

KAERI/AR-635/2002

내방사선카메라 기술현황분석

State of Art in Radiation Tolerant Camera

KAERI

한국원자력연구소

# 제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 2002 연도 기술현황분석보고서로 제출합니다.

제목 : 내방사선 카메라 기술현황분석

2002. 5.

주 저 자 : 최 영 수

공 저 자 : 김 승 호

조 재 완

김 창 회

서 용 칠

## 요 약 문

원자력발전소, RI시설, 사용후 핵연료 처리시설, 의료용 방사선 취급시설 등 방사선 관련작업은 사람의 접근이 제한되는 구역으로 이들 시설에서의 작업은 주로 시각정보에 의존하게 되며 일반적으로 카메라와 모니터로 구성되는 CCTV 시스템이 이용되고 있다. 그러나 일반 산업용 카메라 시스템은 방사선에 취약하여 어느 정도 이상의 방사선이 조사될 경우 열화되어 영상관측이 불가능하게 된다. 따라서 방사선 환경에서는 방사선에 열화되지 않고 깨끗한 영상을 관측할 수 있는 내방사선 카메라의 사용이 필수적이다. 내방사선 카메라는 일반 카메라와 동작원리는 유사하지만 방사선이라는 특수한 환경에서도 신뢰성을 갖고 동작할 수 있어야 한다. 내방사선 카메라 시스템은 카메라 헤드, 조명, 팬/틸트가 방사선 환경에 투입되어 원격지에서 제어 및 관측을 수행하도록 구성되어 있다. 이들 부품들은 방사선에 강한 소자를 사용하여 방사선 환경에서도 이상 없이 동작할 수 있어야 한다. 내방사선 카메라의 적용분야는 원자력 산업, 의료분야, 우주항공 분야등 매우 다양하다. 특히 원자력 산업 분야에서는 원자로 검사, 핵연료 교체, 사용후 핵연료 검사 등 지속적인 수요가 요구되고 있는 실정이다.

외국의 원자력 선진국에서는 인간의 접근이 어려운 고방사선 환경의 작업 및 관측을 위한 내방사선 카메라에 대한 연구가 연구계 및 산업계를 중심으로 이루어졌다. 이들은 총 누적선량  $10^6$ - $10^8$  RAD급 내방사선 카메라를 개발하여 판매하고 있으며 사용목적에 따라 다양한 형태의 제품으로 시판 중에 있다. 그러나 국내에서는 내방사선카메라에 대한 연구가 미진하여 외국에 완전히 의존하고 있는 실정이다. 본 보고서에서는 외국의 내방사선카메라에 대한 기술현황을 살펴보고 관련 기술을 분석하여 내방사선 카메라의 국내 개발을 촉진시키고자 한다.

## SUMMARY

Working in radiation environment such as Nuclear power plant, RI facility, nuclear fuel fabrication facility, medical center has to be considered radiation exposure, and we can implement these job by remote observation and operation. Remote observation and remote working is depend on visual information, and visual information source is acquired by CCTV system which consists of camera and monitor. However the camera used for industry is weakened at radiation, we can not see an image clearly what we want to observe. Therefore, radiation-tolerant camera is needed for radiation environment. Radiation-tolerant camera has a robust characteristics to radiation, so we can see an image clearly. The application of radiation-tolerant camera system is nuclear industry, radio-active medical, aerospace, and so on. Specially nuclear industry, the demand is continuous in the inspection of nuclear boiler, exchange of pellet, inspection of nuclear waste.

In the nuclear developed countries have been an effort to develop radiation-tolerant cameras. Now they have many kinds of radiation-tolerant cameras which can tolerate to  $10^6$ - $10^8$  rad total dose. In this report, we examine into the state-of-art about radiation-tolerant cameras, and analyze these technology. We want to grow up the concern of developing radiation-tolerant camera by this paper, and upgrade the level of domestic technology.

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	8
제 2 장 내방사선 카메라 기술현황 .....	10
제 1 절 국내 기술개발현황 .....	10
제 2 절 국외 기술개발현황 .....	10
1. CCD 방식 .....	12
가. R. J. Electronics .....	12
2. CID 방식 .....	16
가. CID Technology .....	16
나. Emco .....	19
3. 튜브 방식 .....	21
가. IST-REES .....	21
나. AEA Technology .....	27
다. Industrial Video Systems, Inc. ....	28
라. Bowtech .....	29
마. Deep Ocean .....	30
사. RSL(Rovtech Systems Ltd.) .....	31
아. Sacrab II .....	32
자. Q.I Nuclear TV camera .....	33
제 3 장 카메라의 구성 및 내방사화 .....	34
제 1 절 내방사선 카메라와 일반 카메라의 비교 .....	34
제 2 절 CCTV 카메라의 구성 .....	37
1. 렌즈 .....	39
2. 영상센서 .....	41
가. 고체촬상소자 .....	43
1) MOS형 영상센서 .....	43
2) PCD형 영상센서 .....	44
3) CID형 영상센서 .....	45
4) SIT형 영상센서 .....	46
5) CPD형 영상센서 .....	46
6) CCD형 영상센서 .....	47

7) BBD형 .....	49
나. 촬상관 .....	50
1) 비디콘 .....	51
3. 전자회로부 .....	53
4. 조명 .....	56
5. 팬/틸트 .....	61
제 3 절 카메라의 방사선 영향 및 내방사화 방법 .....	62
1. 카메라 부품의 방사선 영향 .....	62
가. 방사선이 진공관에 미치는 영향 .....	62
나. 방사선이 반도체에 미치는 영향 .....	63
2. CCD 카메라의 방사선특성 실험 .....	66
가. CCD 카메라의 방사선 조사실험 .....	67
나. 실험결과 .....	69
3. 카메라의 내방사화 .....	70
가. 전자회로의 원격화 .....	70
나. 차폐 .....	71
제 4 장 결 론 .....	78
참고문헌 .....	79
부록 내방사선 카메라 관련업체 .....	80

## 그림 목 차

그림 1. 카메라의 방사선 영향평가 실험환경 .....	14
그림 2. 카메라의 선량율에 따른 방사선 영향 .....	14
그림 3. CCD 방식의 내방사선 카메라 .....	15
그림 4. CID8712 Camera .....	16
그림 5. CID8712 카메라의 구조 .....	17
그림 6. CID8712 카메라의 스펙트럼 특성 .....	18
그림 7. 선량율 700 Krads/hr 로 조사된 영상 (CID22Q) .....	18
그림 8. 총누적선량 1 Mrad 조사후의 영상 (CID22Q) .....	18
그림 9. MegaRad Cam .....	19
그림 10. IST-REES 사의 내방사선 카메라 .....	22
그림 11. R93 카메라의 헤드부 .....	24
그림 12. R93 카메라 제어부 .....	24
그림 13. R975 카메라 .....	26
그림 14. R93 Mk3 .....	28
그림 15. 70 Series .....	28
그림 16. Bowtech 사의 카메라 .....	29
그림 17. Firefly 시스템 .....	30
그림 18. SMC6911R Tube Camera .....	31
그림 19. Sacrab II에 장착된 카메라 .....	32
그림 20. CCD 카메라의 방사선 영향 .....	35
그림 21. 내방사선 카메라 개념도 .....	38
그림 22. CCTV 시스템의 구성 .....	38
그림 23. 영상소자의 분류 .....	42
그림 24. MOS형 영상센서의 구조 .....	44
그림 25. PCD형 영상센서의 구조 .....	45
그림 26. CID형 영상센서의 구조 .....	45
그림 27. SIT형 영상센서의 구조 .....	46
그림 28. CPD형 영상센서의 구조 .....	47
그림 29. FT형 CCD 영상센서 구조 .....	49
그림 30. IT형 CCD 영상센서 구조 .....	49

그림 31. BBD형 영상센서의 구조 .....	49
그림 32. 튜브방식 카메라의 개념도 .....	50
그림 33. 카메라튜브의 분광감도 특성 .....	50
그림 35. 비디콘카메라 튜브의 내부구성 .....	52
그림 36. 비디콘의 신호전류 생성 .....	53
그림 37. 카메라의 composite 비디오신호 출력 과정 .....	54
그림 38. 비디오신호 출력 과정 .....	54
그림 39. 광영상이 촬상관의 표면에 이르는 과정 .....	54
그림 40. 광전변환 과정 .....	55
그림 41. 신호처리 과정 .....	55
그림 42. 전자부품의 방사선 특성 .....	64
그림 43. 전자부품의 방사선 조사결과 .....	64
그림 44. 각종 영상센서 .....	65
그림 45. CCD 카메라의 구성도 .....	67
그림 46. CCD 카메라의 방사선조사 실험 .....	68
그림 47. 방사선 조사전의 화면 .....	69
그림 48. 방사선조사전의 영상출력파형 .....	69
그림 49. 방사선 조사직후의 화면 .....	70
그림 50. 방사선조사직후의 출력파형 .....	70
그림 51. $3 \times 10^4 \text{rad}$ 조사후의 화면 .....	70
그림 52. $3 \times 10^4 \text{ rad}$ 조사후의 출력파형 .....	70
그림 53. 원격화에 의한 카메라의 내방사화 .....	71
그림 54. 차폐에 의한 카메라의 내방사화 개념 .....	74
그림 55. 차폐형 내방사선 카메라 시스템 구성도 .....	75
그림 56. 차폐형 내방사선 카메라 프로토타입 .....	75



## 표 목 차

표 1. RCS-510NBP 내방사선 카메라의 제원 .....	15
표 2. MegaRad Cam 카메라의 제원 .....	20
표 3. R93 카메라의 특성 .....	24
표 4. R975 카메라의 특성 .....	26
표 5. AEA 사의 내방사선카메라 특성 .....	27
표 6. Bowtech 사의 카메라 특성 .....	29
표 7. QI 사의 내방사선 카메라 특성 .....	33
표 8. 시각장치로서 요구되는 카메라의 요건 .....	36
표 9. 렌즈를 선택할 때 고려해야할 점 .....	39
표 10. 비디콘의 표준화면 치수 .....	40
표 11. 튜브 타입의 비교 .....	43
표 12. 각종 촬상관의 특성 .....	51
표 13. 백열전구의 특징 .....	57
표 14. 할로겐 램프의 특징 .....	57
표 15. 형광등의 특징 .....	58
표 16. 수은등의 특징 .....	58
표 17. 나트륨 램프의 특징 .....	59
표 18. 크세논 램프의 특징 .....	59
표 19. 여러 가지 물질의 반사, 흡수, 투과율 .....	60
표 20. 영상소자의 방사선 특성평가 .....	65
표 21. 전자부품의 방사선 특성 .....	66
표 22. 방사선조사 실험에 사용된 카메라의 특성 .....	68
표 23. 일부 감마선원의 반가층 및 1/10가층 .....	72
표 24. 방사선 세기의 감쇠를 위한 텅스텐 차폐두께 .....	73
표 25. 차폐 카메라의 규격 .....	76
표 26. 사용된 카메라의 규격 .....	76
표 27. 사용된 렌즈의 규격 .....	77

## 제 1 장 서 론

원자력발전소, RI시설, 사용후 핵연료 처리 시설, 의료용 방사선 취급시설 등 방사선 관련작업은 사람의 접근이 제한되는 구역으로 이들 시설에서의 각종 작업은 원격관측 및 원격작업 형태로 이루어진다. 원격관측 및 원격작업은 주로 시각정보에 의존하게 되며 시각정보원으로는 일반적으로 카메라와 모니터로 구성되는 CCTV 시스템이 이용되고 있다. 그러나 일반 산업용 CCTV 시스템에 사용되는 카메라는 방사선에 취약하여 특정 방사선량 이상의 방사선이 조사될 경우 열화되어 영상관측이 불가능하게 된다. 따라서 방사선 환경에서 사용되는 카메라는 내방사선 특성을 지니고 있어 방사선 환경에서도 열화되지 않고 깨끗한 영상을 관측할 수 있어야 한다.

영국, 미국, 프랑스, 일본 등 원자력 선진국에서는 인간의 접근이 어려운 극한 환경에 대한 원격작업 및 원격관측 연구를 지속적으로 수행하여 왔으며, 특히 고방사선 지역환경의 작업 및 관측을 위한 내방사선 카메라에 대한 연구가 연구계 및 산업계를 중심으로 이루어졌다. 영국의 IST-REES, AEA Technology 등에서 총누적선량  $10^7$ - $10^8$  RAD급 내방사선 카메라를 개발하여 판매하고 있으며 사용목적에 따라 다양한 형태의 제품으로 시판 중에 있다. 현재 세계적으로 원자력 분야에서 가장 널리 사용되는 내방사선 카메라는 IST-REES의 제품으로, 우리나라의 경우도 90%이상의 내방사선 카메라를 IST-REES의 제품을 사용하고 있는 형편이다. IST-REES사외에도 Diamond Elec. Company에서는 최대방사선량  $10^8$  RAD급을, 영국 AEA Tech.에서는 총누적선량  $10^7 \sim 10^8$  RAD급 내방사선 카메라를 개발하여 시판 중에 있다. 일반적으로 내방사선 카메라의 Image센서로는 Tube 방식이 사용되고 있으나 CCD Technology에서 CCD Image센서를 이용한  $10^6$  RAD급 내방사선 카메라를 개발한 바 있다. Vidicon Tube를 Image 센서로 사용하는 내방사선 카메라의 경우 부피가 크기 때문에 최근 CCD나 CID Image센서를 사용하는 내방사선 카메라에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며 현재 CCD 및 CID Image 센서를 이용하는 총누적선량  $10^6$  RAD급 내방사선 카메라가 개발되고 있다.

