보 획득을 위해 Radscan장치와 같은 래스터스캔 방식을 적용하고 있으며 스테레오 검출장치로부터 정확한 분포정보를 획득하여 영상정합을 통한 거리 정보 추출을 목표로 하고 있다.

본 논문에서는 방사선 분포영상 측정에 있어 기존에 사용되었던 탐지 방식을 벗어나 감마선 신호에 대한 연속적인 측정을 통해 고속, 고효율 탐색 기법을 제안하였다. 먼저 방사선 탐지를 위한 스테레오 감마선 탐지장치의 구성과 검출 신호를 측정하는 검출 센서에 대해 설명하고, 상용 장비에서 적용하고 있는 불연속적인 신호취득 방식과 본 논문에서 제시하는 연속적인 신호측정 방식을 비교하였다. 또한 두 가지 탐지방법의 성능을 비교하기 위해 KOLAS(한국인증기구:Korea Laboratory Accreditation Scheme) 인증된 감마선 조사시설에서 감도, 분해능 및 탐지속도를 비교하는 실험을 수행하였다.

### 2. 스테레오 감마선 탐지장치 구성

#### 2.1 스테레오 감마선 탐지장치 검출부

스테레오 감마선 탐지장치의 검출부는 그림 1과 같이 감마선을 빛으로 변환시키기 위한 섬광체(Scintillator)와 변환된 빛을 감지하는 수광소자로 구성된다. 장치에 적용한 수

<sup>†</sup> Corresponding Author : Dept. of Nuclear convergence Technology Development, Korea Atomic Energy Research Institute, Korea.

E-mail: yghwang@kaeri.re.kr

<sup>\*</sup> Dept. of Nuclear convergence Technology Development, Korea Atomic Energy Research Institute, Korea.

Received : July 31, 2014; Accepted : August 26, 2014

광소자는 Hamamatsu사의 PMT(Photo Multiplier Tube)를 적용하였다. 섬광체는 PMT와의 결합효율을 최대로 할 수 있는 NaI(Tl) 섬광체를 선정하였고, 구조는 수광소자의 유효면적을 고려하여 직경은 10mm, 길이 10mm로 제작하였다.

그림 2는 선원의 위치를 탐지하기 위한 콜리메이터와 탐지하는 위치 이외의 영역으로부터 들어오는 감마선 신호를 차단하기 위한 차폐체를 보여준다. 그림 3에 나타난 그래프는 탐지 센서를 차폐체에 삽입하여 콜리메이터의 입사구를 통해 감지된 감마선 조사선량별 출력신호를 나타낸다. 출력 결과에서 나타난 것처럼 조사선량에 따라 선형적인 출력을 확인할 수 있으며 콜리메이터가 가리키는 위치에서의 선량 정보를 알 수 있다. 센서의 감도 실험은 KOLAS 인증된 감마선 조사시설에서 0.01mSv/h ~ 300mSv/h의 조사선량에 대하여 진행하였다[6].

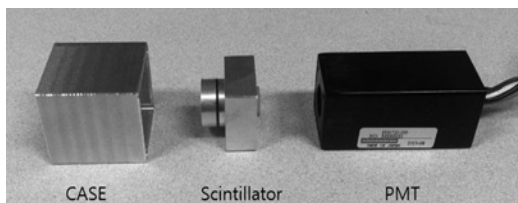


그림 1 내장된 자체 테스트 구조  
Fig. 1 Sensor for Detecting radiation

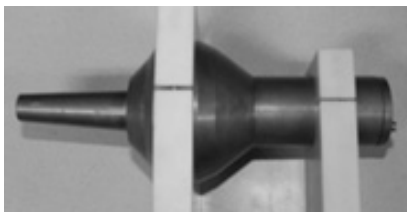


그림 2 방사선 차폐체 및 Collimator  
Fig. 2 Collimator and Radiation Shield

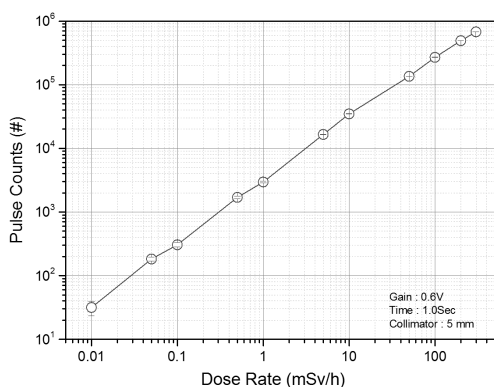


그림 3 감마선 검출센서 감마선 조사시험 결과  
Fig. 3 Sensor test results for Gamma-ray(Cs-137)

