CCD 카메라를 이용한 방사선원 3차원 위치 고속 측정기

High speed 3D position detection of radiation using CCD camera

이남호*, 김승호**
Nam-Ho Lee*, Seung-Ho Kim**

Abstract - 광변환 물질을 사용하여 X-선이나 감마방사선을 가시광으로 변환한 다음 CCD 카메라를 통하여 광량을 측정하면 방사선의 양을 간접적으로 측정할 수 있다. 본 연구에서는 CCD형 비상대응 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 특성시험을 수행하였다. 시험 결과로 부터 구현한 CCD형 방사선 센서가 방사선 위치 및 선량 탐지장치로 활용 가능성이 충분함 확인하였다.

Key Words : Radiation, Scintillator, CCD, Detector, Robot, Collimator

1. 서 론

1986년 구소련 우크라이나 체르노빌에서 일어난 방사능 노출사고는 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 체르노빌 사고 이후 러시아와 미국 일본 등에서는 공동으로 미래의 방사능 비상사고에 대처하기 위한 기술 및 장치 개발에 관한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 다양한 비상대응용 로봇시스템에 대한 연구개발도 활발히 진행되고 있다. 비상대응용 로봇 시스템은 사전 정보가 없는 방사능 사고 환경에 투입되어 미지의 환경에서 방사선 물질을 탐지함으로써 비상사태에 대한 대응계획을 수립할 수 있는 정보를 제공하고, 사고 현장에서 방사능 오염물질을 효율적으로 처리하는 기능을 수행하여야 한다. 이를 위해 사고환경 내에서 고준위 방사선원의 위치를 신속히 탐지할 수 있는 기술 및 장치의 개발이 필수적이다.

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] 따라서 이동로봇에 탑재되어 방사능 사고 현장 내 방사선원의 삼차원 위치를 신속히 탐지할 수 있는 센싱 기술의 개발이 필요하다. 고속 경량의 방사선 센싱 장치로서 고가, 고하중의 방사선 탐지센서를 대신하여 기존 로봇 시각장치로 사용되는 CCD 카메라를 활용하게 되면 로봇시스템에 대한 센서의 추가 부담을 경감시킬 수 있을 뿐만 아니라 경제적 절감효과를 가져올 수 있는 장점을 가져올 수 있다. 더불어 이동로봇의 원격모니터링 장치로 사용되는 입체영상장치에 추출한 방사선원의 위치정보를 실영상과 함께 입체적으로 중첩 디스플레이하게 되면 방사선원 탐지 및 처리작업에서 효율성을 증대시킬 수 있다.

본 연구에서는 이동로봇용 고속 방사선 3차원 위치 탐지기 구현 연구의 일환으로 개발된 소형 USB 타입 CCD 카메라 모듈에 대한 ^{60}Co 감마방사선원의 조사시험을 수행하고 그 결과 분석을 통하여 비상대응용 3차원 방사선 측정기 구현에 대한 가능성을 고찰하였다.

2. CCD를 이용한 방사선 탐지기

2.1 방사광 측정기 및 3차원 위치측정

CCD의 방사선 측정 센서의 활용은 일반적으로 다음 두 가지 방법을 통해서 가능하다.[2,3] 첫 번째는 X-선이나 감마방사선에 의한 이온화 현상에서 나타나는 백색 화소 영상을 계측하는 직접 측정방법이고, 두 번째는 광변환 물질을 사용하여 방사광을 가시광으로 변환한 후 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 방사광이 섬광체에서 가시광으로 전환되면 후면에 위치한 CCD 카메라에서 빛을 받아들이게 되고, 원격 PC에서는 실시간으로 영상처리를 통하여 전송된

저자 소개
* 準 會 員 : 韓國原子力硏究所 先任硏究員 工博
** 準 會 員 : 韓國原子力硏究所 責任硏究員 工博

영상으로부터 광량(Intensity)을 계산함으로서 방사선의 양을 측정하게 되는 것이다. 이 장치는 주변의 가시광을 차단하기 위한 광차폐막과 방사선으로 부터의 영향을 최소화하기 위해 납(Pb) 차폐체로 카메라를 보호한다. 섬광체는 밀도, 조사길이, 굴절률에서 우수한 특성을 가진 CsI(Tl)이 사용되었다.

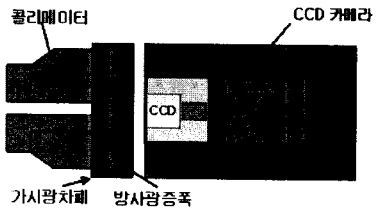

그림 1. 방사선 측정부의 구성

구현된 방사선 측정기를 사용하면 방사선원의 위치를 측정할 수 있을 뿐아니라 영상처리를 통하여 광량 비례관계를 적용하면 측정위치에서의 방사선 세기도 확인이 가능하게 된다. 그렇지만 실제 방사선원의 세기는 거리정보의 제공없이는 측정이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 이동로봇에서 활용되는 입체 카메라를 이용하여 방사선원까지의 거리정보를 추출하도록 하였다. 그림 2와 같이 방사광 측정부로 변환된 두 대의 CCD 카메라 모듈을 활용하여 각각의 카메라에서 추출된 방사선원의 방향값과 두 카메라 사이의 거리정보를 이용하여 방사선원의 거리를 구함으로서 방사선원의 삼차원 정보를 측정할 수 있고 더불어 방사선원의 세기도 구할 수 있게 된다.