내방사선 카메라의 적용분야는 원자력산업분야 뿐만 아니라 의료용 방사선 시설 및 우주항공분야등 매우 다양하다. 특히 원자력산업분야에서는 원자로검사, 핵연료교체, 사용후 핵연료 검사 등 각종 고방사선 작업장치의 영상 관측장치로서 필수적인 장치로 이용되고 있다. 그리고 원전 감시점검용 이동로봇, 증기발

생기 유지보수 로봇, 핵연료 교체장비 등 각종 원격조작 및 작업 시스템의 시각장치로서도 활용되고 있다. 의료용 방사선시설에서는 X선 촬영시설, 감마치료 시설 등에서 사용이 증대되고 있다.

본 보고서에서는 내방사선 카메라의 기술현황을 살펴보고 내방사선 카메라의 구성 및 요소기술등을 알아봄으로써 내방사선 카메라의 활용성을 증대하고 내방사선 카메라의 개발을 위한 토대를 마련하고자 한다.

## 제 2 장 내방사선 카메라 기술현황

### 제 1 절 국내 기술개발현황

현재 국내 학계, 연구 및 산업계를 막론하고 내방사선카메라에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다. 다만 한국원자력연구소 '로봇기술개발과제'에서는 원자력중장기사업의 일환으로 원격작업용 로봇시스템의 시각장치개발을 목적으로 '94년부터 내방사선 카메라 개발에 착수하고 있는 상태이다. 한국원자력연구소 로봇기술개발과제에서는 카메라 부품의 내방사선 특성을 평가/분석하여 총누적선량  $10^6$  RAD급 내방사선 카메라를 개발한 바 있으며, 캐나다 OHT와의 공동연구를 통해 총누적선량  $10^8$  RAD급 내방사선 카메라 설계기술을 확보하고 있는 상태이다. 그러나 아직 국내의 내방사선 카메라 관련 기술수준은 영국, 미국, 일본 등 선진국에 비해 상당히 낮은 상태이다. 따라서 원자력발전소, 의료기관, 방사선 폐기물 관련시설, RI 등 원자력 관련 시설에 사용되고 있는 내방사선 카메라는 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

### 제 2 절 국외 기술개발현황

영국, 미국, 프랑스, 일본 등 원자력 선진국에서는 인간의 접근이 어려운 극한 환경에 대한 원격작업 및 원격관측 연구를 지속적으로 수행하여 왔으며, 특히 고방사선 지역환경의 작업 및 관측을 위한 내방사선 카메라에 대한 연구가 연구계 및 산업계를 중심으로 이루어졌다. 영국의 IST-REES, AEA Technology 등에서  $10^7$ - $10^8$  RAD급 내방사선 카메라를 개발하여 판매하고 있으며 사용목적에 따라 다양한 형태의 제품으로 시판 중에 있다. 현재 세계적으로 원자력 분야에서 가장 널리 사용되는 내방사선 카메라는 IST-REES의 제품으로, 우리나라의 경우도 90%이상의 내방사선 카메라를 IST-REES의 제품을 사용하고 있는 형편이다. IST-REES사외에도 Diamond Elec. Company 에서는 최대 방사선량  $10^8$  RAD 급을, 영국 AEA Tech. 에서는  $10^7$  -  $10^8$  RAD 급 내방사선 카메라를 개발하여 시판 중에 있다. 이밖에도 Emco Intertest, Bowtech, Rovtech Systems, R.O.V. Technologies 등에서 수중용 및 로봇의 시각장치로 개발하여 사용 중에 있다. 일반적으로 내방사선 카메라의 Image센서로는 비디콘 튜브가 사용되고 있으나

CCD Technology에서 CCD 영상센서를 이용한  $10^6$  RAD급 내방사선 카메라를 개발한 바 있다. Vidicon Tube를 Image 센서로 사용하는 내방사선 카메라의 경우 부피가 크기 때문에 최근 CCD나 CID Image센서를 사용하는 내방사선 카메라에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며 현재 CCD 및 CID 영상센서를 이용하는  $10^6$  Rad급 내방사선 카메라가 개발되고 있다. 그리고 일반 유리 재질로 만들어진 카메라 렌즈의 경우 방사선에 조사될 경우 렌즈가 갈색으로 변색되기 때문에 내방사선 카메라에 사용되는 렌즈로는 Non-brown 렌즈가 사용되어야 하는데 세계적으로 Non-brown 렌즈는 일본 및 프랑스 제품이 사용되고 있으나 고성능의 Non-brown 렌즈는 금수품목으로 지정되어 있어 수출을 통제하고 있는 실정이다.

## 1. CCD 방식

### 가. R. J. Electronics

일반적으로 CCD(Charge Coupled Device)는 0.1 MRad의 방사선량 lifetime dose를 가지며 최대 방사선율은 500 rad/h 이다. R.J. Electronics 에서는 총선량  $10^8$  rad 급 내방사선 카메라를 개발하였다. 이 카메라는 CCD 영상소자를 6인치 두께의 납으로 된 차폐체로 둘러싸고, 프리즘을 이용하여 영상을 받아들이도록 하였다.

고방사선 구역에서 차폐, non-borwning 줌 렌즈, non-browning, non-picture inverting prismatic optics의 조합으로 카메라를 구성하였다. 스텐레스강으로 하우징을 하고, 폴리우레탄 재킷 케이블을 사용하고 커넥터는 gold plated 핀을 사용하여 장시간 문제가 발생하지 않도록 하였다. 대부분의 내방사선 카메라는 1970년대 후반 비디콘, 뉴비콘, 찰니콘 흑백 영상센서 튜브를 사용하였는데 그 당시에는 고체 촬상소자보다 소형, 저가였고 고품질의 상을 보여 줄 수 있었다. 그러나 기술의 고체 촬상소자가 대중화되고 튜브방식의 영상센서는 특수한 용도로 만들어지게 되었다. 튜브의 수명은 최적의 상태에서 10,000-20,000 시간의 제한 수명을 가지고 있어 최적의 영상을 유지하기 위해서는 적절한 교체 시기를 계획하여야 한다.

CCD 센서는 소형, 저가, 경량이고 고해상도의 장점을 가지고 있다. 주요이점은 다음과 같다.

- 기하학적 왜곡이 없다
- 자기장에 영향을 받지 않는다
- 고해상도의 칼라를 지닌다
- 셋업없이 100% 교환가능하다
- 플러그인 교체가 가능하다
- 진동과 충격에 강하다
- 에이징 셋업이 요구되지 않으므로 유지보수가 줄어든다
- 저가이고 플러그인 모듈 교체가 가능하다

R.J. Electronics에서는 현재 상용적으로 많이 사용되고 있는 CCD 카메라의 이점을 살려 내방사선 카메라를 제작하고 있다. R. J. Electronics 사에서 제작된 카메라의 특징은 다음과 같다.

- 칼라
- 내방사선
- 수중용 또는 일반용
- 저조도 통합 특징
- turn-key systems
- S-Video : 고해상도
- non-borwnig 렌즈 및 프리즘
- 폴리우레탄 카메라 케이블
- 스테인레스강 하우징, 커넥터, 조명
- 소형 고효율 공기중 또는 수중용 조명
- 소형
- 차폐된 칼라 카메라
- 가스 냉각/주입 시스템

R. J. Electronics사의 내방사선 카메라는 저가로 칼라 영상을 관측할 수 있어 중, 고준위 방사선 환경에서 적용이 용이하다. 이들의 응용 분야를 살펴보면 다음과 같다.

- 파이프라인 검사
- 탱크 내부 감시 모니터링
- 핵연료 감시
- 수중 카메라 시스템
- 일반 감시
- 잠재적인 폭발 환경

표 1은 R. J. Electronics사에서 개발한 내방사선 칼라 카메라인 RCS-510NBP의 주요 제원을 나타내고 있다. 이 카메라는 현재 상용적으로 사용되는 CCD 카메라를 사용하여 영상을 관측할 수 있어 카메라의 교체 및 유지보수가 쉬운 장점을 가진다. 반면 전체적인 크기가 크고 무게가 무겁기 때문에 소형, 경량을 요구하는 이동 로봇의 탑재나 휴대용으로 사용하기는 힘들고 고정식으로 사용하는 것이 효율적이다.

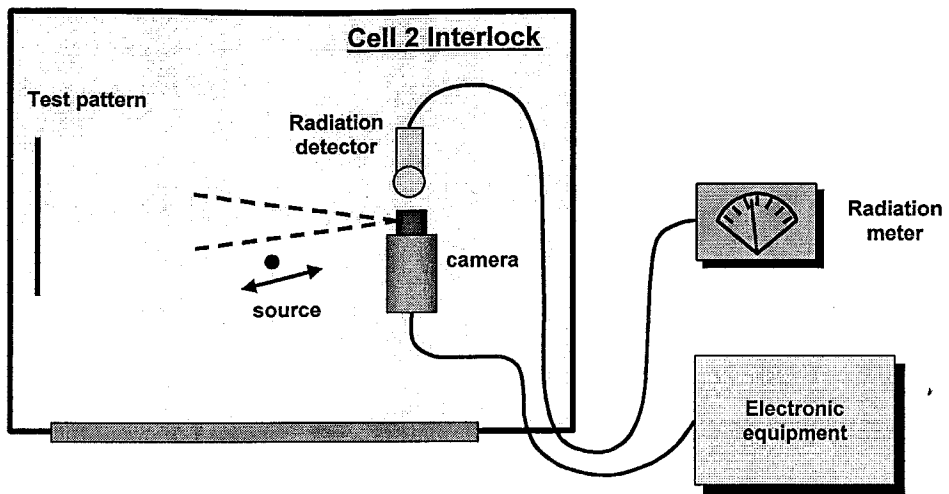
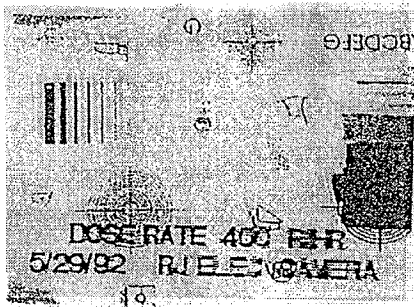
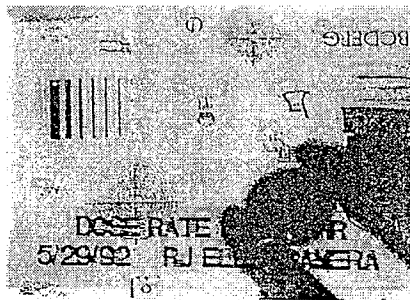


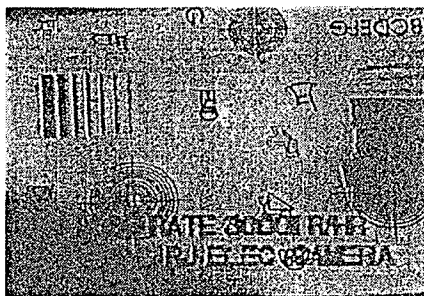
그림 1. 카메라의 방사선 영향평가 실험환경



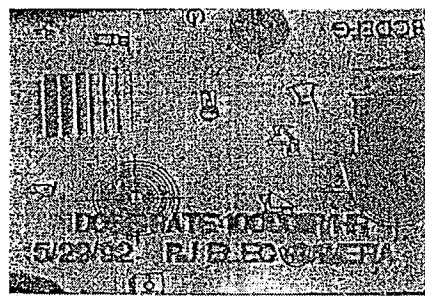
(a) 400 R/hr 로 조사된 영상



(b) 1000 R/hr 로 조사된 영상



(c) 3000 R/hr 로 조사된 영상



(d) 10000 R/hr 로 조사된 영상

그림 2. 카메라의 선량율에 따른 방사선 영향





그림 3. CCD 방식의 내방사선 카메라

표 1. RCS-510NBP 내방사선 카메라의 제원

구분	내용
Power	12 VDC
Horizontal Resolution	460 TV lines
Minimum Scene Illumination	24 lux at f/3.5
Lens	Special zoom lens with non-browning optics
Zoom	22-90 mm remotely controlled
Focus	10 inches to infinity remotely controlled
Iris	f/3.5 to f/45 remotely
Shutter	1/60s ~ 1/10,000s remotely controlled
In-Air Field Of View	16.55 deg to 4.07 deg horizontal
Underwater Field Of View	12.43 deg to 3.06 deg horizontal
Housing Diameter	3.95 inches
Housing Length	11.05 inches
In Air Weight	26 pounds
In Water Weight	22.3 pounds
Housing Material	300 series stainless steel
Window Material	Non-browning fuse quartz
Depth Rating	150 feet
Raidation Tolerance (1MeV)	$1.3 \times 10^7$ rad/hr, $1.3 \times 10^9$ rad total
(0.67MeV)	$8.3 \times 10^5$ rad/hr, $8.3 \times 10^7$ rad total
(0.5MeV)	$7.3 \times 10^4$ rad/hr, $7.3 \times 10^6$ rad total
Cable Length	Up to 300 feet

## 2. CID 방식

### 가. CID Technology

CID와 CCD 영상소자 기술은 1970년대 초부터 발전되기 시작했다. 두 소자는 전하 전달 소자로서 신호 전하는 MOS 게이트에서 수집되고 전달되어 픽셀 판독과정 동안에 전압으로 감지된다. CID는 CCD에 비해 방사선에 강한 구성으로 되어있다. CID 영상센서는 로봇, 모니터링, 계측, 방사선 감지 등의 분야에서 주로 사용되고 있다.

