

방사선원 검출용 고속 탐지기 개발

이 승 민, 이효성, 이 흥 호  
충남대학교

Development of an High Speed Detector System for Radiation

Lee Seung Min, Lee Hyo Sung, Lee Heung Ho  
Chungnam National Univ

**Abstract** - 광변환 물질을 사용하여 X-선이나 감마방사선을 가시광으로 변환한 다음 CCD 카메라를 통하여 광량을 측정하면 방사선의 양을 간접적으로 측정할 수 있다. 본 연구에서는 CCD형 비상대용 로봇용 고속 삼차원 방사선 위치 탐지장치에서 방사선 위치 센싱의 핵심 역할을 수행하는 CCD 방사선 탐지부를 간접 방사선 측정 방법을 응용하여 고안하고 구현한 다음 이에 대한 방사선 특성시험 및 거리측정을 수행하였다. 시험 결과로부터 구현한 CCD형 방사선 센서가 방사선 위치 및 선량 탐지장치로 활용 가능성이 충분함 확인하였다.

CCD에서 광량을 읽어내는 간접 측정 방법이다. 본 연구에서는 광효율면에서 유리한 후자의 방법을 채택하여 방사선 측정기를 구현하였다. 그림 1에 나타난 바와 같이 콜리메이터(Collimator)를 거쳐 방향성을 가지고 입사된 방사선이 섬광체에서 가시광으로 전환되면 후면에 위치한 CCD 카메라에서 빛을 받아들여지게 되고, 원격 PC에서는 실시간으로 영상처리를 통하여 전송된 영상으로부터 광량(Intensity)을 계산함으로써 방사선의 양을 측정하게 되는 것이다. 이 장치는 주변의 가시광을 차단하기 위한 광차폐막과 방사선으로 부터의 영향을 최소화하기 위해 텅스텐 차폐체로 카메라를 보호한다. 섬광체(광변환체)는 밀도, 조사길이, 굴절률에서 우수한 특성을 가진 CsI(Tl)이 사용되었다.

1. 서 론

전력수요의 급증으로 추가적인 발전시설 건설이 지속적으로 요구되고 있다. 특히 안전성을 고려하지 않고 원자력 에너지를 이용한다면 우리에게 엄청난 피해를 줄 수 있는 에너지이기도 하다. 이러한 대표적인 예로 1986년 구소련의 우크라이나 체르노빌에서 일어난 방사능 누출사고는 수많은 인명의 손실과 환경적 재앙으로 오늘날까지 그 영향이 심각하게 나타나고 있다. 그러나 만일 체르노빌 사고 이전에 방사능 누출사고 및 방사선 비상사태 발생 시 대응 기술개발과 시나리오가 준비되어 있었다면 사고 발생으로 인한 피해 및 영향을 최소화시킬 수 있었을 것으로 예상된다. 이에 따라 러시아와 미국 일본 등에서는 공동으로 미래의 방사능 비상사고에 대처하기 위한 기술 및 장치 개발에 관한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 다양한 비상대용용 로봇시스템에 대한 연구개발도 활발히 진행되고 있다.

현재 국내외에서 방사선원의 위치를 탐지하기 위한 장치가 다양하게 개발되어 있으나, 대부분 방사선원이 위치한 2차원 방향정보만을 제공하고 있으며, 고하중으로 인해 이동로봇 부착에 어려움이 있거나 방사선원 탐지속도가 느린 단점이 있다.[1]

본 연구에서는 이동로봇용 고속 방사선 3차원 위치 탐지기 구현 연구의 일환으로 제안된 소형 USB 타입 CCD 카메라 모듈에 대한 <sup>60</sup>Co 감마방사선원의 조사시험을 수행하고 그 결과 분석을 통하여 방사선에 대한 반응도를 살펴보고 2개의 센서 사용으로 방사선원까지의 거리를 산출하는 기술에 대해 논하였다.