### 2.2 스테레오 감마선 탐지장치 제어부

감마선의 분포를 측정하기 위해서는 2차원 영역에 대해 개별적 위치에 대한 값을 측정하고 이 점들을 이용하여 2차원 영상으로 나타낸다.



그림 4 스테레오 방사선 검출기 구성  
Fig. 4 Stereo radiation detector configuration

이러한 래스터 스캔 방식을 적용한 것이 상용화된 Radscan 장치이다. 스테레오 방사선 탐지장치의 장점 중 하나는 스테레오로 구성된 검출기를 통해 2차원 영상을 획득하고 스테레오 매칭을 이용하여 기존의 장치에서 얻을 수 없었던 선원의 거리정보를 제공한다는 것이다[7]. 그림 4는 스테레오 방사선 탐지장치의 구성을 나타낸다.

먼저 좌우에 위치한 것은 앞서 설명한 감마선 탐지부이며 중앙에 위치한 것은 2차원 영상 획득을 위한 팬틸트를 보여준다. 구현한 스테레오 탐지장치는 감마선원의 탐지 범위를 설정하고 수평방향 모터를 제어하여 한 행에 대한 위치값과 해당 위치에서의 선량값을 기록한다. 한 행에 대한 처리가 끝나면 수직방향 모터를 제어하여 일정한 간격으로 설정된 두 번째 행에 대한 선원의 위치 값 및 선량 값을 기록한다. 이와 같은 방법으로 수직, 수평 방향에 대한 스캔은 통해 위치값 및 해당하는 위치에 대한 선량 분포를 이용하여 선원에 대한 2차원 분포 영상을 획득한다.

### 3. 고속 감마선 탐지기법 연구

현재 상용화된 대표적인 장치(Radscan, Radsearch 등)는 감마선 신호측정을 위해 제어기를 통한 위치 이동 후 감마선 탐지장치를 일정 시간동안 머물러 측정하는 불연속적인 신호탐지 기법을 적용하고 있다. Radscan장치에 관한 문헌에서는 이러한 불연속적인 신호탐지 기법에서 감마선 검출장치가 멈추어 측정하는 시간을 "Dwell Time"으로 정의하고 있다. 불연속모드에서 그림 5에서 나타낸 바와 같이 방사선 신호를 1회 측정하여 하나의 픽셀정보를 획득하는 시간을 샘플링시간(Sampling Time)으로 정의한다면 불연속 모드 경우 샘플링 시간은 장치의 위치이동시간(Transition Time)과 신호측정시간(Dwelling Time)의 합으로 나타낼 수 있다[8].

본 논문에서는 선행연구에서 적용하고 있는 불연속모드의 샘플링시간을 최소화하기 위하여 장치이동의 이동과 신호의 측정이 동시에 이루어지는 연속모드를 적용하였다. 그림 6에서와 같이 장치가 이동하면서 신호를 측정하는 방식인 연속모드의 경우 샘플링 시간은 신호측정시간(Dwelling time) 또는 위치이동시간(Transition time)으로 정의된다. 연속모드의 고속탐지에 대한 검증은 동일한 조건에서 두 가지 탐지 방식에 대한 탐지시간 변화에 따른 이동시간 측정 결과로 나타내었다.