CID Technology Inc.사에서는 CID 영상센서를 사용하여 카메라를 제작하고 있는데 1Mrad급의 최대 방사선 허용선량을 지니도록 한 카메라 헤드를 개발하였다. 카메라 헤드의 크기는  $50\text{mm}^2$  이고 길이는 100mm 이다. 그리고 23핀의 conductor 케이블로 제어 유닛에 연결되어 있다. 최근에는 6 Mrad급 장비 개발에 성공하였다. 그림 1은 내방사선 카메라인 CID8712 카메라의 외관이며, 카메라의 특성은 아래와 같다.

- Total dose :  $1 \times 10^6$  rads (gamma)
- Excellent Image :  $7 \times 10^5$  rads/hr
- High resolution
- CCIR Scanning Format
- Size : Small size
- 30 Meter remote sensor
- No geometric distortion
- Selectable 2X, gain boost



그림 4. CID8712 Camera

CID8712D1M 카메라의 영상센서의 특성은 다음과 같다.

- imager format.
  - total pixels
  - displayed pixels
  - pixel size
  - full well capacity
- active area
- optical format

CID8712D1M 카메라의 전기적인 특성은 다음과 같다.

- Scanning format
- Resolution
- S/N Ration
- Sensitivity
- Composite video
- Geometric distortion

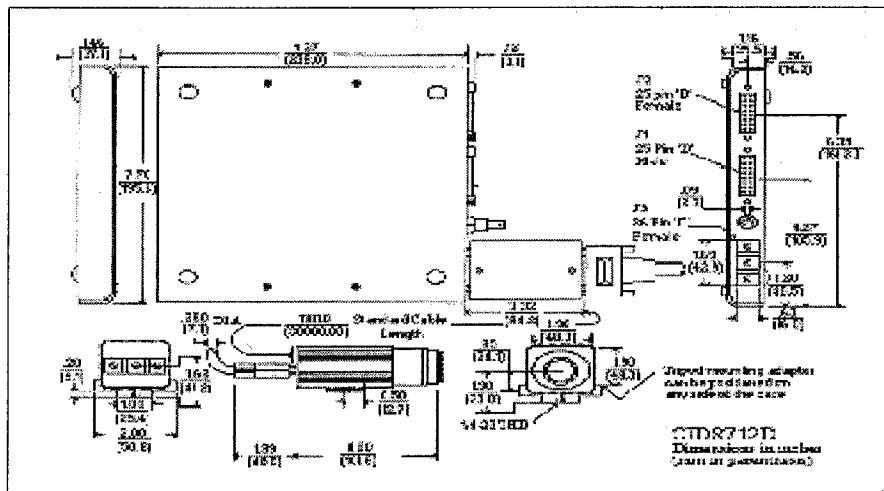


그림 5. CID8712 카메라의 구조

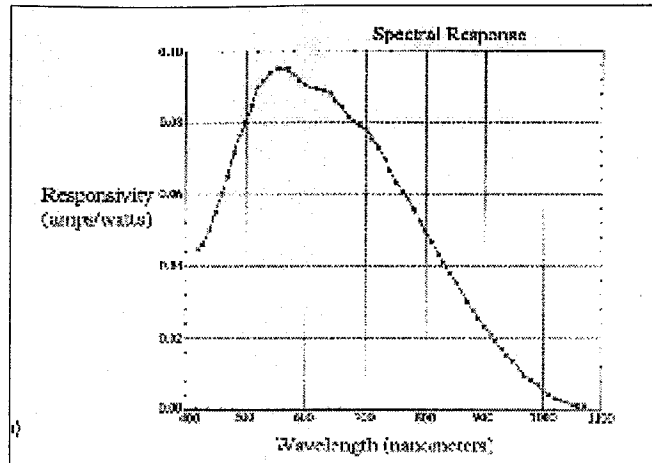


그림 6. CID8712 카메라의 스펙트럼 특성

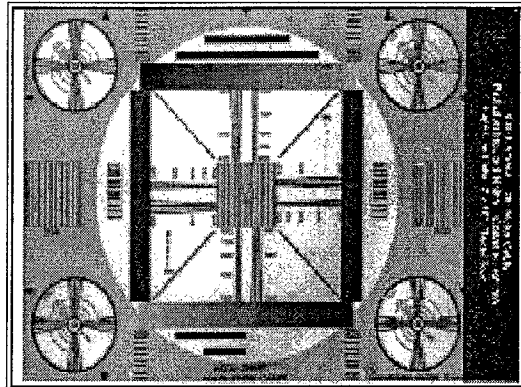


그림 7. 선량을 700 Krads/hr 로 조사된 영상 (CID22Q)

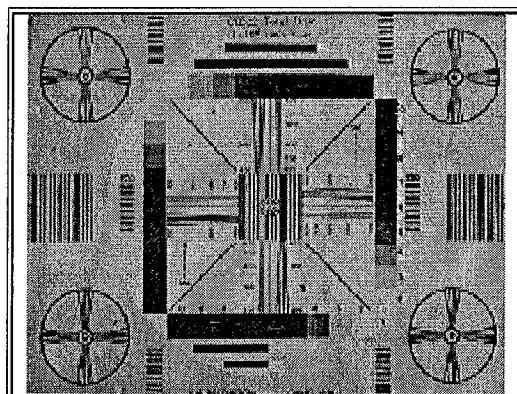


그림 8. 총누적선량 1 Mrad 조사후의 영상 (CID22Q)

CID22Q 카메라를 Co-60 방사선원에 조사시킨 결과 500 krad/hr 이상의 방사선량율에서도 깨끗한 영상을 얻을 수 있었다. 그림 7은 CID22Q 카메라를 700 krad/hr의 선량율로 조사시켰을 때의 영상이며, 그림 8은 총선량이 1 Mrad가 되었을 때의 영상이다. 방사선량이 누적될수록 영상이 흐려지며, 형태를 알아보기 힘들게 된다.

이들 카메라의 적용분야는 프로세스 모니터링, 고방사선 환경하에서 로봇 핸들링 및 측정, 중준위 방사선 환경에서의 감시관측, 원전의 해체 및 폐기물 처분, 의료 방사선 치료 및 X-선, 고에너지 물질의 측정 등이 있다.

#### 나. Emco

Emco Intertest Inc. 사에서는 CID 센서를 이용하여 수중용 내방사선 카메라를 제작하였다. 그림 9는 Emco Intertest 사에서 개발한 1Mrad 급 내방사선 카메라를 보여주고 있다. 이 카메라는 스테인레스 강으로 하우징을 하고 할로젠 램프 2개를 조명원으로 사용하였다. 사파이어 윈도우를 사용하여 방사선 환경에서도 깨끗한 영상을 관측할 수 있도록 하였다. MegaRad Cam 내방사선 카메라의 특성은 표 2와 같다

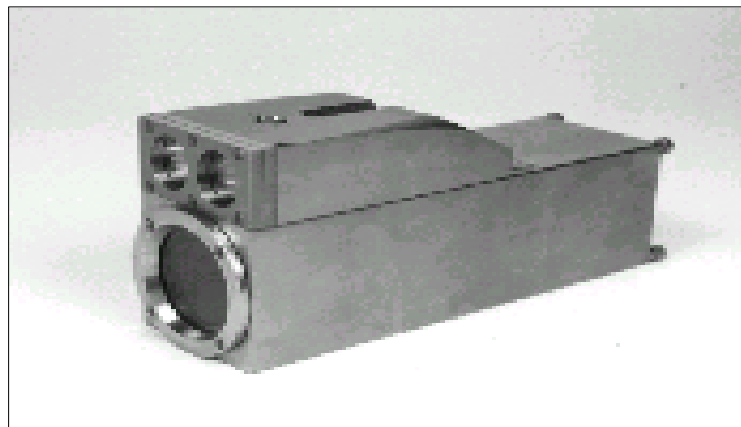


그림 9. MegaRad Cam

표 2. MegaRad Cam 카메라의 제원

구분	내용
회사명	Emco Intertest Inc.
크기	63.5mm (W) x 63.5mm (95.3mm) (H) x 215.9mm (L)
하우징	waterproof stainless steel housing to 330'(100m)
조명	dual 35 watt halogen light module
케이블	cable lengths up to 100 m available
윈도우	sapphire window
총선량	1 x 10 <sup>6</sup> Rads
선량율	excellent image at 7 x 10 <sup>5</sup> rads/hr
포맷	CCIR Scanning format
동작온도	0. C - 25. C
이득	Selectable 2X, gain boost
기타	remote radiation level sensor

### 3. 튜브 방식

CCD 카메라가 대중화되기 전인 1970년대에는 비디콘, 뉴비콘, 찰니콘 등의 진공관 방식의 카메라가 널리 사용되었으며, 그 당시에는 CCD보다 소형, 저가였고 고품질의 영상을 제공하였다. 진공관은 방사선 특성이 CCD 보다 훨씬 우수하여 내방사선 카메라의 대표적인 영상센서로 자리잡게 되었다. 현재 사용되는 대부분의 내방사선 카메라는 튜브방식의 카메라이며, 이들은 카메라 헤드에 튜브와 방사선에 강한 소자를 장착하여 내방사선 기능을 향상시켰다. 튜브 방식의 내방사선 카메라는 다른 방식의 카메라에 비해 소형, 경량의 장점을 가지고 있으며 방사선에 가장 좋은 기능을 가진다. 그러나 튜브의 수명은 최적의 상태에서 10,000-20,000 시간의 제한 수명을 가지고 있어 최적의 영상을 유지하기 위해서는 적절히 교체해주어야 하며, 가격이 비싼 단점이 있다.

#### 가. IST-REES

IST-REES 사에서는 다양한 종류의 내방사선 카메라를 공급하고 있다. 그림 10은 IST-REES사의 R93, R930VHV, R938, R940, R975, R976 내방사선 카메라의 모습을 보여주고 있다. REES 사의 카메라는  $10^8$  rad 급 내방사선 카메라로 현재 국내에 가장 많이 보급되어 있는 실정이다. 그리고 카메라 시스템은 모듈화되어 카메라 헤드 및 조명등을 사용자의 용도에 따라 선택하여 사용할 수 있도록 하였다. 내방사선 카메라의 구성은 윈도우, 렌즈, 카메라 몸체, 커넥터, 케이블, 팬/틸트, 조명, 제어유닛으로 이루어진다. REES 사의 제품 중 서로 다른 형태의 카메라인 R93과 R975 카메라의 특징을 살펴보기로 한다. R93 카메라는 카메라 헤드 부분의 전자부품을 줄여 방사선에 대한 영향을 최소화시키도록 설계되어 있다. R975 카메라는 카메라 본체에 전자회로를 장착하여 원격 제어부와의 케이블 core수를 줄임으로써 사용 및 유지보수가 손쉽도록 설계, 제작되어 있다.



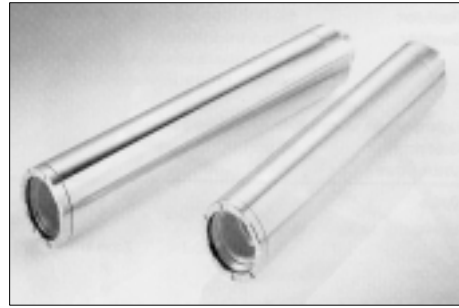
R93



R930VHV



R938



R940



R975



R976

그림 10. IST-REES 사의 내방사선 카메라

1) R93

R93 카메라는 IST-Rees 사의 내방사선 카메라로 viewing head를 원하는 용도로 교체하여 사용할 수 있다. 방수용 viewing head를 장착하게 되면 수중에



서도 관측할 수 있도록 되어 있다. R93 카메라는 그림 11, 그림 12와 같이 카메라 헤드부, 원격 제어부로 구성되어 있으며 카메라 헤드부분과 원격제어부 사이는 24핀으로 연결되어 있다. 헤드의 총 수명은 200 Mrad 이며 원격에서 카메라의 줌, 포커스 등을 조절할 수 있게 구성되어 있다. 표 3은 R93 내방사선 카메라의 주요 특성을 나타낸다. 카메라의 몸체는 스텐인레스 강으로 하우징 되어 있고 내부는 렌즈, 영상센서, 전자회로, 렌즈 조정 모터가 들어있다. 렌즈모듈은 교환 가능하도록 하였고 영상센서는 2/3" 튜브를 사용하였다. 전자회로는 전치증폭기 및 decoupling 회로만 카메라 몸체에 두고 다른 회로들은 제어부에 두어 방사선의 영향을 최소화하도록 하였다. R93 카메라의 전자회로부는 카메라 헤드부에 head amp. 부, decoupling 부가 있고 제어유닛에 비디오 프로세싱부, scan 제어부, 모터/조명 구동부, 전원부로 구성되어 있다. Head amp부는 비디콘 튜브에서 나오는 미약한 신호출력을 증폭하는 역할을 하고 decoupling block은 제어부에서 오는 신호와 튜브사이의 매칭을 위한 회로로 구성되어 있다. 원격제어부는 Power Supply 유닛, 비디오 카드, 스캔카드, 모터/조명 구동 카드로 구성되어 있다. 카메라 구동을 위해 중요한 역할을 담당하는 비디오 카드, 스캔 카드의 기능을 살펴보면 다음과 같다.

▶ 비디오 카드

- video processing
- dc restoration
- auto black
- gamma correction
- video sync mixer
- white and black limit
- auto target
- auto iris
- VEU interface

▶ 스캔카드.