2. CCD를 이용한 방사선 탐지기

2.1 CCD센서형 방사광 측정기

CCD의 방사선 측정 센서의 활용은 일반적으로 다음 두 가지 방법을 통해서 가능하다.<sup>[2,3]</sup> 첫 번째는 X-선이나 감마 방사선에 의한 이온화 현상에서 나타나는 백색화소 영상을 계측하는 직접 측정방법이고, 두 번째는 광변환 물질을 사용하여 방사광을 가시광으로 변환한 후

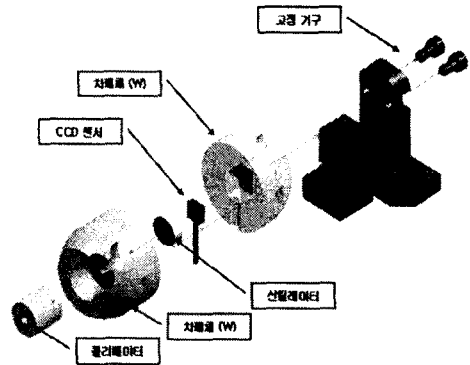


그림 1. 방사선 측정부의 구성

2.2 콜리메이트 및 차폐체 설계

그림 3과 같은 형태 콜리메이트 내부 광 통과 영역은 핀홀(Pin-hole)의 형태를 띠고 있으며 두 콘(Cone)의 꼭지점이 만나는 내부 중심 직경 1mm로부터 양단으로 중심각 30도의 구조로 설계하였고, 핀홀형의 방사선원 스캔시 나타나는 CCD 탐지 감도의 변화를 확인하기 위해 MCNP 코드를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

한국원자력연구소 저준위 감마 조사시설의 120큐리 코발트(<sup>60</sup>Co) 감마방사선원과 핀홀형 콜리메이트 실측 데이터를 사용하고, 방사선원과 CCD 중심축의 일치 상태로 부터 벗어남에 따라 CCD 센서의 단위 면적당(cm<sup>2</sup>)단면적에 도달하는 방사선 입자의 확률을 계산하였다. (센서와 선원의 거리: 100mm, Shoot: 1,000만번)

그림 2의 결과 그래프와 같이 탐지감도는 중심으로부터 일정하게 감소되는 특성을 나타낸다. 따라서 핀홀형의 콜리메이트는 공간 방사선원의 고속 스캔에서 효율적임을 알 수 있다. (에러율: 1.3 - 1.7%)

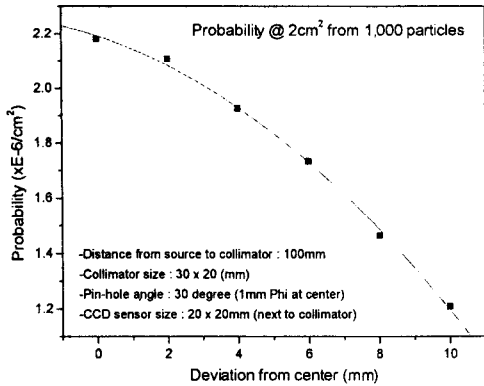


그림 2. 편출형 콜리메이터의 MCNP 시뮬레이션 결과

콜리메이터 입구 이외의 방향으로 부터 CCD 센서로 입사되는 방사선의 영향을 차단하기 위한 센서 차폐체를 제작함에 있어 납(Pb) 대신 텅스텐(W)을 사용하여 개선 제작하였고, 1.2MeV 감마방사선에 대한 납과 텅스텐의 반가층은 식 1과 같이 각각 1.158cm와 0.723cm이며, 텅스텐의 차폐체 사용으로 납에 비해 62.4%의 차폐체 두께 감소 효과를 거두었다. (70%의 질량감소)

$$t = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (1)$$

(t는 두께,  $\mu$ 는 선형흡수계수이며, 납과 텅스텐의  $\mu$ 값은 0.5894, 0.9592)

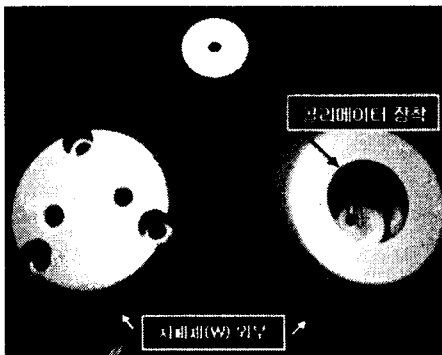


그림3. 콜리메이터와 텅스텐 차폐체(중간 분리 모습)

## 2.3 영상처리를 통한 방사선원 위치 탐지 및 거리 산출

탐지센서로부터 입력된 영상신호에는 저 배경 방사선과 전기적 신호 등에 의한 다양한 잡음정보가 섞여 있어 일정준위(Threshold) 이하의 광량(Quality intensity) 정보를 제거한 후 다수 프레임(Frame)의 영상을 픽셀별로 적산하여 S/N 비를 증대시킬 수 있고, 탐지기의 탐지영역 스캔과정에서 PC로 입력된 두 탐지센서의 방사광 영상정보로부터 최대 광 입사 방향과 방사선원까지의 거리를 도출하는 일련의 영상처리 과정을 그림 4에 알고리즘의 흐름도로 나타내고 있다.