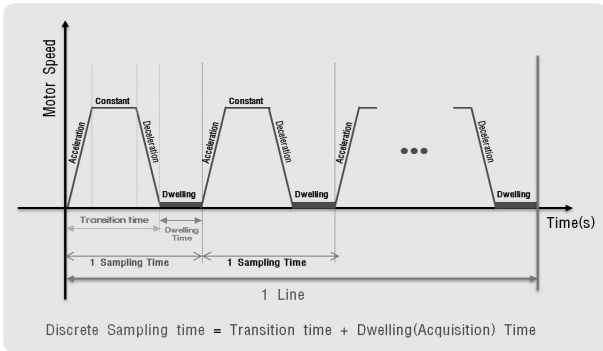


그림 5 불연속 운용 모드 : 상용 검출기 운용 기법  
Fig. 5 Discrete mode : Conventional method

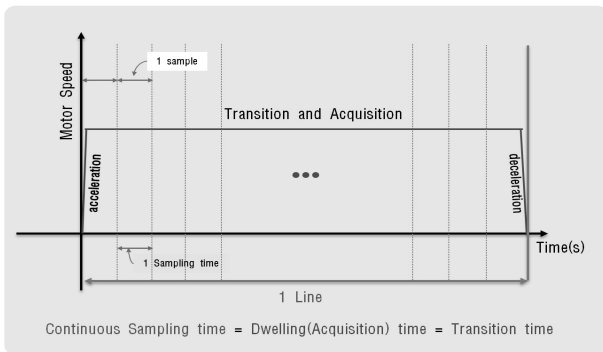


그림 6 연속 운용 모드 : 제안된 기법  
Fig. 6 Continuous mode : Proposed method

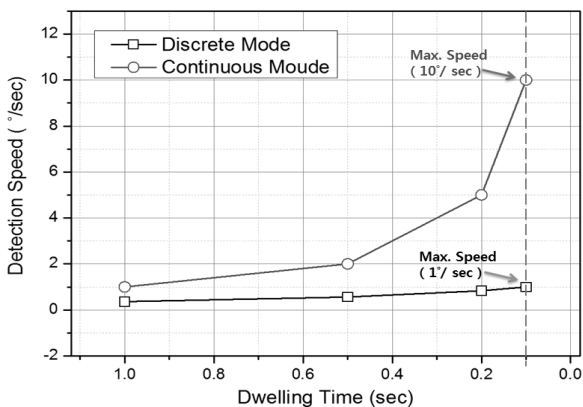


그림 7 탐지장치 운용모드 탐지시간 비교  
Fig. 7 Comparison of discrete mode and continuous mode

고속으로 신호를 측정하기 위해서는 샘플링 시간을 줄여야 하며, 이를 위해서는 위치이동시간과 신호측정시간을 줄여야 하지만 시스템의 모션 제어를 위한 위치이동시간은 일정한 값을 갖게 된다. 따라서 변경이 가능한 신호측정시간을 최소화 할 경우 장치의 고속 운용이 가능하다. 그러나 신호측정 시간을 짧게 가질 경우 탐지시간을 줄일 수 있지만 방사선원의 신호임을 보증하기 위한 최소의 시간은 검출 센서의 감도에 의해 결정되므로 설정할 수 있는 최소 신호 측정시간이 결정된다.

그림 7은 앞서 구현한 스테레오 방사선 검출장치를 통해 동일한 조건에서 신호측정시간 변화에 따른 시스템 탐지 속도를 비교한 그래프이다. 두 운용모드를 비교하기 위해 한 행인 20°의 영역을 스캔하도록 설정하고, 불연속 모드의 경우 한 샘플을 1도 간격으로 스캔하여 20픽셀을 획득하였다. 연속모드의 경우역시 20픽셀을 획득하도록 신호측정시간과 위치이동속도를 설정하였다.

결과에서 나타난 바와 같이 동일한 시스템에서 신호측정시간을 줄이면 탐지 속도가 증가함을 알 수 있으며, 불연속 모드의 시간증가에 비해 연속모드의 시간 증가폭이 매우 크게 나타남을 확인할 수 있다. 실험에 적용된 검출센서의 감도를 고려하여 신호 측정시간을 최소로 할 경우 0.1초로 설정할 수 있으며 이때 각 운용모드에서의 최대 속도를 얻을 수 있다. 그 결과, 불연속 모드의 경우는 1°/sec로 나타나며 연속모드의 경우 10°/sec의 속도로 데이터 취득이 가능하게 된다. 즉, 동일한 조건에서 1 Line에 대한 스캔 수행 시 불연속 모드에 비해 연속모드의 경우 10배의 고속 운용이 가능하다.