- CCU에서 필요한 동기신호의 발생
- 카메라에서 요구되는 고 전압의 발생
- 필드 스캔 전류, 라인 스캔 진폭과 라인 시프트의 발생
- 마그네틱 포커스 전류의 발생

R93 카메라의 적용분야는 원자로, Tanks and Vessels, 증기 발생기, 보일러,

튜브와 열교환기, 폐기물 incinerations, 파이프 감시 및 관측등 매우 다양하다.



그림 11. R93 카메라의 헤드부



그림 12. R93 카메라 제어부

표 3. R93 카메라의 특성

구 분	내 용
무게	1.25kg
온도, storage	-25. C ~ 60. C
operation	-25. C ~ 50. C
습도	90%
방사선 내구성(총선량)	>10 <sup>6</sup> Gy(Si) [Co-60]
방사선 내구성(선량율)	>1 Gy(Si) [Co-60]
해상도	>550 TV lines/picture height
신호대 잡음비	>40dB measured over 5 M Hz bandwidth
감도	<1 lux scene illumination for usable picture <7 lux scene illumination for full rated performance
Viewing angles 11mm lens	
수평	43.
수직	33.
대각	53.
포커스 범위 (11mm 렌즈)	30 mm ~ ∞
영상센서 튜브 이동	4.5mm
케이블길이	
minikevler (11mm o.d.)	100m 최대
TV36 cable (17mm o.d.)	400m 최대
영상 센서 튜브 타입	직경 18mm, 마그네틱 편향, 마그네틱 포커스, 분리 매쉬
렌즈 마운트	D 마운트 (C 마운트 몸체 가능)

## 2) R975

IST-REES 사의 최근 제품이며 총 방사선량은 200 MRad이고 모든 전자장치를 카메라 헤드에 넣었고, 카메라를 작동시키기 위해서는 단지 두 개의 케이블만 필요하기 때문에 카메라와 원격제어부 사이의 설치가 간단하다. R975 카메라의 특성은 다음과 같다.

### ▶ Mechanical

- 길이 : 244mm
- 커넥터를 포함한 길이 : 285mm
- 직경 : 70mm
- 무게 : 2kg
- 케이스 재질 : 스테인레스강
- viewing window : 표준 또는 water corrected

### ▶ Environment

- 방사선 내구성 (총선량) :  $2 \times 10^7$  rad (H<sub>2</sub>O) [Co-60]
- 선량을 비디콘 :  $3 \times 10^8$  rad/hr  
    뉴비콘/찰니콘 :  $1 \times 10^5$  rad/hr
- 동작온도 : -25. C ~ 50. C
- 최대 동작 깊이 : 60m 표준 (특수 주문시 200m)

### ▶ 성능

- 해상도 : 500 tv line
- 신호대 잡음비 : 56 dB (200nA peak, 5MHz CCIR weighted RMS)
- 출력 : 1 V composite video  
    0.3 V syncs  
    1.2 V peak white clip
- interlace : 2:1
- 선형성 : 2%



그림 13. R975 카메라

표 4. R975 카메라의 특성

	항 목	내 용
Mechanical	길이	244mm
	커넥터를 포함한 길이	285mm
	직경	70mm
	무게	2 kg
	케이스 재질	스테인레스강
	viewing window	표준 또는 water corrected
Environment	방사선 내구성 (총선량)	$2 \times 10^7$ rad ( $H_2O$ ) [Co-60]
	선량율	비디콘 : $3 \times 10^8$ rad/hr 뉴비콘/찰니콘 : $1 \times 10^5$ rad/hr
	동작온도	-25. C ~ 50. C
	최대 동작 깊이	60m 표준 (특수 주문시 200m)
성능	해상도	500 tv line
	신호대 잡음비	56 dB (200nA peak, 5MHz CCIR weighted RMS)
	출력	1 V composite video 0.3 V syncs 1.2 V peak white clip
	interlace	2:1
	선형성	2%

나. AEA Technology

AEA Technology에서는 3가지 종류의 내방사선 카메라를 개발하여 판매하고 있으며 방사선 허용선량은  $10^8$  rad 이다. 내방사선 카메라의 하우징은 아노다이징된 알루미늄 또는 스테인레스강으로 되어 있고 표준형 또는 수중용으로 제작되고 있다. 카메라의 조명은 LED 또는 할로겐 램프를 사용하고 있다. 내방사선 카메라 모델은 IRC404, IRC8605, IRC8600이 있으며 모두  $10^8$  rad급 내방사선 카메라이다. IRC404의 경우 직경이 63mm, IRC8600은 직경이 42mm이며, IRC8605는 직경이 35mm로 가장 소형의 카메라이다. 표 5는 AEA Tech.사의 내방사선 카메라 특성을 보여주고 있다.

표 5. AEA 사의 내방사선카메라 특성

종류	크기	무게	total dose	기타
IRC404 (9mm lens)	6.3 mm (d) × 230 mm (L)	1.2 kg	100 Mrad	no control box, basic camera, 12 V power supply
(16-96mm remote control zoom lens)	6.3 mm (d) × 375 mm (L)	1.6 kg	100 Mrad	controller box
IRC8605	35 mm (d) × 285 mm (L)	0.7 kg	100 Mrad	40m PVC cable
IRC8600	42 mm (d) × 265 mm (L)	0.7kg	100 Mrad	40m PVC cable, 8-24mm remote control zoom lens

다. Industrial Video Systems, Inc.

Industrial Video Systems사에서는 Rees사의 R93 카메라와 70 series를 판매하고 있다. 그림 14는 R93 MK3, 그림 15는 70 Series를 보여주고 있다. 수중용과 일반용 내방사선 카메라가 있으며 특성은 다음과 같다.

▶ General Purpose Underwater Nuclear Camera

- Compact, robust construction : 9.8"L x 1.6"H, 2.8lbs
- radiation tolerance :  $2 \times 10^8$  rads
- Dose rate :  $3 \times 10^6$  rads/hr
- Wide range temperature operation
- remotely controlled

▶ Radiation-Hardened In-Air Camera

- Electrical : 90-135VAC or 195-260VAC, 18W
- Camera tube : Vidicon, Silicon Diode, Newvicon, Plumbicon, Pasecon or Lead Sulfide
- size : 2.9"H x 2.75"W x 9.75"L, 2.24lbs
- camera control : 3.75"H x 8.6"W x 12.75"L, 7.2lbs

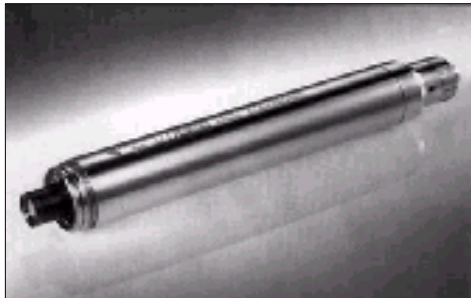


그림 14. R93 Mk3



그림 15. 70 Series

라. Bowtech

Bowtech 사에서는 다양한 수중용 카메라를 제공하고 있다. 그림 16은 Bowtech 사의 카메라를 보여주고 있다. 내방사선용으로 흑백 및 칼라를 제공하고 있으며 방사선 허용선량은  $2 \times 10^8$  rad 정도이다. 이들 카메라는 공기중이나 수중에서 사용할 수 있고 렌즈, 렌즈헤드, 제어기, 튜브, 케이블을 선택하여 사용할 수 있다. 표 6은 Bowtech 사의 수중 및 내방사선용 카메라의 특성을 나타내고 있다. 흑백 카메라의 경우 칼라 카메라에 비해 해상도 및 조도가 좋고 무게가 가벼운 장점을 가진다. 초점은 원격으로 조정하며 하우징은 스테인레스 강으로 되어 있다.



그림 16. Bowtech 사의 카메라

표 6. Bowtech 사의 카메라 특성

	High Radiation Tolerant B&W	High Radiation Tolerant Color
Radiation tolerant	$2 \times 10^8$ rad	$2 \times 10^8$ rad
Resolution	500~800 HTVL (Monochrome)	300 HTVL (Monochrome)
Sensitivity	30-45 Lux Scene	70 Lux Scene
Power	via Controller	via Controller
Focus	Remote	Remote
Optical	Wide, Narrow, Zoom, Prismatic	Wide, Narrow, Zoom, Prismatic
Size	40.5 mm X 217 mm	40.5 mm X 289 mm
Weight in Water	1.25 kg	1.6 kg
Housing	Stainless Steel	Stainless Steel
Depth	200 m	200 m

#### 마. Deep Ocean

Deep Ocean 사에서는 원자력시설에서 사용할 수 있는 수중 작업용 로봇을 개발하고 있다. 이들 로봇은 원자로나 다른 제한된 구역을 점검할 수 있도록 고안된 이동이 간편한 ROV이다. 이들중 Firefly는 size가 작기 때문에 BWR의 core plate 밑부분에서의 작업도 충분히 수행할 수 있도록 되어있다. Firefly 모든 구조의 재질은 PWR 과 BWR 시설 내에서 작동하기에 적합한 재질로 되어 있다. 두 개의 수평 thruster와 두 개의 수직 thruster가 힘의 균형을 잡아주어 제한된 지역에서도 상하좌우로 기동성 있게 작동할 수 있다. ROV 내에는 전자회로가 없으므로 고 방사능 노출지역에서도 안전하다. DOE 사의 shaft seals 는 육안으로 점검이 가능하여 수밀 파괴시 즉시 확인할 수 있다. Firefly는 쉽게 유지 보수할 수 있도록 설계되어 있으므로 기술자들이 간단한 훈련만으로도 작업할 수 있다. Firefly control system은 손쉽게 고장 부분을 파악하여 처리할 수 있고, 수월하게 부속품들을 교체, 조립할 수 있는 회로이다. 시스템의 모든 fuse 는 지상의 제어 콘솔에 위치해 있으므로 손쉽게 수리할 수 있다. firefly 시스템에는 내 방사능 비디오 카메라가 부착되어 있다. firefly의 카메라에는 위아래로 조종 가능한 램프와 light set 이 함께 부착되어 있다.



그림 17. Firefly 시스템



사. RSL(Rovtech Systems Ltd.)

Rovtech Systems Ltd에서는 원자력과 근해 산업용의 특수 CCTV 카메라 및 원격 조작 로봇을 제작하고 있다. RSL사의 SMC6911R 튜브 카메라는 중간 정도의 방사선환경에서 사용할 수 있도록 하였는데 고방사선용 내방사선 카메라에 비해 가격 경쟁력이 우수하다. 그림 18은 RSL사의 SMC6911R 카메라의 외관을 보여준다. 이 카메라는 방사선에 취약한 CMOS IC 와 IC voltage regulator 같은 소자의 사용을 피하였다. 설계는 쉽게 교환될 수 있도록 2장의 보드로 만들어져 있다. 튜브는 쉽게 교체될 수 있도록 하였고 광학 초점은 카메라의 후면에서 조정할 수 있도록 되어있다. 전원은 120V 나 240V AC로 동작되도록 되어 있고 12v DC, ±8v와 일정한 전류 구동부를 포함한 다른 전원공급원이 있다. 그리고 줌, 포커스, 자동 Iris를 원격에서 제어할 수 있도록 설계되어 있다.

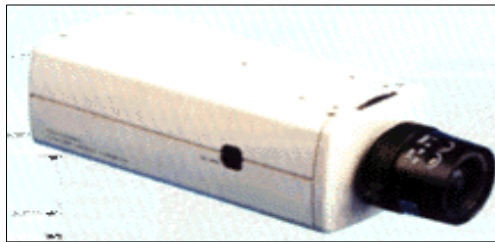


그림 18. SMC6911R Tube Camera

SMC6911 카메라의 주요 특성은 다음과 같다.

- Rugged, compact design with 2/3" tube
- No radiation-vulnerable components such as CMOS IC
- Loop-through for lens functions, with video and DC supply for auto-iris
- Optional genlock facility
- Mains or 12V DC operation
- Various connector arrangements
- Pasecon(Chalnicon) or Newvicon tube
- Switchable video gain to allow for poor lighting conditions
- Easily accessible tube racking to extend optical focus range
- Simple 2 PCB design, with ease of tube and board replacement

## 아. Sacrab II

ROV technologies 사의 수중 장비는 원자력산업과 항공우주 산업용으로 설계, 제작하고 있다. ROV technologies사의 내방사선 카메라는 튜브 타입으로 로봇에 장착하여 감시, 점검을 수행할 수 있다. 내방사선 카메라는 흑백으로 뉴비콘, 사티콘, 무형 실리콘 튜브 타입으로 최소 600 수평 TV 라인의 해상도를 가지며 5 lux 정도의 조도를 요구하며 방수용 컨테이너에 탑재된다. 이 카메라의 방사선 내구성 정도는 다음과 같다. 감마선에 대해  $10^6$  rad/hr 의 선량율에서 뚜렷한 감쇠가 없고 50R/hr의 선량율로 총선량  $10^7$  rad까지 화면의 감쇠가 일어나지 않는다. 중성자에 대해서는 300 MR/hr로 18개월 동작된 후 감쇠가 없었다.

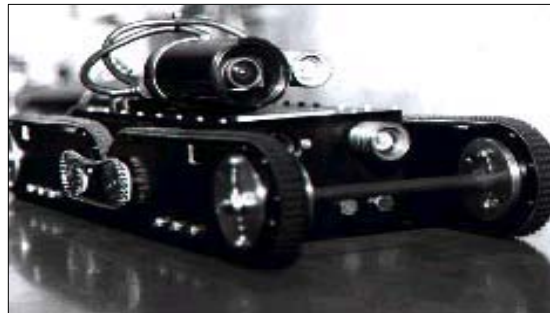


그림 19. Sacrab II에 장착된 카메라

Sacrab II에 장착된 내방사선 카메라의 특성은 다음과 같다.