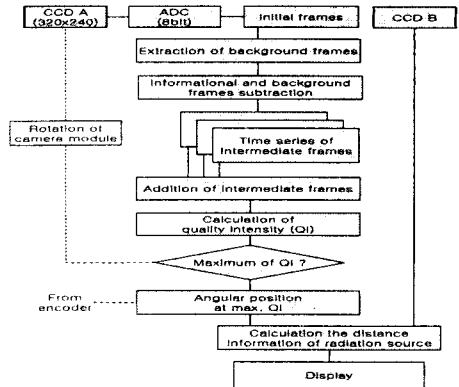


그림 4. 영상정보로부터 방사선원의 위치를 탐지하는 과정

탐지센서의 공간 스캔데이터에는 광량과 위치정보(x, y)가 동시에 기록되므로 최대 광량 발생 좌표값에 탐지장치 회전 분해능(0.9)을 고려하면 그림 5의 카메라 방향  $\theta_A$ 와  $\theta_B$ 는 영상처리만으로 신속히 구할 수 있고, 따라서 방사선원의 거리는

$$d_s = \frac{d_c/2}{\cos\left(\frac{180-\theta}{2}\right)} \quad (3)$$

여기서,  $d_c$ 는 12.6cm,  $\theta$ 는 최대 방사광 위치 좌표 간격에 0.9를 곱한 값이다.

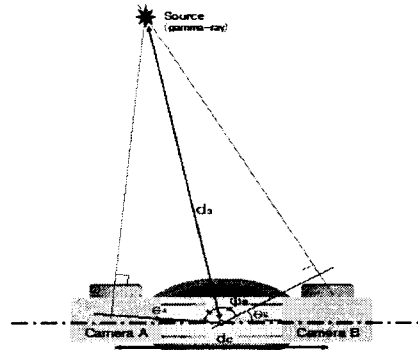


그림 5. 두 카메라와 방사광 영상처리 기술을 활용한 방사선원 거리 추출

## 3. 방사선 탐지기 검증 실험

### 3.1 거리별 방사선 탐지감도 및 방향별 탐지능 시험

초기 방사선 탐지장치(그림 6)의 거리별 방사선원 탐지감도 시험에서 방사선의 세기와 방사선 센서 출력 광량(QI)은 선형적 관계를 나타내고 있다.

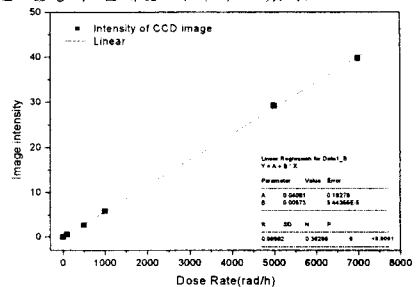


그림 6. 조사선량별 픽셀당 평균 밝기값 변화

방사선원을 향한 방향별 탐지감도 변화시험에서 최소 각도(0.5도)에 대한 탐지능을 확인 가능하다. ( $\leq 10.5^\circ$ )

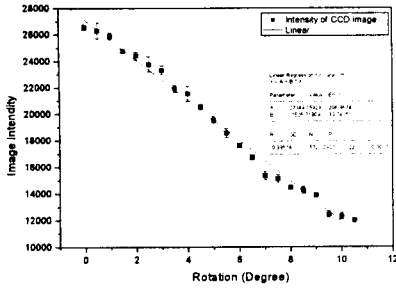


그림 7. 단위 회전각에 대한 영상 QI 감도 시험

### 3.2 방사선장에서의 방사선원 위치탐지 시험

한국원자력연구소 저준위 감마선( $^{60}\text{Co}$ )조사장치 내 방사선원 80cm인 위치에 탐지장치를 설치한 후 방사선원 탐지프로그램을 통해 스캔과정과 방사선원 위치(방향, 거리) 탐지과정을 진행. 스캔공간은 상하좌우 30도, 단위 간격은 0.9도로 설정하고, 실험 관측용 카메라로 작동상태를 원격 녹화하였다.