연속모드 적용 시 방사선 탐지장치의 고속 탐색에 대한 가능성을 확인하였고, 이를 기반으로 획득된 탐지신호에 대한 유효성 검증을 위하여 스테레오 탐지장치에 대한 감마선 조사시험을 통해 탐지감도 및 분해능 실험을 수행하고 그 결과에 대한 분석을 수행하였다.

#### 4. 감마선 조사시험 및 분석

##### 4.1 조사시험 조건 및 구성

감마선 조사시험은 기존에 장치에 적용된 불연속적인 신호탐지 기법과 본 논문에서 제안하는 연속적인 신호 탐지 기법에 대하여 획득된 결과에 대하여 비교 분석하기 위해 진행하였다.

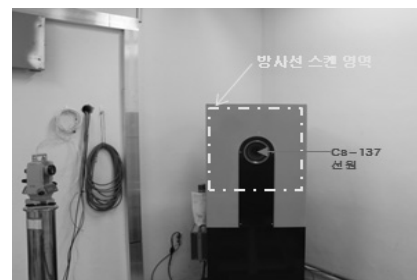


그림 8 감마선 조사시험 환경 구성  
Fig. 8 Gamma-ray irradiation test configuration

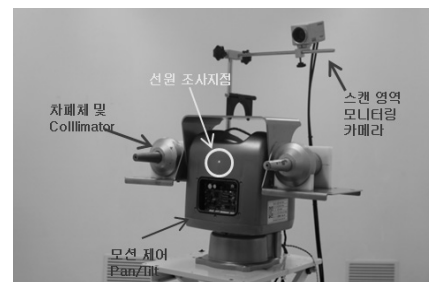


그림 9 감마선 조사시험을위한 검출기 설치모습  
Fig. 9 Detector set up for gamma-ray irradiation test

본 실험은 KOLAS 인증된 감마선 교정시설에서 진행하였으며 그림 8은 감마선 조사실 내부의 모습이며 감마선원이 위치한 모습과 탐지 영역을 나타낸 사진이다.

그림 9는 감마선 조사시험을 수행하기 위해 스테레오 감마선 탐지장치와 탐지 영역을 모니터링하기 위한 기구들을 보여준다. 조사 조건은 감마선원으로부터 2m 거리에 탐지장치를 고정하고 Cs-137 감마선원에 대하여 조사선량 4.5mSv/h를 조사하였다. 탐지 기법에 대한 감도 및 분해능 분석실험은 한 행을 측정한 1차원 결과와 2차원 영상 결과를 비교하며 진행하였다.

### 4.2 탐지 기법에 대한 감도 비교분석

탐지 기법에 대한 감도 비교를 위하여 감마선 조사시험구성을 갖추고 동일한 조건에서 연속모드 운용과 불연속 모드 운용으로 스테레오 탐지 장치를 제어하며 탐지구와 Cs-137 감마선원의 높이를 일치시킨 후 한행에 대한 위치값 및 측정값을 획득하였다. 그림 10은 검출기 한 대에 대한 두 가지 방법의 라인스캔 결과를 나타낸다. 검정색으로 표현한 사각형은 불연속 모드로 1회 이동하는 한 스텝당 0.5° 설정으로 측정된 결과이고 붉은색의 점은 0.1초 신호측정 방식을 적용하여 1.0°/sec의 속도로 이동하며 획득한 결과이다. 그림의 X축은 수평축 제어부의 탐지영역 20°에 해당하는 위치값 (25,000 ~ 26,600)을 의미하며 1°는 약 80에 해당된다. 두 탐지 방식에서 적용한 기본 조건은 탐지구간을 20°로 설정하고, 탐지시간을 동일하게 20초로 설정하여 진행하였다.