- Internal : 700 horizontal TV lines,  
radiation tolerant,  
low lux,  
miniature,  
tube type with constant focus capability
- External : same as above with remote operated zoom and focus
- Low lux requirements : 5 lux, 0.3 footcandles
- gamma tolerance :  $10^6$  R/hr  
 $5 \times 10^6$  R (50R/hr)

자. Q.I Nuclear TV camera

일본의 Q.I 사에서는 2/3" 뉴비콘 튜브를 영상센서로 사용하여 내방사선 카메라를 개발하였다. 뉴비콘 튜브는 어두운 곳에서도 영상을 받아들일 수 있는 장점을 가지며 비디콘과 구동 방식은 비슷하다.

표 7. QI 사의 내방사선 카메라 특성

구 분	제 원
Camera tube	2/3" Newvicon
Scanning system	2:1 Interlace
Sync	Internal
Horizontal resolution	>550 lines
Minimum illumination	1 lux at F1.4
S/N ratio	>40dB
Lens mount	C-mount
Radiation	>10 <sup>7</sup> rad
Video output	VS 1 (±3 dB) V <sub>p-p</sub> , 75ohm
Output connector	BNC
Operating temperature	0. C - 40. C
Power	100VAC, <30VA
Size(mm)	90(W) X 80(H) X 214(L)

## 제 3 장 카메라의 구성 및 내방사화

### 제 1 절 내방사선 카메라와 일반 카메라의 비교

카메라를 이용한 CCTV 시스템은 원거리의 관찰, 보이지 않는 영역의 관찰, 인체의 접근이 불가능한 환경하의 관찰, 다수인에 의한 동시 관찰, 집중적인 감시 등 다양한 목적으로 이용되고 있다. CCTV 시스템에서 카메라는 시스템 전체의 성능을 좌우하는 중대한 요소가 되는데 카메라의 선택 방법이나 설치 방법 등에 의해 다양한 형태의 카메라가 존재하게 된다. 카메라는 피사체의 성질이나 환경조건 또는 촬상 소자 등에 따라서 여러 종류로 나누어지므로 목적이나 조건에 맞게 가장 적합한 카메라를 선택하여야 한다. 일반 산업용의 경우 카메라 시스템은 작업현장의 공정 감시, 교통 관제용 감시, 서비스업의 방범, 방재 등 인간의 눈을 대신하여 아주 유용하게 사용되고 있다. 특히, 원자력발전소와 같은 방사선 취급 시설은 사람의 접근이 제한되는 구역으로 카메라 시스템에 의한 원격 관측이 필수적이라 할 수 있다. 원자력 발전소에 적용하기 위한 내방사선 카메라는 일반 카메라와는 달리 고방사선 등의 극한 환경에서 높은 신뢰성을 갖고 동작해야 한다. 일반 카메라는 방사선환경에서 그림 20에서와 같이 방사선에 열화되어 감시 및 관측이 어렵게 된다. 내방사선 카메라는 사람의 접근이 제한되는 방사선환경에서 사람의 눈을 대신하여 원격 관측할 수 있는 장치로써 방사선 내구성 및 기능의 다양성이 요구되어 진다. 따라서 내방사선 특성이 우수한 전자 및 광학 부품이 필요하며, 원격에서 깨끗한 화질을 쉽게 관측할 수 있는 제어시스템의 기술들이 요구된다. 방사선 환경의 적용분야에 시각장치로서 요구되는 내방사선 카메라의 설계 및 제작 시에 고려되어야 될 요건들을 표 8 에 나타내었다. 카메라의 광학 및 전자부품 뿐만 아니라 신호전송을 위한 케이블 및 커넥터, 그리고 원하는 방향을 관측하기 위한 팬/틸트, 조명등이 수중 및 방사선 환경에 적합하도록 설계, 제작되어야 한다. 영상소자의 종류에 따라 카메라의 설계, 제작은 완전히 달라지게 된다. 현재 일반 CCTV 카메라용으로는 CCD 영상센서를 이용한 카메라가 가장 많이 사용되고 있고 내방사선 카메라용으로는 튜브방식을 이용한 카메라가 많이 사용되고 있다. CID 영상센서를 이용한 카메라는 CCD 카메라에 비해 방사선 특성이 개선된 것으로 내방사선 카메라용으로 일부 개발되고 있다. 이 장에서는 일반 카메라 및 내방사선 카메라의 구조 및 동작원리, 카메라에 사용되는 영상센서 및 각종 구성부품들의 특성을 살펴봄으로써 최적의

내방사선 카메라 설계 및 제작을 위한 기초로 활용하고자 한다.

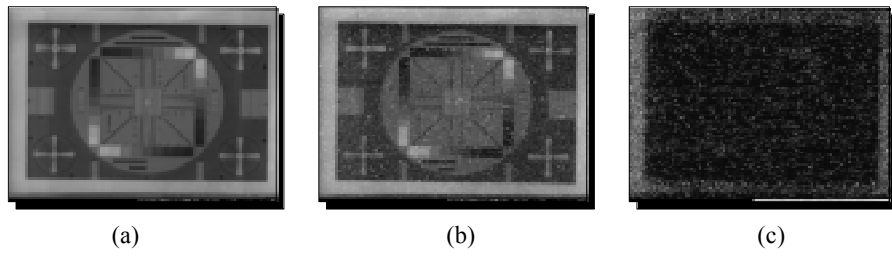


그림 20. CCD 카메라의 방사선 영향

표 8. 시각장치로서 요구되는 카메라의 요건

요 구 사 항	세 부 사 항
렌즈	- 시야각 - 줌 - 원격 포커스 - 최소 물체 거리
환경	- 수중/공기중 - chemicals - 전면부 viewing 윈도우 물질 - 온도 - 하우징 물질
크기	- 크기
해상도	- 특수 관측 필요성 - 시스템의 확대
조명감도	- 장면 밝기 - dynamic range
진동과 충격	- 부서짐 - 방향
케이블 요구사항	- 헤드와 CCU사이의 거리 - 휘어짐 반경 - 다른 시스템 요구와 호환성 - 전기적 잡음 - cable runs - 물질
칼라 또는 흑백	- 작동자의 피로도 - 화학적 또는 부식의 다양성 - 인식 속도
방사선 내구성	- 시간당 선량을 - 누적 선량 - 차폐효과 및 거리에 대해 허용되는 선량
수명	- 모든 환경적인 영향 및 사용할 때 허용되는 요구 수명
유지보수 요구	- 유지보수 주기 - 유지보수의 용이성 - 유지보수 비용 : 작업자, 물질, down time - 셋업 요구사항 - 여유분의 확보
가격 효율성	- 초기 - 유지보수
여유분 요구사항	- 작업장에서의 여유분 - 기술적 보조 - 제조자의 물량/지원
기하학적 왜곡	- 스크린 상에서 측정 - 헤드 부근의 자기 영향
방향	- 작업자 피로도 - lost operator time

## 제 2 절 CCTV 카메라의 구성

내방사선카메라 시스템은 방사선 구역의 감시 및 관측을 위한 장비로서 시스템의 구성은 CCTV 카메라 시스템과 비슷하다. CCTV 시스템은 광학정보를 받아들여 전기적인 신호로 바꾸어주는 카메라 본체와 카메라에서 획득된 정보를 관측자에게 보여주는 모니터로 구성되어 있다. 그림 22는 CCTV 시스템의 구성을 나타내고 있는데 카메라 본체, 카메라 제어 유닛, 관측유닛으로 분류되어 진다. 카메라 본체는 광학정보를 획득하기 위한 렌즈, 영상센서, 전자 회로부로 구성되어 있다. 제어유닛은 카메라신호의 증폭이나 신호처리, 렌즈 구동, 팬/틸트 제어를 위한 부분들로 구성되어 있다. 관측유닛은 관측된 영상신호를 볼 수 있는 모니터, 저장할 수 있는 VCR, 출력할 수 있는 프린터 등으로 구성된다. 내방사선 카메라 시스템의 경우 카메라 본체 부분은 방사선 환경에 놓여지고 제어유닛과 관측유닛은 방사선의 영향이 없는 구역에 놓여지므로 카메라 본체에 대한 방사선 내구성에 역점을 두고 설계/제작되어 진다. 카메라 본체는 렌즈, 영상센서, 전자회로로 구성되는데 여기에 사용되는 부품들은 방사선에 대한 내구성이 우수한 소자들을 사용하게 된다. 일반 렌즈는 방사선에 조사되면 색깔이 갈색으로 변하게 되는데 이를 방지하기 위하여 non-browning 렌즈를 사용하게 된다. 일반 CCTV 카메라에는 CCD 영상센서가 많이 사용되고 있으나 CCD 영상센서의 경우 총선량 10 Krad 급의 방사선이 조사될 경우 기능을 상실하게 된다. 반면에 튜브 방식의 영상센서는 총선량 100 Mrad 급의 방사선까지 견딜 수 있는 특징을 가지고 있다. 따라서 내방사선 카메라용으로 사용되는 영상센서는 비디콘, 뉴비콘 등의 튜브 방식 영상센서를 사용하는 것이 일반적이다. 영상센서의 종류에 따라 구동방식이 완전히 다르기 때문에 전자회로는 영상센서의 특성에 맞게 설계되어야 한다. 내방사선 카메라에는 방사선 내구성이 강한 튜브 방식의 영상센서가 이용되고 전자회로도 이에 맞게 설계/제작된다. 카메라 본체의 설계/제작시에 또한 고려되어야 할 사항은 전자부품이 방사선에 취약한 특성을 나타내는 점이다. 전자 부품 중 수동소자는 비교적 방사선에 강하나 IC와 같은 능동소자들은 방사선에 취약한 특성을 나타내고 있다. 전자부품의 방사선에 대한 취약성 때문에 카메라 본체에 들어가는 전자부품은 방사선에 강한 부품들을 사용하고 전자부품의 양도 최소화시켜 설계해야 한다.

제어유닛은 카메라 본체에 들어있는 영상소자 구동을 위한 회로와 카메라의 움직임 및 조명 제어를 위한 회로로 구성된다.

