

방사선 환경내에서의 CCTV 카메라 개발

소수길, 이용범*, 최영수*, 김성구*, 변의교, 유승욱, 하달규,
삼창기업(주) 부설연구소, 한국원자력연구소*

Development of CCTV Camera in Radiation Environment

Soo-Gil So, Yong-Bum Lee*, Young-Soo Choi*, Sung-Ku Kim*, Eiy-Gyo Byun, Seung-Wook Yoo, Dal-Gyu Ha
R&D Center of Sam Chang Enterprise Co., LTD, Korea Atomic Energy Research Institute*

Abstract

For a man's approaching limitation in radiation environment, all work must be performed with remoted system to ensure worker's safety and reliability from radiation damage. The remoted system is mostly used in visual observation CCTV system. In high radiation environment of nuclear power plant, RI(Radio-isotope) facility, medical radiation treatment facility must be used to radiation tolerant CCTV cameras for radiation damage. We have studied a radiation basic performance of camera components and CCTV cameras to develop radiation tolerant CCTV cameras. As a result, we are able to design a radiation tolerant camera of 10^8 rad total dose.

서론

1895년 뢰트겐(Wilhelm Roentgen)에 의한 X선 발견 그리고 1896년 베크렐(Antonie H.Becquerel)과 1898년 마리 퀴리(Marie Curie)에 의한 방사능(Radio activity) 발견 이후로 원자력 분야는 괄목할 만한 성장을 이룩하였으며 원자로 기술, 핵의학, 핵공학, 보건물리 및 방사선 화학 등에서 방사선과 방사능의 응용 범위가 확장되어 왔다[1]. 방사선 작업은 크게 증가하고 있고 이러한 방사선 관련 작업 환경은 작업자의 방사선 피폭으로 인해 접근이 제한되는 특수작업 환경으로 이들 시설에서의 각종 작업은 작업자의 방사선 피폭을 고려하여 원격관측 및 원격작업의 형태로 이루어진다. 이러한 무인, 원격작업은 주로 시각정보에 의존하게 되며 시각정보원으로는 일반적으로 CCTV 시스템이 이용되고 있다[2]. 그러나 일반 산업용 CCTV 장치에 사용되고 있는 카메라는 방사선에 취약하여 특정량 이상의 방사선에 조사될 경우 열화

되어 영상 관측이 불가능하게 된다. 따라서 고방사선 환경의 원격관측 및 감시를 위해서는 방사선에 열화되지 않고 깨끗한 영상을 관측할 수 있는 내방사선 카메라의 사용이 필수적이다. 현재 국내의 방사선 관련 분야에서 사용되고 있는 내방사선 카메라는 전량 외국 제품에 의존하고 있으며 가격 또한 고가로 많은 경제적 부담을 느끼고 있다. 또한 내방사선 카메라에 대한 국내 기술이 전무하여 기존에 사용하고 있는 외국 제품의 유지 및 보수에 많은 어려움을 겪고 있는 상태이다.

본 연구에서는 이러한 방사선 관련 시설 및 작업을 원격화하여 안전성 및 신뢰성을 확보하기 위해 사용되고 있는 내방사선 카메라를 개발할 목적으로 CCTV 카메라와 카메라 전자부품의 방사선 특성을 살펴보고 방사선에 의한 열화 원인을 분석하였고 내방사선 카메라의 요건 및 설계 기술을 연구하였다. 카메라 및 전자부품의 방사선 조사 실험에서 얻은 결과로 방사선에 강한 소자의 사용과 전자회로의 원격화를 바탕으로 내방사선 카메라를 설계 완료하였다.

본 연구에서 개발중인 내방사선 카메라 시스템은 원자로 육안검사, 핵연료 교체, 사용후 핵연료 검사, 핵폐기물 처분시설 등의 원자력 산업분야와 방사선 치료시설 등의 의료분야, 우주 항공분야 등 인간의 접근이 어려운 고방사선 구역의 감시 및 관측을 위해 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

실험 방법

일반 산업용 CCTV 카메라는 관측 대상의 영상을 획득하기 위한 영상센서로 CCD를 사용하고 실리콘 계통의 반도체 IC로 회로를 구성하고 있다. CCD 카메라는 소형, 경량, 저소비전력의 장점을 가지지만 방사선에 취약한 특성을 가지고 있어 방사선 환경에서는 열화에 의해 관측대상의 영상을 선명하게 관측할 수 없게 된다[3][4]. 본 연구에서는 일반 산업용으로

많이 사용되는 CCTV 카메라 부품 구성 및 방사선에 의한 영향을 분석하고 문제점 및 개선책을 제시하였다.