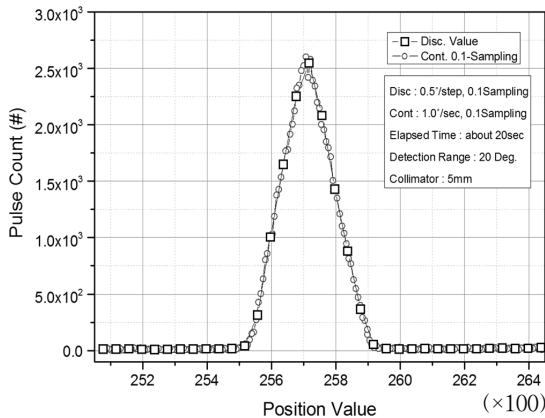


그림 10 탐지 모드 별 감도 분석 실험 결과  
Fig. 10 Sensitivity test results of two detection modes

수행 결과 감도에 있어서 방사선원에 대한 위치별 선량 분포는 정확하게 일치하는 결과를 나타내었다. 그림 11과 그림 12는 불연속모드와 연속모드로 측정된 2차원 영상을 보여준다. 그림의 우측은 탐지선량을 나타낸다. 획득된 결과에서 나타난 것처럼 각 위치별 선량의 분포가 동일하게 나타남을 확인 할 수 있다. 즉, 같은 조건에서 연속모드와 불연속 모드의 검출감도는 동일하게 측정된다는 것을 확인하였다.

### 4.3 탐지 기법에 대한 분해능 비교분석

감마선 탐지시선원의 정확한 위치탐지를 위해서는 탐지기로부터 획득한 위치값과 해당 위치에서의 측정선량 값에 대한 간격

즉, 획득 데이터에 대한 분해능이 높아야 한다. 그림 13은 감도 실험 결과를 확대한 것으로 선원의 위치 및 선량값을 보여준다. 그림에서처럼 불연속 모드는 20°의 탐지영역을 0.5°간격으로 위치값을 나타내기 때문에 신호를 샘플링하는 값 사이에 실제 선원이 있다고 하면 그림과 같이 정확한 위치를 탐지 하지 못할 수 있다. 이에 반해 0.1초 단위로 데이터를 취득하며 연속적으로 움직이는 연속모드의 경우는 표본을 추출하는 샘플링간격이 불연속 모드에서 나타내는 한 스텝 동안 10번을 샘플링(0.05° 간격)하기 때문에 실제선원의 위치를 더욱 정밀하게 탐지할 수 있다.