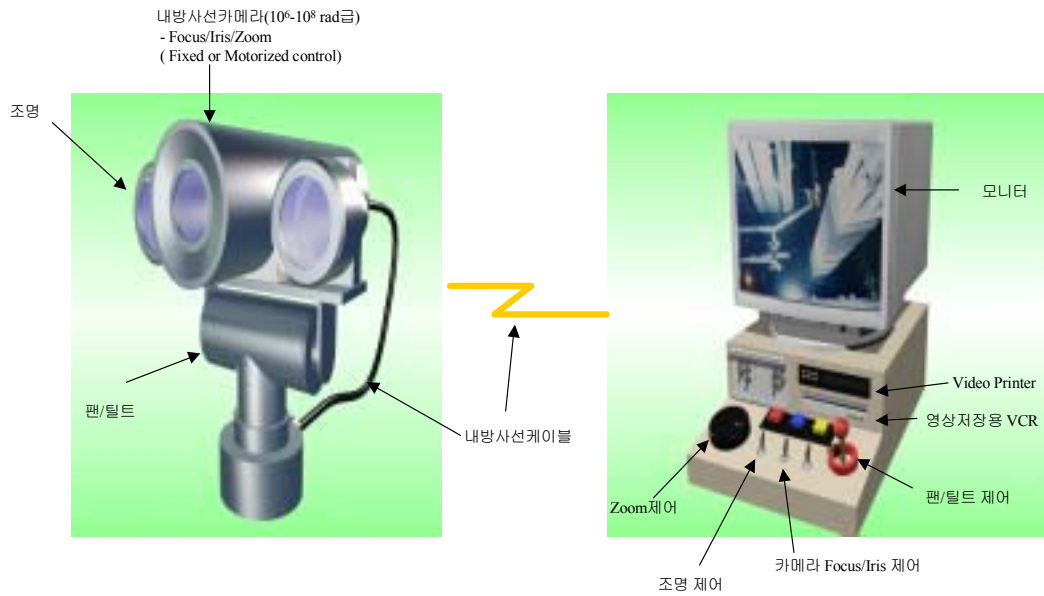


그림 21. 내방사선 카메라 개념도

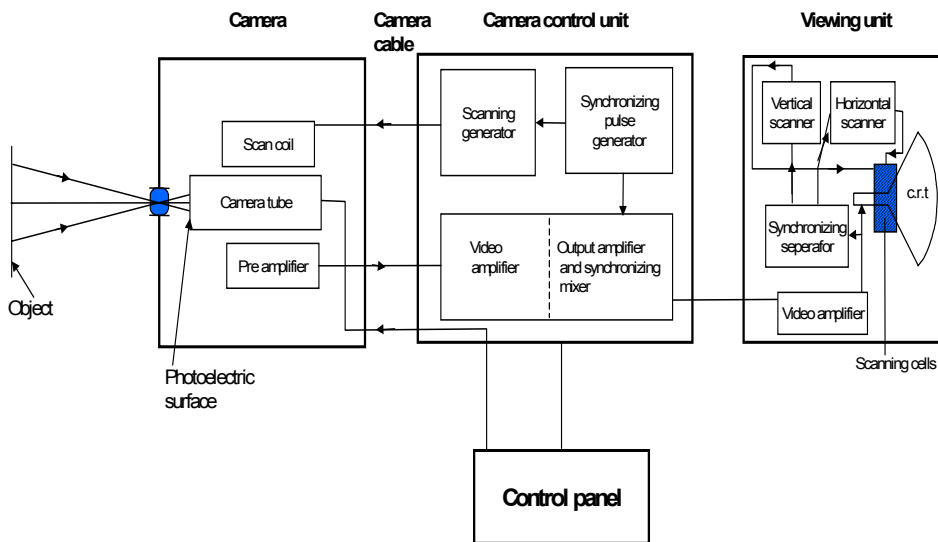


그림 22. CCTV 시스템의 구성



## 1. 렌즈

카메라 렌즈는 눈과 같은 원리로 빛을 조절하여 피사체의 형태를 영상소자의 표면에 맺히게 하는 역할을 한다. 모든 렌즈는 기본적으로 동일하게 작용하는데 렌즈는 카메라 앞에 있는 피사체에서 반사되는 빛을 모아서 뒤에 있는 영상소자에 투영시키는 구실을 한다. 카메라 렌즈는 광학유리로 구성된 렌즈, 초점장치, 조리개 및 몸체 등으로 크게 나눌 수 있다. 렌즈는 여러 장의 싱글 렌즈로 아주 정밀하게 구성되어 있으며 빛을 집광시키는 볼록렌즈와 빛을 분산시키는 오목렌즈 두 종류가 있다 빛은 프리즘과 같은 유리 속을 통과할 때는 굴절하게 되는데 볼록 렌즈에 들어온 빛은 렌즈의 두꺼운 방향으로 휘게 되고 중심부에서 수직으로 들어온 빛은 곧게 나가게 된다. 따라서 피사체의 한 점으로부터 반사되어온 빛은 초점 면에 모인다. 피사체의 높은 부분이나 낮은 부분에서 온 빛은 각기 아래 부분이나 윗 부분에 초점이 맞고 영상소자에는 반대로 상이 맺히게 된다. 반면 오목 렌즈는 빛을 분산시키므로 영상소자나 초점 면에 상을 맺지 못하나 이 렌즈를 통해서 보면 피사체가 바로 맺힌다. 볼록 렌즈 한 장으로도 영상을 잡을 수 있으나 화질이 좋지 않다. 특히, 렌즈의 주변부에서는 중심부에 비해 선명도가 떨어지고 색수차가 생기므로 볼록 렌즈와 굴절률이 다른 오목 렌즈를 결합시키면 수차가 보정된다. 그리고 렌즈를 카메라의 몸체에 부착시키기 위해 마운트가 필요한데 일반 CCTV 카메라용으로 C 마운트 렌즈가 많이 사용된다. C 마운트 렌즈의 마운트부 직경은 25.4mm이고 렌즈 설치 기준면에서 초점 면까지의 거리는 17.526mm로 정해져 있다. 렌즈의 종류는 수없이 많으며 사용 목적에 적합한 것을 선택하여 사용하는 것이 현명하다. 렌즈를 선택할 때 고려해야 할 점들을 표 9 에 보였다.

표 9. 렌즈를 선택할 때 고려해야할 점

고려해야 할 점	렌즈와의 대응
- 피사체의 크기 - 카메라와 피사체간의 거리	- 화각
- 사용하는 카메라의 종류	- 화면치수 - 고감도용 자동조리개의 필요와 불필요 - 렌즈 마운트
- 피사체의 감시 방식	- 화각 가변의 필요와 불필요 - 초점 심도, 렌즈의 밝기
- 카메라의 설치조건 - 적용방법	- 원격제어의 필요와 불필요 - 자동조리개의 필요와 불필요

광학상의 치수는 사용하는 카메라에 이용되고 있는 촬상관의 종류에 의해서 정해진다. 비디콘의 표준적인 화면 치수를 표 10에 보였다. 1인치용 렌즈의 유효 광속 직경은 16mm, 2/3인치용은 11mm로 되어 있기 때문에 2/3인치 비디콘을 사용한 카메라에 1인치용 렌즈를 사용하는 것은 가능하나, 그 반대의 경우는 광속의 일부가 렌즈, 경동 등에 차단되어 찍히지 않는 일이 일어나기 때문에 사용할 수 없다.

표 10. 비디콘의 표준화면 치수

종류 \ 화면치수	대각선(mm)	가로(mm)	세로(mm)
1인치 비디콘	15.8	12.7	9.5
2/3인치 비디콘	11.0	8.8	6.6

렌즈의 화각은 렌즈의 초점 거리(f)와 얻으려고 하는 화면 치수(가로 d X 세로 h)에 의해 정해지며 다음 식으로 나타난다.

$$\text{수평화각} \quad \theta_H = 2 \tan^{-1} \frac{d}{2f}$$

$$\text{수직화각} \quad \theta_V = 2 \tan^{-1} \frac{h}{2f}$$

이 화각을 쓰면 거리 L[m] 떨어진 곳에 있는 피사체의 촬상 범위는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\text{촬상할 피사체의 가로(수평시야)} \quad W = 2 L \tan\left(\frac{\theta_H}{2}\right)$$

$$\text{촬상할 피사체의 높이(수직시야)} \quad H = 2 L \tan\left(\frac{\theta_V}{2}\right)$$

렌즈의 초점거리 f와 피사체까지의 거리 L을 알고 있을 때 촬상할 피사체의 수평시야 W의 개략을 알려면 다음 식을 사용하면 편리하다.

$$\text{1인치 카메라의 경우} \quad W = \frac{L}{80f} \times 1000 \text{ [m]}$$

$$\text{2/3인치 카메라의 경우} \quad W = \frac{L}{110f} \times 1000 \text{ [m]}$$

내방사선 카메라의 경우, 카메라 렌즈를 원격으로 제어하여 관측하고자 하는 물체를 볼 수 있어야 한다. 빛이 카메라에 들어올 수 있도록 열려 있는 렌즈인 렌즈 구경의 크기 변화는 노출과 영상소자에 닿는 빛의 양을 조절할 수 있게 해준다. 렌즈 구경은 인간의 눈동자와 같은 역할을 하는데 빛의 밝기를 변화시킨다. 더욱 많은 빛을 받기 위해서는 넓어지고 그 반대로 좁아질 수도 있다. 그리고 초점과 줌 기능을 위해 원격으로 렌즈를 제어할 수 있어야 한다.

## 2. 영상센서

사람의 눈에 해당하는 영상센서는 카메라의 구성에 있어 중요한 역할을 담당하고 있다. 카메라 영상센서는 물체에서 반사되는 빛을 감지하여 전기적인 신호로 바꾸어 줌으로써 영상을 획득할 수 있도록 해준다. 그림 23 은 카메라의 영상센서를 소자의 특성별로 분류한 것이다. 일반적으로 카메라의 영상센서로 사용되는 소자는 고체 촬상 소자와 촬상관으로 크게 분류할 수 있다. 고체 촬상 소자는 XY어드레스방식과 신호전송방식으로 나눌 수 있다. XY어드레스 방식에는 MOS형, PCD형, CID형, SIT형이 있으며 신호전송방식으로는 CCD형, BBD형이 있고 XY어드레스 방식과 신호전송방식의 중간형으로 CPD형이 있다. 촬상관을 이용한 방식은 광전자 방출형과 광도전형이 있는데 현재 광도전형을 이용한 방식이 널리 사용되고 있다.

내방사선 카메라에 사용되는 영상센서는 촬상관 방식을 이용한 영상센서가 주로 사용된다. 촬상관은 고체 촬상 소자보다 방사선에 강한 성질을 지니고 있어 내방사선 카메라용으로는 촬상관이 널리 사용된다. 촬상관은 구조적인 특성상 크기 및 무게가 고체 촬상 소자보다 크고 무겁지만 고 방사선에 견디는 성질을 지니고 있다.

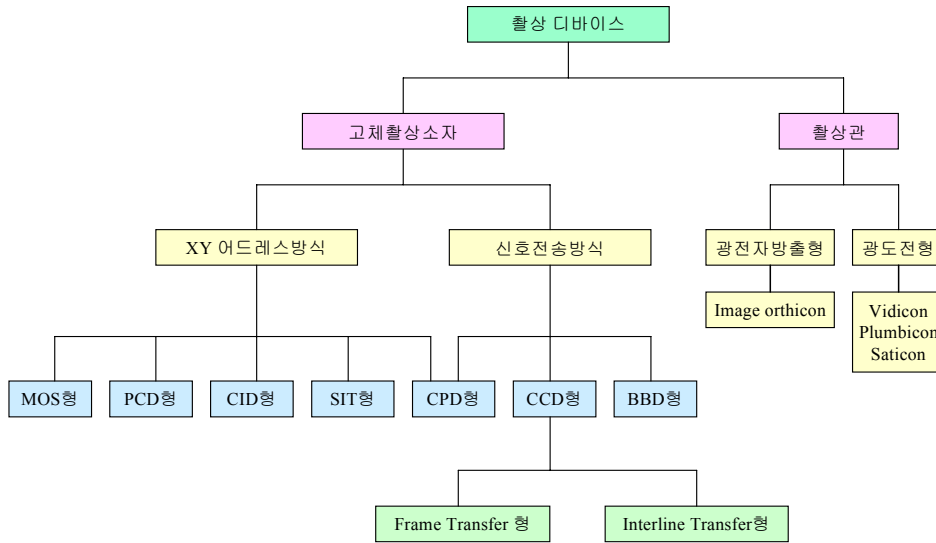


그림 23. 영상소자의 분류

일반 산업용 카메라에는 고체촬상소자인 CCD를 이용한 방식이 많이 사용되고 내방사선카메라에는 광도전형 촬상관으로 이루어진 영상센서가 많이 사용된다. CCD는 소형, 경량이며 저가인 장점을 가지고 있지만 방사선에 취약하여 일정방사선량 이상에서는 사용이 불가능한 단점을 가지고 있다. 그러나, 비디콘, 뉴비콘 등의 촬상관은  $2 \times 10^8$  rad의 방사선 허용선량을 지니고 있어 내방사선 카메라용으로 널리 사용되고 있다. 표 9는 각 촬상관의 특성을 나타내고 있다.

표 11. 튜브 타입의 비교

property	Tube type			
	Newvicon (Extended red & non browning)	Vidicon(Standard & Non-browning)	Chalnicon /Pasecon	Pasecon(High resolution)
Target material	Zinc Selenide Zinc & Cadumium tellurides	Antimony Trisulphide	Cadmium Selenides & multilayers of Calcogenide	Cadmium Selenide
Light level req'd Good pictures Usable pictures	8 lux(ER) 11 lux(B) 3 lux	130 lux 45 lux	16 lux 6 lux	20 lux 7 lux
Minimum horizontal resolution tv lines	650	600	600	800
Radiation tolerance Total dose (Si)[Co-60] Dose rate (Si)[Co-60]	2×10 <sup>8</sup> rads 1×10 <sup>5</sup> rad/hr	2×10 <sup>8</sup> rads >3×10 <sup>6</sup> rad/hr	2×10 <sup>8</sup> rads 1×10 <sup>5</sup> rad/hr	2×10 <sup>8</sup> rads 1×10 <sup>5</sup> rad/hr
Max camera operating temperature	55. C	55. C	70. C	55. C
Maximum faceplate illumination	10000	5000	10000	10000

가. 고체촬상소자

1) MOS형 영상센서

MOS형의 영상센서는 대부분 P 채널 MOS 구조의 영상센서가 주류이며, 1024화소까지 제품화되고 있다. 감광면은 모두 P/N 접합의 포토 다이오드로 되어있다. 또, 화소의 수가 적은 것으로는 C-MOS 영상센서도 제품화되고 있다. C-MOS 영상센서는 저 전압, 저 전력 동작이 가능한 점에서 앞으로 수요가 증대될 것이다.

MOS형 영상센서의 구성 예는 그림1과 같다. 포토 다이오드와 이것을 스위칭하

기 위한 MOS 트랜지스터가 매트릭스 모양으로 배열되고 주사회로가 동일 칩 위에 집적되어 있다. 주사회로는 시프트 레지스터에 의해 구성되어 있고 클록 펄스에 의해 한 방향에서 차례로 주사펄스를 발생하고, MOS 트랜지스터를 스위칭하여 포토다이오드 매트릭스로부터의 신호를 공통의 버스상에 읽어내는 것이다. 이 방식의 이점은 제조프로세서가 보통의 MOS IC 와 공통화되고, 저림화가 가능한 것이다. 결점은 스위치 MOS 트랜지스터의 게이트-드레인의 용량 결합에서 누설되는 스파이크 노이즈와 공통의 버스 라인상에 신호를 읽어냄에 의한 저감도인 점이다.