1. 카메라 전자부품의 방사선 특성평가

카메라의 구성은 크게 렌즈, 영상센서, 카메라 구동회로로 되어있는데 렌즈는 영상센서의 표면에 빛을 모아주고 영상센서는 빛을 전기적인 신호로 바꾸어준다. 그리고 카메라 구동회로는 영상센서에서 나오는 미약한 전기 신호를 증폭하고 일정한 형태의 신호로 변환한다. 카메라를 구성하고 있는 부품중 방사선에 취약한 것은 주로 전자부품들이며 방사선의 영향에 의해 카메라의 동작이 불가능한 경우도 발생한다[5][6]. 표 1은 카메라를 구성하는 전자부품의 방사선에 의한 영향을 나타내고 있다.

표 1) 카메라 부품의 방사선 특성평가

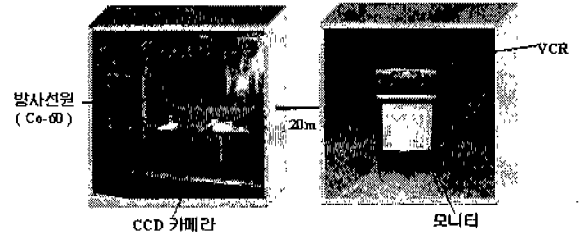
부품 종류	방사선 허용선량	특성 파라미터
저항	10^8 rad 이상	저항
커패시터	10^{10} rad(세라미), $10^7 \sim 10^8$ rad(폴리에스터)	정전용량, 항복전압, 유전체손실, 누설전류
인덕터	$10^4 \sim 10^{10}$ rad	인덕턴스
다이오우드	10^8 rad 이상	항복전압, 누설전류, 순방향 전압 강하
쌍극성 트랜지스터	$10^4 \sim 10^9$ rad	이득, 누설전류, 항복전압, 포화전압
MOSFET	$10^4 \sim 10^6$ rad	문턱전압, 항복전압, 이득, 누설전류
CCD	$10^4 \sim 10^9$ rad	전하 전송 효율, 암전류, 플랫밴드 전압
OP AMP	$10^2 \sim 10^8$ rad	개방 루프이득, 입력 오프셋전압, 입력전류, 전원전류
Voltage regulator	$10^2 \sim 10^8$ rad	출력전압, 전류용량, 정적전류
CMOS	$10^3 \sim 10^4$ rad	문턱전압, 모든 동작 파라미터
커패시터	10^6 rad 이상	접촉저항, 터미널간 절연
Transformer	10^8 rad 이상	변압비, 절연

표 1에 나타난 카메라 전자부품의 방사선 특성평가를 토대로 방사선 열화분석 및 내방사선 카메라 설계 기술을 제시하였다.

2. CCD 카메라 방사선 조사 실험

일반 산업용 CCTV 카메라의 사용 가능성을 알아보

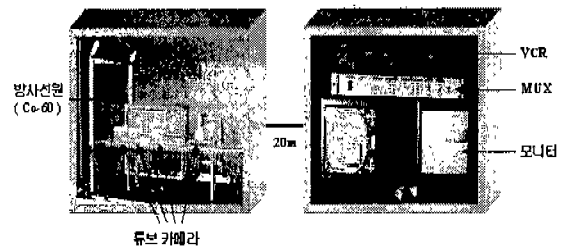
기 위해 가장 많이 사용되고 있는 CCD 카메라의 방사선 조사실험을 수행하였다. 실험에 이용된 방사선원은 40,000 Ci의 Co-60 감마선원이며, 실험구성은 그림 1과 같이 방사선원에서 128 cm 떨어진 거리에 카메라를 위치시키고 원격지에 모니터를 설치하여 카메라의 영상신호를 볼 수 있게 하였다. 카메라에 조사된 선량률은 2×10^4 rad/hr로 하였으며 카메라 신호 출력이 전혀 나오지 않을때까지 방사선을 조사시켰다.



(그림 1. CCD 카메라의 방사선 조사 실험)

3. Tube형(VIDICON) 카메라 방사선 조사 실험

고방사선 환경의 원격관측 및 감시를 위해 방사선에 대한 내구성이 우수한 일반 tube 방식의 영상센서를 CCD의 방사선 조사 실험과 동일한 조건하에 카메라 영상이 전혀 나오지 않을때까지 방사선을 조사시켰다[7].