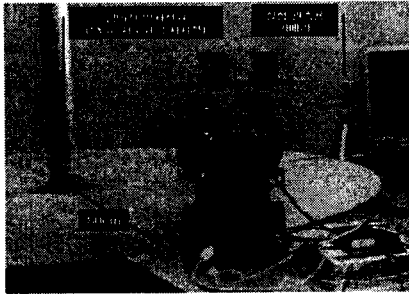


그림 8. 방사선원 탐지장치를 이용한 실험

두 카메라의 성능차이로 인해 잠습차단 준위는 각각 40, 50으로 하였고, S/N비 향상을 위해 포인터별 5 프레임 합성된 전체 스캔결과를 방사광 영상처리 프로그램 패널의 하단부에 좌우 카메라별로 삼차원으로 가시화(그림 9)하였다.

탐지된 최대 방사광 값의 좌표는 좌우 카메라 각각 (27, 7), 우(17,7)로 동일 y위치 값에 x위치는 10의 간격으로 이 값에 스캔 정밀도 0.9도를 곱한 후 방사선원 거리 계산식(3)의 적용으로 80.297cm를 얻을 수 있다. 또한, 이 값은 실제 거리 80cm에 0.3% 오차값으로 근사 되어진다.

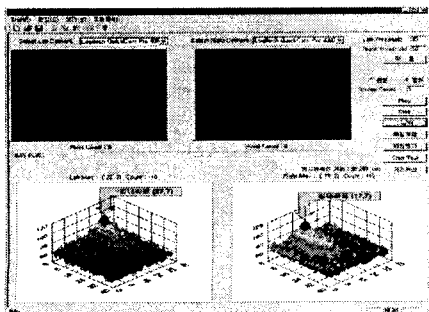


그림 9. 방사선원 거리 80cm 지점에서의 결과

방사선원간 거리 142cm에서 방사선 위치탐지 시험결과로부터 최대 방사광 입사방향 좌표(x, y)는 각각 (24, 14), (18,14)이고, 이로부터 계산된 방사선원의 거리는 133.74cm로서 실거리와 5.8% 탐지 오차를 보여주었다.

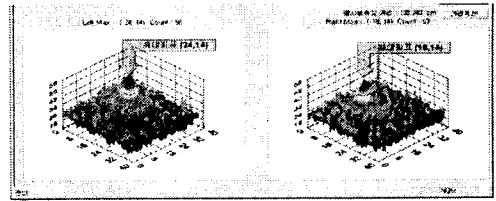


그림 10. 방사선원 거리 142cm 지점에서의 결과

이 실험의 목적은 조사시설의 최저 준위 방사선에 대한 탐지여부를 판별하기 위한 것으로서 방사선원으로부터 257cm 위치(25rad/h)에서 방사선원의 위치 탐지시험을 동일한 절차로 진행하였다.

방사선원 위치 가시화 결과에서 최대방사광 방향 좌표는 (21,13), (24,13)로 측정되었고, 산출된 방사선원 거리는 267.405cm이며 실거리 오차는 약 4%이다. 이상의 실험결과에 의하여 저준위 조사시설의 최저 방사선률(125ra/h)에 대한 방사선원 탐지기의 탐지능을 확인하였다.

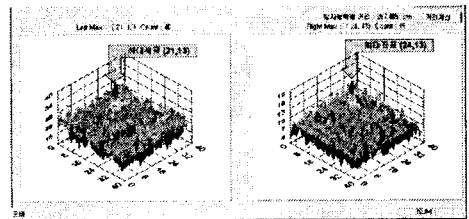


그림 11. 방사선원 거리 257cm 지점에서의 결과

## 4. 결 론

본 연구에서는 스테레오 카메라를 이용하여 방사선 측정에 관하여 방사선 조사 시험을 수행하고 특성을 고찰하였다. 시험 결과에서 구현한 CCD형 센서가 방사선 탐지장치로 활용 가능함을 확인할 수 있으며, 공간상에 존재하는 방사선원에 대한 방사선량뿐만 아니라, 방사선원까지의 거리정보 등을 산출할 수 있었다. 추후 영상을 합성하여 입체화 시키는 연구도 진행할 예정이며 연구의 결과물로 예기치 않은 방사선 사고의 경우 효과적인 사고처리에 활용될 수 있을 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] G. Harding, "On the sensitivity and application possibilities of a novel Compton scatter imaging system," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 29, pp 1260-1265, 1982.
- [2] A. M. Chugg and G. R. Hopkinson, "A new approach to modeling radiation noise in CCDs," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 45, pp 1518-1523, 1998.
- [3] T. S. Lomheim et al., "Imaging charge-coupled device(CCD) transient response to 17 and 50MeV proton and heavy-ion irradiation," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 37, pp 1876-1885, 1999