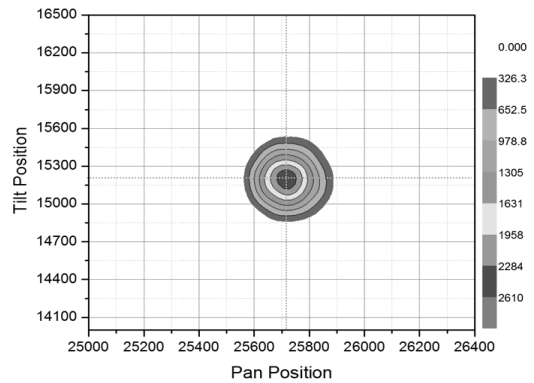


그림 11 불연속 모드 2차원 획득 영상  
Fig. 11 2D detection Image for discrete mode

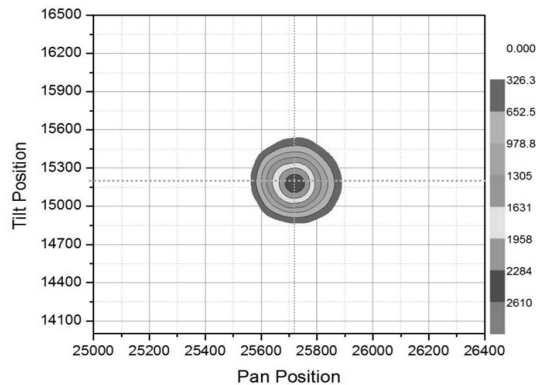


그림 12 연속 모드 2차원 획득 영상  
Fig. 12 2D detection Image for continuous mode

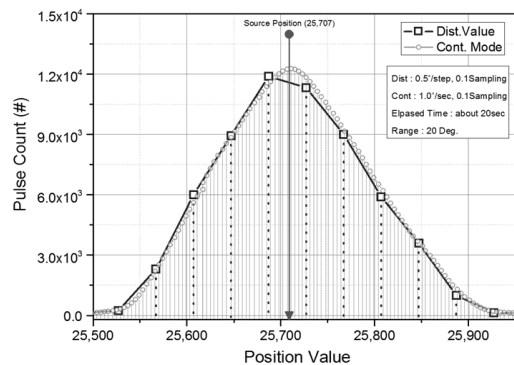


그림 13 연속 모드 2차원 획득 영상  
Fig. 13 Resolution test results of two detection modes

운용 모드의 한 샘플간 이동 간격은 거리가 멀어질수록 크게 나타나므로 이동간격이 크면 위치탐지의 정확도가 낮아진다. 본 실험은 선원으로부터 2m 거리에서 수행하였지만 거리가 멀어질수록 탐지할 수 있는 불연속적인 탐지기법 보다 연속적인 탐지기법 적용이 감마선원 탐지에 매우 유리함을 확인할 수 있다. 그림 14와 그림 15는 동일한 감마선원을 두고 2차원 영상을 획득한 결과이다. 2차원 영상을 수평축(Pan position), 수직축(Tilt Position), 선량값(Pulse Counts)로 나타낸 결과이다.

탐지 범위는 수평, 수직 방향에 대해 각각 20°를 탐지한 것이며 그림 14는 불연속 모드의 결과로 영상의 화소수가 40 × 40 이다. 그림 15는 연속모드의 결과로 수직축은 불연속 모드와 동일하게 탐지하고 수평축을 연속적으로 탐지하여 200 × 40으로 위치에 대한 결과를 나타낸 것이다. 탐지 조건을 모두 동일하게 할 경우 획득 데이터의 양이 5배 정도 증가하며 선원에 대한 정밀도를 높일 수 있다. 단일 선원이 아닌 경우 수평방향에서 획득한 데이터를 통해 수직방향에 대한 보간법을 적용한다면 전체 영상에서 선원에 대한 분포를 확인할 수 있다.

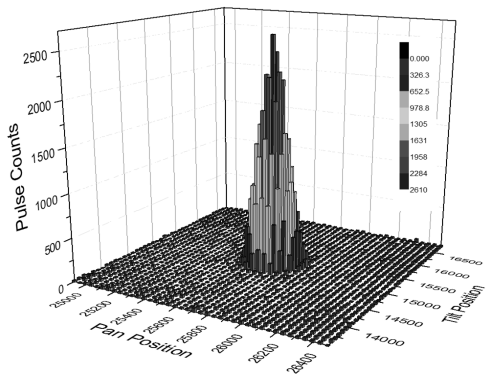


그림 14 불연속 모드 획득 영상 3차원 분포도  
Fig. 14 3D plot of detection result for discrete mode

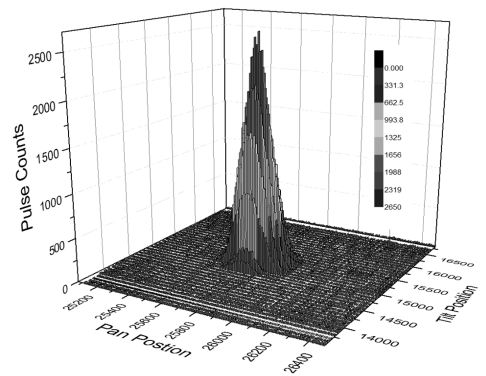


그림 15 연속 모드 획득 영상 3차원 분포도  
Fig. 15 3D plot of detection result for continuous mode