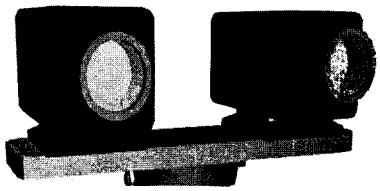

그림 2. 삼차원 방사선원 거리 측정 카메라 모듈

2.2 비상대응 로봇용 3차원 방사선원 고속 측정기

방사능 비상사태 발생 시 그림 2의 삼차원 방사선원 거리 측정모듈을 탑재한 비상대응 로봇을 방사능 사고 현장에 투입하여 신속히 방사선 오염원의 위치 및 방사능을 측정하고 측정 정보를 원격 제어반으로 전달하게 되면 비상사태의 해결을 위한 대응책을 수립할 수 있다. 이러한 일련의 과정을 통하여 방사능 누출을 최소화함과 동시에 피해를 최단 시간에 해결할 수 있게 되는 것이다. 방사선 정보의 측정과 함께 사고 공간 내부의 일반영상 정보를 입체적으로 제공할 수 있는 비상대응 로봇용 카메라는 그림 3과 같이 측정 방사능 정보를 입체영상 정보에 중첩(Overlay)시켜 표시해 줌으로써 방사선 오염원의 공간 내 위치를 정확히 알려주어 방사선원의 제거 및 제염작업의 효율을 증대시킬 수 있게 된다.

이 장치는 이동 로봇의 기본 센서인 CCD 카메라를 활용하여 실시간 방사능 탐지를 구현한 것으로서 기존 방사선 탐지장치가 지닌 고하중, 저속, 고비용의 단점을 극복한 새로운 기술로 간주된다. 또한 첨단의 다양한 영상처리 알고리즘 적용이 가능하므로 부가적인 회로없이 방사광 잡음의 제거 및 방사선 정보의 효율적인 추출이 용이한 특성도 지니고 있다.

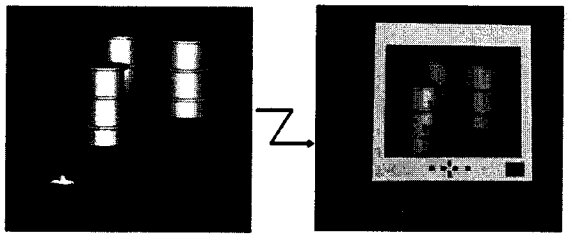

그림 3. 비상대응 로봇을 이용한 방사선 정보 3차원 측정 및 디스플레이

3. CCD 카메라의 방사광 특성분석

3.1 CCD 카메라의 방사광 특성시험

제안한 3차원 방사선 위치 고속 측정기 개발과 관련하여 설계 제작된 카메라 모듈의 방사선 특성 확인 시험을 수행하였다. 시험에서는 그림 1의 구성으로 제작한 방사선 측정부에 대한 방사선률별 감도를 측정함으로써 카메라 모듈의 방사선 측정기의 활용 가능성을 판단하고자 시도하였다.

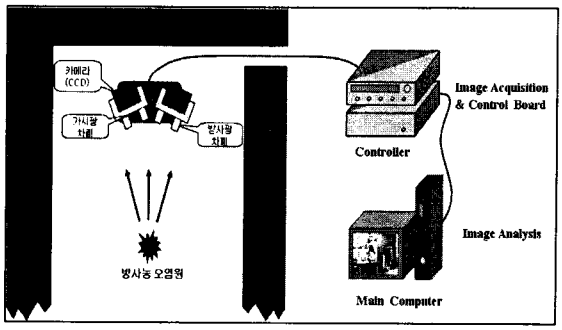

그림 4. CCD 방사광 탐지기의 방사선 특성시험 구성도

시험은 한국원자력연구소 ^{60}Co 감마 방사선 조사시설에서 수행되었으며 시험 샘플은 삼성 AnyCam USB 카메라와 5mm 두께의 CsI(Tl) 섬광체를 이용하고 2cm 두께의 납차폐체를 적용하여 제작한 측정부이다. 방사선 조사시설에 투입된 카메라 모듈로부터 연장 케이블을 통해 외부로 전송된 영상신호를 분석하고 기록하는 전체 시험의 구성은 그림 4에서 볼 수있다. 거리별로 조정된 방사선률량은 시간당 100rad, 500rad, 1krad, 5krad, 그리고 7krad이고 측정변수는 카메라 각 프레임에서의 광량(Intensity) 정보를 이용하였다.