(그림 2. Tube 카메라의 방사선 조사 실험)

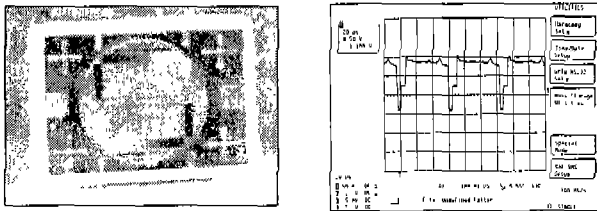
실험 결과

고방사선 환경에서 원격관측 및 감시에 사용될 카메라 시스템을 구성하기 위해 카메라 전자부품의 방사선 특성평가에서는 CMOS 타입의 IC가 방사선에 가장 취약함을 알 수 있었다. 이는 구조적인 특성상 방사선에 의한 이온화로 전하의 흐름이 변화하여 동작점이 바뀔므로써 본래의 기능을 상실하게 된다. 이들 전자부품중 저항, 커패시터 등의 수동소자는 방사선에 강한 특성을 가지고 있으며 TR, IC 등의 능동소자는 방사선에 약한 특성을 가진다. 방사선에 약한 부품들은 내방사선 부품으로 대체하거나 방사선의 영향이 없는 곳에 위치시켜야 한다. 그러나 내방사선

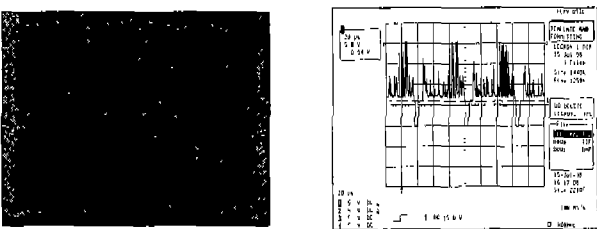
전자부품들은 가격이 비싸고 제한된 부품만 상용화되어 사용에 제약이 따른다. 본 연구에서는 일반 전자부품을 사용하여 방사선 내구성을 개선시키기 위한 방법으로 전자회로의 원격화 방안을 제시하였다. 원격화에 의한 방사선 내구성 개선 방안은 영상획득에 필수적인 부품들만 카메라 헤드에 장착시키고 그외의 부품들은 방사선의 영향이 미치지 않는 원격지에 배치하여 방사선에 대한 내구성을 개선하는 것이다. CCD 카메라와 tube 카메라에 대한 방사선 조사실험 결과는 CCD의 경우 10^3 rad/hr 이상의 방사선량으로 조사될 경우 방사선에 의한 snow noise가 발생되고 $3\sim 5 \times 10^4$ rad의 방사선이 누적되면 기능을 완전히 상실하게 된다. 그리고 카메라 구동 전자부품중 IC 부품이 손상을 입어 카메라 작동이 불가능하게 되었다. Tube 방식의 카메라는 CCD 카메라와는 달리 선량율에 의한 snow 노이즈가 발생되지 않았고 선명한 영상을 관측할 수 있었다. 10^5 rad의 방사선이 조사된 후에 화면의 전체적인 밝기가 어두워졌으나 비교적 선명한 영상을 관측할 수 있었다. 방사선의 조사가 계속 진행되자 갑자기 영상이 떨리면서 화면이 전혀 나오지 않게 되었다.

표 2) 영상소자의 방사선 특성평가

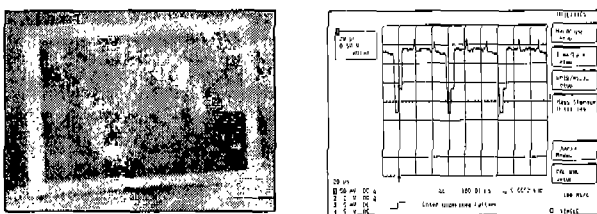
Effect	SOLID STATE DEVICE		
	CCD	MOS	CCD
Exposure Rate Effects			
(1) Out of order	1.9×10^4 R/hr	1.5×10^4 R/hr	10-1000 R/hr
(2) Phenomenon	breakdown	whitening	snow noise
(3) Breakdown	1.9×10^4 R/hr	1.6×10^4 R/hr	3.4×10^4 R/hr
Exposure Effect			
(1) Out of order	4.5×10^5 R	6.0×10^5 R	6.0×10^5 R
(2) Breakdown	1.1×10^6 R	1.5×10^6 R	2.3×10^6 R
Effect	TUBE		
	VIDICON	NEEWICON	CHALNICON
Exposure Rate Effects			
(1) Out of order	3×10^8 R/hr	1×10^8 R/hr	1×10^8 R/hr
(2) Phenomenon			
(3) Breakdown	3×10^8 R/hr	1×10^8 R/hr	1×10^8 R/hr
Exposure Effect			
(1) Out of order	2×10^8 R	2×10^8 R	2×10^8 R
(2) Breakdown	2×10^8 R	2×10^8 R	2×10^8 R