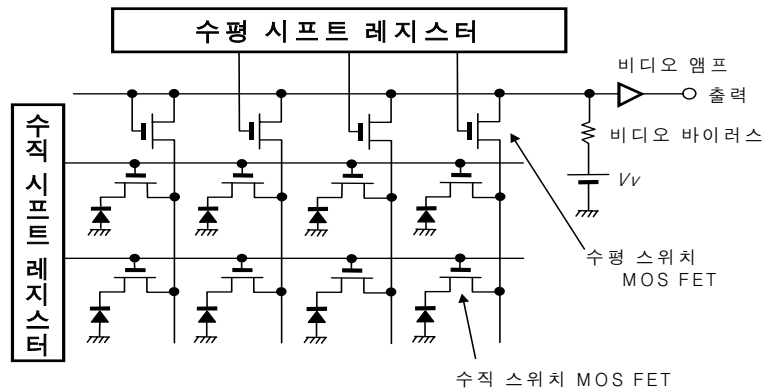


그림 24. MOS형 영상센서의 구조

## 2) PCD형 영상센서

주사회로에 플라즈마 결합 디바이스를 사용한 X-Y 어드레스 방식의 이미지 센서이다. 1 화소당 소자 구성이 간단하고 소비전력이 화소의 수에 의존하지 않는 작은 이점이 있다. 동작전압도 5V 전후로 낮고 용량 결합 노이즈가 작은 것도 이점의 하나이다. 그리고 포토다이오드의 스위치가 래터럴 트랜지스터로 되어 있고, 신호를 자기 증폭하는 이점이 있다. 그러나 감도의 균일성이 약간 좋지 않은 점이 결점이다.

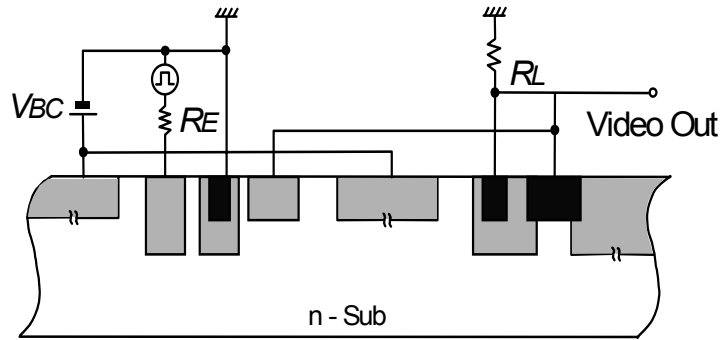


그림 25. PCD형 영상센서의 구조

### 3) CID형 영상센서

X-Y 어드레스되는 전하 축적용 MOS 커패시터에 의해 구성되고 각 감광부는 2개의 MOS 커패시터로 되어있다. 이 2개의 커패시터 사이에서는 축적된 전하를 교호로 전송이 가능하고, 한쪽이 수평 선택이고 다른 하나가 수직 선택의 커패시터로 되어 있다. X-Y의 전극에 인가되어 있는 전하가 동시에 OFF 상태로 되면 그 때까지 축적된 전하가 기판으로 유출하고 그것에 의한 변위 전류를 검출하는 것으로 신호 검출을 하고 있다. 구조 간단하며, 감도는 역시 작게 되어 있다.

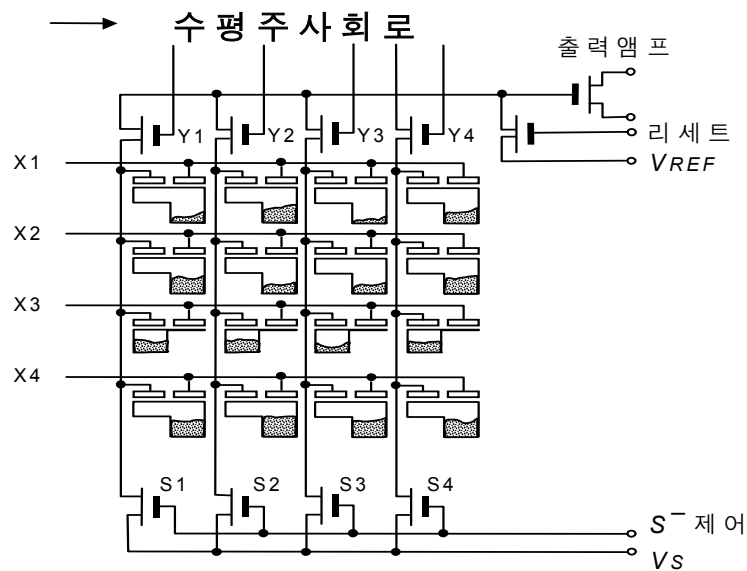


그림 26. CID형 영상센서의 구조

#### 4) SIT형 영상센서

표면의 MOS 커패시터가 축적 부분이다. 이 구조는 저 노이즈, 넓은 다이내믹 레인지, 고감도, 고속, 고 분해능의 많은 특징이 있다. 또 고속 메모리용으로도 주목된다.

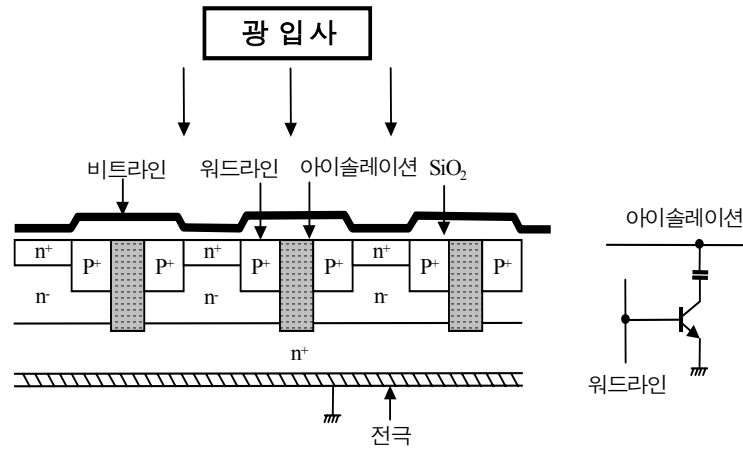


그림 27. SIT형 영상센서의 구조

#### 5) CPD형 영상센서

수직주사회로에 디지털 시프트 레지스터를 갖고, 수평 라인마다 차례로 주사한다. 그 읽어 내어진 신호 전하를 수평 CCD 레지스터에 동시에 집어넣고 그 다음 출력신호를 차례로 읽어 가는 방식이다. CPD형의 특징은 수평 레지스터에 신호전하를 동시에 넣기 전에 호수 전하라는 것을 수직 비트선에 미리 주입해서 수직 방향의 전송효율을 향상시키고 있는 점에 있다. 결점은 저조도 측에서의 리니얼리티가 약간 좋지 않은 점이다.



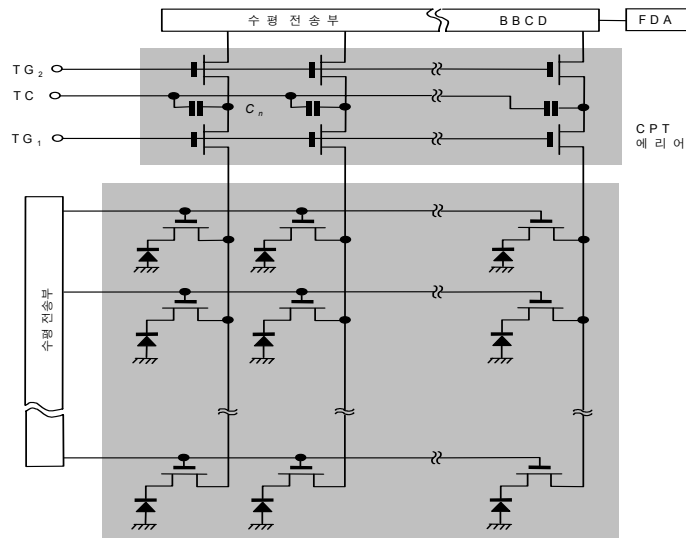


그림 28. CPD형 영상센서의 구조

#### 6) CCD형 영상센서

CCD형의 것은 N-ch MOS 구조가 주류이며, 감광부를 중앙에 끼우고, 양쪽에 CCD를 배치한 더블 리드 아웃 방식을 채용하고 있다. 현재, 감광면은 종래의 MOS 다이오우드에서 P/N 접합 포트 다이오우드로 발전되었다. 화소의 수는 최대 3648화소까지이고 최소피치는 8um 이다. 2K 화소 이상의 것에서는 수광적은 길이 방향이 약 28mm정도의 사이즈로 되도록 맞추어져 있다. CCD 이미지 센서는 구동회로가 번잡하여 동작시키기 어려운 결점이 있는데, FPN이 없는 출력 신호 레벨이 큰 점에서 출력신호처리가 간단하다. 또 고감도인 점에서 앞으로 널리 사용될 것이다. 다만 최대의 결점은 현재 상품화되고 있는 CCD 영상 센서에서는 반드시 브루밍 현상이 생겨서 일정한 노광량 이상의 과잉 빛이 입사되면 사용할 수 없게 되는 점이다.

CCD형 영상센서는 프레임 트랜스퍼 방식(FT), 인터라인 트랜스퍼 방식(IT)이 있다. 프레임 트랜스퍼 방식에서는 광센서용 어레이와 축적용 어레이가 분리되어 있고, 어는 어레이도 거의 같은 구조인 CDC에 의해 구성된다. 광센서용 어레이로 축적된 신호는 단시간에 광실드된 축적용 어레이로 전송된다. 그리고, 광센서용 어레이에서는 다음의 신호축적이 개시된다. 그사이에 축적용 어레이에서 1라인씩 신호전하가 수평 출력용 레지스터로 보내지고 차례로 읽어내어진다. 축적용 어레이의 모든 라인이 읽어내어진 후에 신호가 다시 광 센서용 어레이에서

축적용 어레이로 프레임 전송된다. 이 프레임 트랜스퍼 방식의 이점은 화소피치를 작게 할 수 있는 것에서, 감광 면적을 작게 할 수 있는 점이다. 또, 평면 구조도 간단하고 만들기 쉬운 점이다. 결점은 주사 펄스 수가 많아지는 점, 감광면상에다 결정 실리콘 전극이 있으므로 입사광 로즈가 많은 점, 축적용 어레이를 따로 설치할 필요성에서 칩의 면적이 커지는 점 등이 있다.

인터라인 방식에서는 광센서 어레이는 수직 시프트 레지스터에 인접하여 형성되어 있다. 수직 시프트 레지스터 내에서는 수평 레지스터에서 1라인을 모두 읽어 낼 때마다, 1단씩 신호가 보내진다. 이 사이에 광센서 어레이에서는 다음 신호의 축적을 한다. 인터라인 방식의 이점은 감광부를 P/N 접합 포토 다이오드 트라든가 투명전극 MOS 다이오드 등의 구조가 취하기 쉬운 점이다. 결점은 수직 레지스터와 광 센서 어레이를 교호로 배열하는 것에서 감광부의 개구율이 작아지는 점이다. 또 감광면적을 작게 하는 것에 곤란한 점도 들수 있다.

#### 가) Frame Transfer형 CCD

프레임 트랜스퍼 방식에서는 광전변환을 실행하는 수광부와 신호로서 판독하는 축적부가 분리되어 배치되어 있고, 어느 어레이도 거의 같은 구조인 CDC에 의해 구성된다. 광센서용 어레이로 축적된 신호는 단시간에 광실드된 축적용 어레이로 전송된다. 그리고, 광센서용 어레이에서는 다음의 신호축적이 개시된다. 그사이에 축적용 어레이에서 1라인씩 신호전하가 수평 출력용 레지스터로 보내지고 차례로 읽어내어진다. 축적용 어레이의 모든 라인이 읽어내어진 후에 신호가 다시 광 센서용 어레이에서 축적용 어레이로 프레임 전송된다. 이 프레임 트랜스퍼 방식의 이점은 화소피치를 작게 할 수 있는 것에서 감광면적을 크게 할 수 있는 점이다. 또, 평면 구조도 간단하고 만들기 쉬운 점이다. 결점은 주사 펄스 수가 많아지는 점, 감광면상에다 결정 실리콘 전극이 있으므로 입사광 로즈가 많은 점, 축적용 어레이를 따라 설치할 필요성에서 칩의 면적이 커지고 소자의 비율이 저하되는 점 등이 있다.

#### 나) Interline 형 CCD

인터라인 방식에서는 수광부인 광 센서 어레이는 전송부인 수직 시프트 레지스터에 인접하여 형성되어 있다. 수직 시프트 레지스터 내에서는 수평 레지스

터에서 1라인을 모두 읽어 낼 때마다 1단씩 신호가 보내진다. 이 사이에 광 센서 어레이에서는 다음 신호의 축적을 한다. 이 인터 라인 방식의 이점은 감광부를 P/N 접합 포토 다이오드라든가, 투명 전극 MOS 다이오드 등의 구조가 취하기 쉬운 점이다. 결점은 수직 레지스터와 광센서 어레이를 교호로 배열하는 것에서 감광부의 개구율이 작아지는 점이다. 또 감광면을 작게 하는 것에 곤란한 점도 들 수 있다.

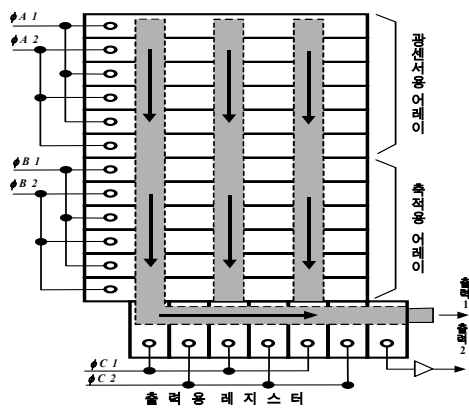


그림 29 FT형 CCD 영상센서 구조

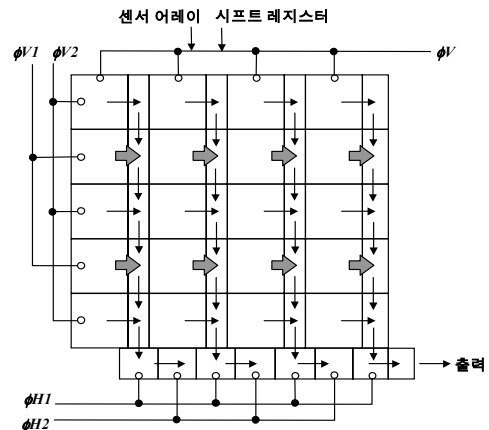


그림 30. IT형 CCD 영상센서 구조

### 7) BBD형

BBD는 콘덴서에 신호를 축적하고 이것을 스위치 작용으로 다음 콘덴서로 마치 물통 릴레이식으로 전송하는 방식이다.