3.2 결과 및 분석

그림 5는 조사 방사선량별 카메라 캡처 영상을 보여주고

있다. 그림 왼쪽 상단의 영상은 방사선 조사가 없는 상태에서 가시광이 차폐된 카메라로부터 출력되는 영상으로 검은색 만이 표시되고 있다. 그 뒤의 영상은 500rad/h를 조사시킨 출력영상으로 방사선 피폭의 의해 생성된 흰점이 나타나고 있다. 또, 그 뒤의 두 영상은 각각 5krad/h와 7krad/h 조사 시의 캡쳐영상을 나타내고 있으며 조사 방사선률의 세기가 증가할수록 흰색의 점(White specle)이 급격히 증가함을 알 수 있다.

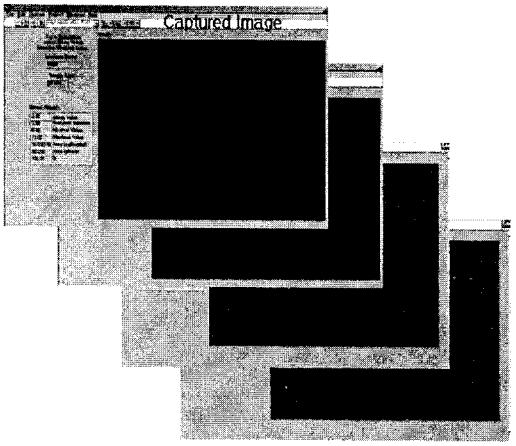

그림 5. 방사선률별 카메라 출력 방사광 영상

각각의 방사선률별 출력 영상에 대한 픽셀별 화소값을 누적 연산하여 평균한 값(Q_{avg})을 계산하여 방사선률에 대하여 도식화하면 그림 6과 같은 결과를 얻을 수 있다. 이 결과 그래프는 방사선률과 영상의 광량정보는 식 1과 같은 선형적 비례관계에 있음을 보여주고 있다.

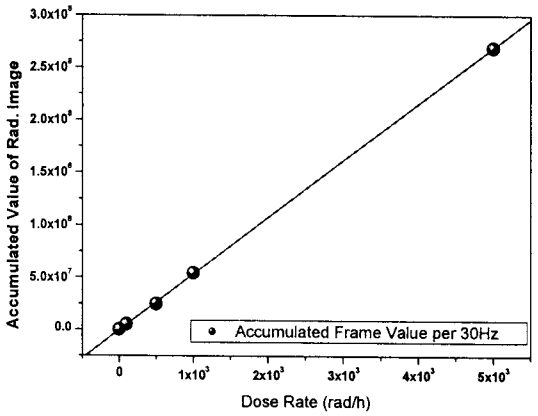

그림 6. 방사선률별 방사광량

$$Q_{avg} = 3.46 + 0.0057 D_{\gamma} \quad (1)$$

여기서 Q_{avg}는 각 한 프레임의 픽셀별 평균 광량이고 D_r는 조사 감마방사선률을 나타낸다.

본 실험을 통하여 고안 및 제작한 CCD 카메라 방사선 측정 장치는 방사선 위치 탐지 및 방사선량 측정장치로 활용이 가능함을 알 수 있다.

4. 향후 연구

실험을 통해 검증된 결과를 바탕으로 향후 방향성에 대한 추가연구 및 보완시험을 통하여 방사선원 위치 자동 감지장치를 구현할 예정이며 측정된 정보를 그림 7의 입체영상 장치에 충첩 가시화함으로써 비상대응용 로봇의 원격대응 작업에서의 효율성과 안정성을 증대시킬 예정이다.

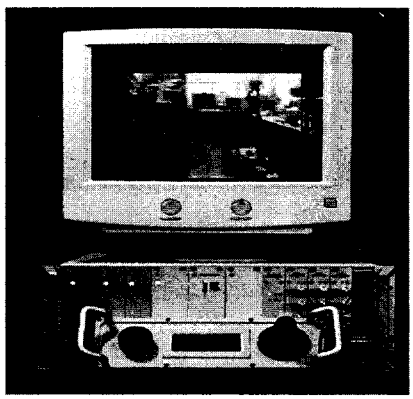

그림 7. 편광방식 입체영상 모니터(KAERI-PSM)

5. 결 론

본 연구에서는 CCD형 비상대응 로봇용 고속 삼차원 방사선 위치 탐지장치 개발의 일환으로 개발한 CCD 방사선 탐지부에 대한 방사선 시험을 수행하고 특성을 고찰하였다. 시험 결과에서 구현한 CCD형 센서가 방사선 탐지장치로 활용 가능함을 확인할 수 있었다. 향후 추가 연구를 통하여 방사능 비상사태에 신속히 대응할 수 있는 비상대응로봇의 방사선 고속 탐지장치의 개발을 완료할 예정이다.

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 all., "Imaging charge-couples device(CCD) transient response to 17 and 50MeV proton and heavy-ion irradiation," IEEE Trans, Nucl, Sci., vol. 37, pp 1876-1885, 1999