#### 4.4 탐지 기법에 대한 탐지속도 비교분석

기준에 사용되는 감마선 탐지기법과 본 논문에서 제안하는 연속탐지 모드에 대한 방사선 실험을 통해 동일조건에서 감도는 동일하게 나타나고, 획득 영상의 분해능이 개선되어 정밀한 탐지가 가능하다는 것을 확인하였다. 감마선 검출 센서의 설정은 동일하

게 두고 동일한 선원에 대하여 속도를 변화시키며 탐지 시간과 획득데이터를 분석한 결과를 그림 16과 그림 17에 나타내었다. 그림 16은 기존의 불연속적으로 탐지하는 방법을 적용한 것이며 탐지영역은 앞서와 같이 상하, 좌우 각각 20°의 영역을 스캔하였다. 획득한 영상의 크기는 표 1에 나타난 것처럼 40 × 40의 크기를 갖으며 탐지하는데 걸린 소요시간은 14분 53초로 측정되었다. 그림 17은 연속적인 탐지기법을 적용하여 측정된 결과이며 모션 제어부의 설정 속도는 초당 5°이다. 획득한 결과를 비교하면 1초에 5°의 이동속도로 20°를 스캔한다면 0.1초 간격으로 데이터를 획득하기 때문에 영상의 크기는 불연속 모드와 동일한 40×40으로 나타난다. 이 결과는 불연속모드와 연속모드에서 감도와 분해능이 동일하게 측정되었지만 탐지 속도를 비교해 보면 불연속 모드는 14분 53초이고, 연속모드는 4분 32초로 약 70%의 매우 큰

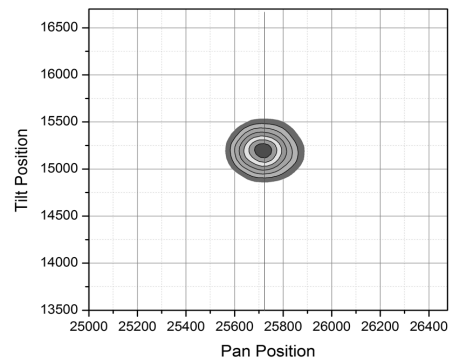


그림 16 불연속모드 탐지 결과 : 소요시간 14분53초  
Fig. 16 Discrete mode results : elapsed time 14m 53s

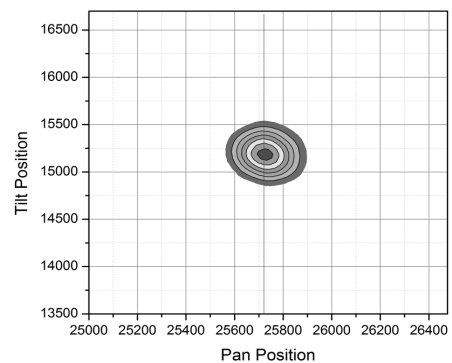


그림 17 연속모드 탐지 결과 : 소요시간 4분32초  
Fig. 17 Continuous mode results : elapsed time 4m 32s

표 1 탐지 모드 별 소요시간 및 영상크기

Table 1 Elapsed time and Image size for detection modes

탐지 설정	영상 크기 (pixels)	획득 소요시간
불연속 운용 : 0.5°/step	40 × 40	14min 53sec
연속 운용	1.0°/sec	15min 02sec
	1.5°/sec	10min 30sec
	2.5°/sec	7min 08sec
	5.0°/sec	4min 32sec

시간 단축을 보여준다. 표 1에 나타난 결과들을 볼 때 불연속운용보다 연속운용 시 동일한 탐지감도에서 탐지분해능 개선 및 탐지 시간 단축이 가능하다.

### 5. 결 론

감마선원에 대한 탐지는 사고가 발생한 지역에서 누출된 선원의 위치를 빠르고 정확하게 탐지하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 상용 감마선 탐지장치의 속도에 대한 단점을 개선하고자 기존에 적용하던 불연속적인 측정방식에서 벗어나 연속측정방식을 적용하여 고속, 고효율의 방사선원 분포 측정을 위한 감마선 탐지 기법을 제안하였다.