(방사선 조사 전의 화면 및 출력 파형)



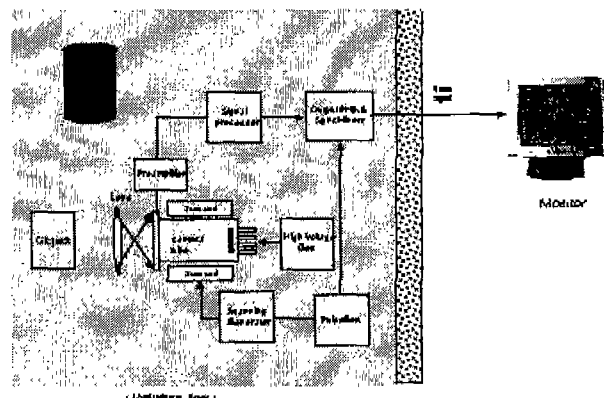
(3×10^4 rad 방사선 조사후 CCD 카메라의 화면 및 출력파형)



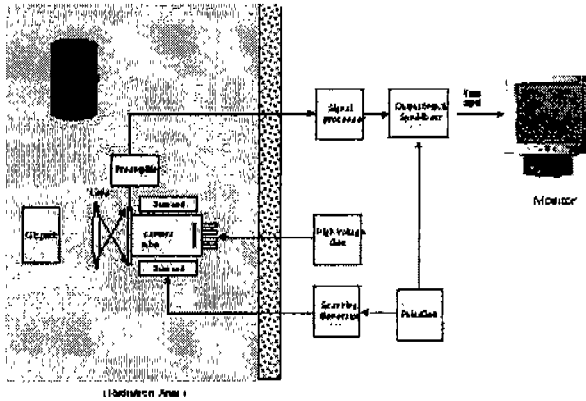
(10^5 rad 방사선 조사후 tube 카메라의 화면 및 출력파형)

(그림 3. 방사선 조사 전·후의 화면 및 출력 파형)

본 연구에서는 내방사선 카메라를 개발하기 위해 고 방사선 환경에 적합한 촬상관을 영상센서로 사용하였고 전자부품의 원격화를 통해 내구성을 개선하였다. 영상획득에 필요한 렌즈 및 영상센서, 전치증폭기는 카메라 헤드에 장착시키고 영상증폭부, 동기발생부, 고압발생부는 방사선의 영향이 없는 원격제어부에 위치시켰다.



(a) 일반 CCTV 카메라



(b) 카메라 구동회로의 원격화 제안방법

(그림 4 일반 CCTV 카메라 및 구동회로 원격화 제안방법)

결론

일반적인 CCTV 카메라는 방사선에 취약하여 일반적인 CCTV 카메라는 방사선에 취약하여 고방사선 환경 내에서의 원격관측 및 원격작업을 위한 사용이 어려우며 또한 현재 판매되고 있는 전용 내방사선 카메라는 전량 수입에 의존하고 있으며 가격 또한 고가이다. 따라서, 본 논문에서는 상용 CCTV 카메라의 방사선 특성평가와 내방사화 연구를 토대로 저가의 내방사선 카메라를 개발하기 위한 연구를 수행하였다. 상용 CCTV 카메라의 내방사화는 방사선 조사실험에서 얻어진 방사선 강건소자의 사용과 전자회로의 원격화를 통해 구현하였다. 본 논문에서 제시한 내방사화에 의해 누적선량 10^8 rad에서 양호한 화질을 얻을 수 있는 내방사선 카메라를 설계하였다.

본 논문에서 제안한 고방사선 환경 원격관측용 카메라는 원자력 산업분야, 우주 항공분야, 의료분야 등의 다양한 적용분야를 가지고 있어 앞으로의 활용에 많이 기여할 것이다.

참고 문헌

1. 황선태 편저, "방사선", 공업진흥청 정밀측정교제 85-007, pp.6-13, 1985
2. 원송희 편저, "CCTV 시스템 설계의 기법", 도서출판 세화, 1996
3. 김영해 편저, "센서인터페이싱", 기전연구소, 1987
4. D.F.Barbe, "Charge-Coupled Devices", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1980
5. Richard Sharp, "Radiation Effects on Electrical

and Electronic Equipment," bnes, 1994

6. Henning Lind Olesen, "Radiation Effects on Electronic System", Plenum press, 1966
7. Bernard Grob, " Basic Television and Video Systems", McGraw-Hill Book Company, 1975