두 가지 운용방식에 대한 감마선 조사시험을 통해 제안한 연속모드 운용의 우수한 성능을 검증을 진행하였다. 검증 실험을 위해 먼저 스테레오 감마선 탐지장치를 구성하고, KOLAS 인증된 감마선 조사시설에서 동일한 장치에 대해 기존의 불연속적인 탐지 방법과 제안하는 연속적인 탐지 방법에 대한 시스템 운용 속도, 감마선원의 위치 및 선량을 측정 실험을 수행하였다.

그 결과 동일한 조건에서 구현한 장치를 기준으로 최소의 신호측정시간을 설정할 때 연속모드 운용 시 1라인에 대한 탐지 속도가 약 10배 정도 개선되었으며, 탐지감도는 동일하게 나타났고, 탐지 분해능은 5배 높게 나타났다. 무엇보다 탐지 감도와 분해능이 같은 결과가 나타나도록 설정 한 후 2차원 영상으로 나타내는 선원 탐색 속도를 비교할 때 약 70%의 소요시간 단축을 확인하였다.

본 연구 결과를 통해 방사선 신호 측정에 있어서 연속적인 데이터 취득을 통한 선원의 분포 확인이 가능함을 확인하였고, 감마선 탐지장치의 고속 탐지 및 분해능 개선에 대한 연구방향을 확인하였다. 고 분해능의 신호측정 영상을 고속으로 탐지하게 된다면 선원의 거리 정보 추출을 목표로 현재 개발을 진행하는 스테레오 감마선 장치의 스테레오 매칭을 통한 누출선원의 정확한 거리산출을 위한 중요정보를 제공할 수 있을 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 국방과학연구소의 민군기술협력센터 및 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단(원자력연구개발사업, No.2011-0031840)의 지원을 받아 수행된 연구임

### References

[1] 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.

[2] 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., 2004.

[3] O. Gal, C. Izac, F. Laine, and A. Nguyen, "CARTOGAM—A portable gamma camera," Nucl. Intrum. Meth.A, vol. 387, pp. 297 - 303, 1997.

[4] O. Gal, B. Dessus, F. Jean, F. Laine, and C. Leveque, "Operation of the CARTOGAM portable gamma camera in a photon-counting mode,"IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 48, no. 4, pp. 1198 - 1204, Aug. 2001.

[5] M. Woodring, D. Souza, S. Tipnis, P. Waer, M. Squillante, G. Entine, and K. P. Ziock, "Advanced radiation imaging of low-intensity gamma-ray sources," Nucl. Intrum. Meth.A, vol. 422, pp. 709 - 712, Feb. 1999.

[6] Syed Naeem Ahmed, "Physics and engineering of radiation detection; Chapter 6,"Academic Press is an imprint of Elsevier, chapter 6, pp319-421, 2007.

[7] Seung Min Lee, Heung Ho Lee, "A Study on display data of radiation point at 3 dimensions", The transactions of the korean institute of electrical engineers, Vol.56, No 6, pp. 1130-1132, Jun, 2007.

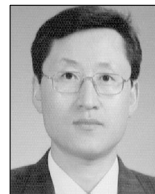
[8] J. T. Santo, M. Maul, R. Lucero, M. Clapham, B. Battle, "Application of Remote Gamma Imaging Surveys at the Turkey Point PWR Reactor Facility,"Institute of Nuclear Materials Management, INMM 47th Annual Meeting 2006.

## 저 자 소 개



### 황 영 관 (黃 榮 觀)

2006년 수원대학교 전자공학과 학사 졸업, 2008년 수원대학교 전자공학과 석사 졸업, 2014년 충남대학교 정보통신공학과 박사 졸업, 현재 한국원자력연구원 원자력 융합 기술 개발부 연구원  
<주관심분야 : 입체영상, 원격제어, 방사선센서>



### 이 남 호 (李 南 昊)

1991년 경북대학교 전자공학과 졸업(학사), 1993년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사), 2004년 충남대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사), 현재 한국원자력연구원 원자력융합기술개발부 책임연구원, 충남대 학교 전기공학과 겸임교수  
<주관심분야 : 입체영상, 원격제어, 방사선센서>