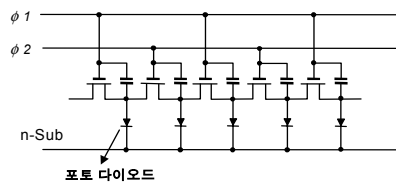
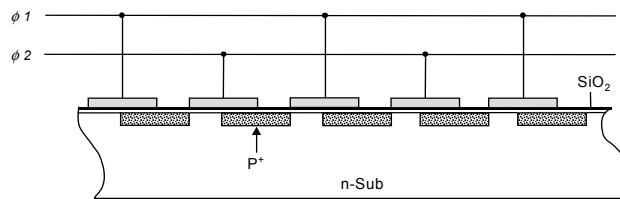


그림 31. BBD형 영상센서의 구조

## 나. 촬상관

촬상관을 이용한 영상소자로는 비디콘, 뉴비콘, 찰니콘 등이 있으며 이들 소자들은 방사선에 강한 소자이다. 현재 내방사선 카메라에 사용되는 영상센서는 비디콘, 뉴비콘 등이 많이 사용되고 있다. 비디콘의 내부 구조는 그림 32와 같으며 광영상이 맺히는 광도전 표면과 전기적인 신호로 바꾸어주기 위한 부분으로 크게 나눌수 있다. 광도전면은 면의 표면에 빛이 입사하면 주어진 빛의 밝기에 따라 전기적인 저항성분이 변하게 된다. 이 표면을 전기적인 스캔에 의해 전자가 지나게 되면 흐르는 전류가 달라지게 된다.

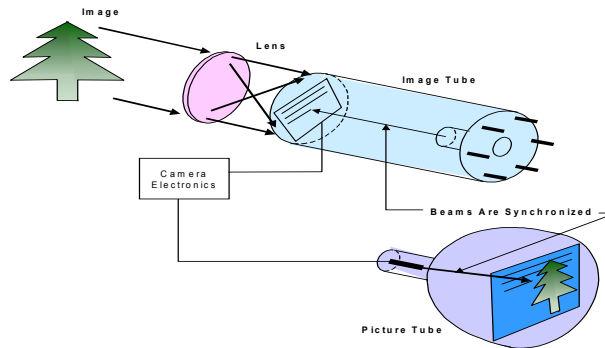


그림 32. 튜브방식 카메라의 개념도

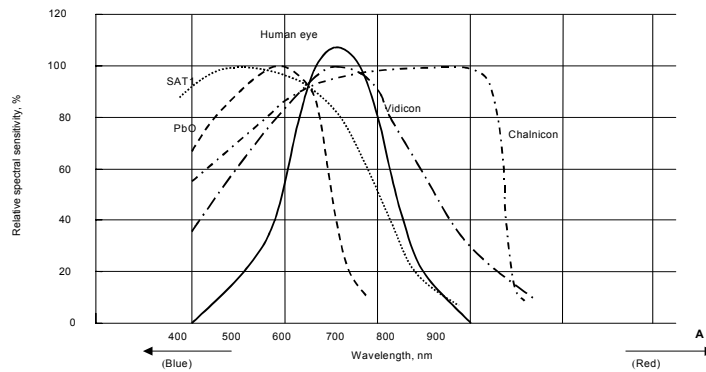


그림 33. 카메라튜브의 분광감도 특성

표 12. 각종 촬상관의 특성

	비디콘	실리콘비 디콘	뉴비콘	컬리콘	플럼비콘	사티콘	SIT
관지름	1"	1"	2/3"	2/3"	1"	2/3"	1"
집속, 편향방식	전자집속, 전자편향	전자집속, 전자편향	전자집속, 전자편향	정전집속, 전자편향	전자집속, 전자편향	전자집속, 전자편향	전자집속, 전자편향
광도전 재료	Sb2S3	Si 포토 다이오우 드 어레이	ZnSe와 ZnxCd1-xT e(In) 및 Sb2S3	CdSe	PbO	Se를 As, Te에 첨가	실리콘 비디콘에 영상증배관 을 붙임
일반적 특징	싼값 암전류, 잔류상	고감도, 근적외선 감도가 큼 암전류 잔상 약간 큼	고감도 소형 암전류, 잔상 약간 큼	고감도 소형 잔상 약간큼 암전류 작음	암전류 잔상 소 일그러짐 소 컬러 카메라에 적합	암전류 잔상 소 일그러짐 소 컬러 카메라에 적합	초고감도 화상 일그러짐 대 SN비 열등
중심부 해상도	650	750	600	600	750	800	700
상대감도	1	약 15	약 10	약 5	약 1.5	약 0.8	약 1000
상대 암전류	1	약 0.3	약 0.2	약 0.03	약 0.03	약 0.01	약 0.5
상대잔상	1	약 0.4	약 0.5	약 0.3	약 0.2	약 0.05	약 0.5
상대가격	1	약 10	약 10	약 10	약 60	약 10	약 50
카메라에 의 적용	일반용 흑백	고감도 소형 흑백, 근적외 촬상용	고감도 소형 흑백	소형 칼라	방송국, 야외용 칼라	방송국, 소형, 칼라	초고감도, 흑백 및 칼라

### 1) 비디콘

비디콘 튜브는 빛을 전기적인 신호로 바꾸어 관측하는 대상을 모니터를 통해 볼수 있도록 해준다. 비디콘튜브는 빛을 전기적인 신호로 바꾸어주는 광전변환소자, 광전변환소자에 전자를 충돌시키는 전자총, 전자의 흐름을 제어하는 가속부, 전자의 방향을 제어하는 편향부로 이루어져 2차원 영상을 받아들이게 된다

다. 비디콘 튜브의 구성은 그림 35와 같다. 비디콘은 빛을 받아들이기 위한 faceplate가 있고, 그 뒤쪽에 target plate 라고 하는 광에 민감한 물질이 있다. 이 plate 는 두 층을 가지는데 앞층은 빛을 투과하고 전기 전도성을 가진 얇은 코팅으로 되어 있다. 이 층은 tin oxide(SnO) 로 만들어져 있다. 이 층과 튜브를 둘러싸는 금속 타겟링에 의해 전기적인 접속이 이루어진다. 타겟링은 신호의 출력단이다. 타겟 플레이트의 후면은 전자총을 마주보고 있고 광에 민감한 물질인 antimony trisulfide 로 코팅되어 있다. 이 층은 광전도성을 가진다. 빛이 증가할수록 저항은 감소하므로 빛의 밝기 변화에 따라 전기적인 신호의 변화로 바꿀 수 있다. 화면이 렌즈를 통해 비디콘 타겟에 포커스되고 faceplate와 내부 전도성 표면을 통과하고 전자빔에 의해 스캔되어지는 광도전 영상 플레이트에 이르게 된다. 카메라 신호는 타겟링으로부터 얻어진다. 일반적으로 비디콘은 faceplate의 직경에 따라 3종류의 크기로 분류된다. 그림 34는 비디콘 카메라 튜브의 실제모습을 나타내고 있는데 직경은 1.2", 1", 2/3" 가 있으며 길이는 5" 에서 8" 정도이다.



그림 34 비디콘 카메라 튜브의 외관

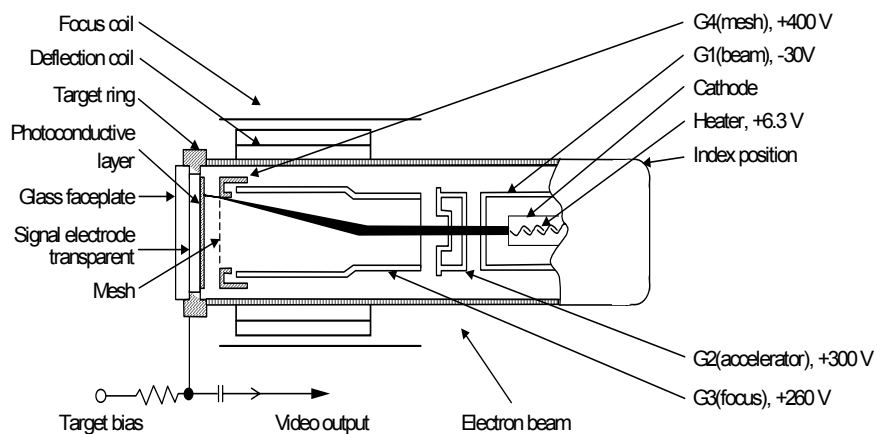


그림 35. 비디콘카메라 튜브의 내부구성

그림 36은 비디콘의 신호전류 생성과정을 보여주고 있다. 빛의 밝기에 따라 다른 저항 성분을 지닌 광도전면을 전자가 지나가게 되면 타겟링을 통해 흐르는 전류는 달라지게 된다.

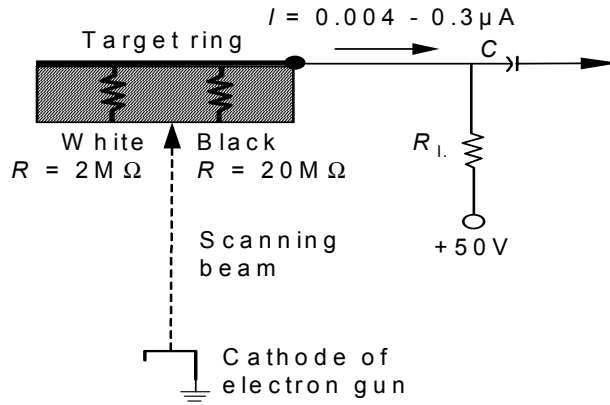


그림 36. 비디콘의 신호전류 생성

### 3. 전자회로부

카메라의 전자 회로부는 광학정보를 전기신호로 변환해 모니터를 통해 볼 수 있도록 만들어 준다. 광학정보는 렌즈를 통해 촬상관의 표면에 상이 맺혀지고 이러한 상들은 밝기에 따라 전기적인 신호의 강도를 가지게 된다. 전자 회로부는 촬상관에서 획득된 신호들을 증폭 및 변형하여 특정한 형태의 출력으로 보내주게 된다. 그림 37은 촬상관을 이용하여 광학 정보를 특정한 전기 신호로 변환해주는 전자 회로부의 구성을 나타내었다.

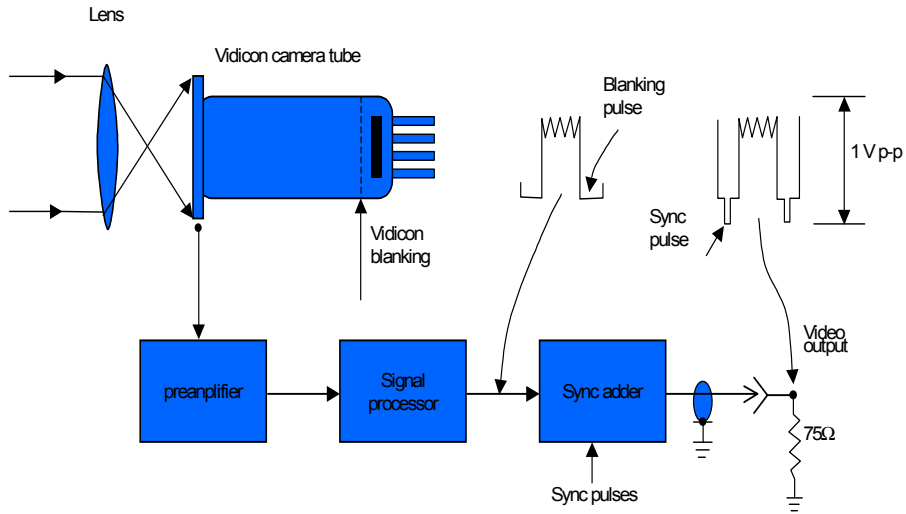


그림 37. 카메라의 composite 비디오신호 출력 과정

그림 38은 비디오 신호 출력 과정을 보여주고 있다. 사람이 눈으로 볼 수 있는 광학 정보를 촬상관을 통해 광전변환하고 일정한 형태의 신호로 처리할 수 있도록 빔 제어를 하고 증폭 및 신호처리 과정을 거쳐 비디오 출력으로 나타나게 된다.

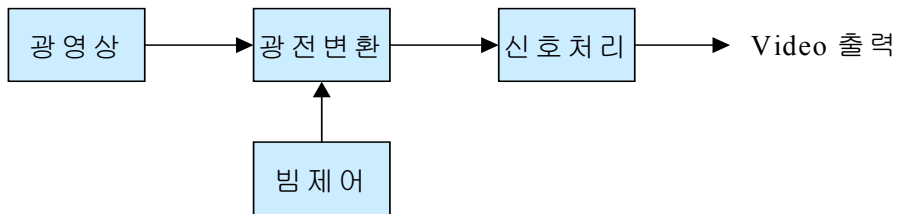


그림 38. 비디오신호 출력 과정

그림 39는 광영상이 촬상관의 표면에 이르기까지의 과정을 보여준다. 광영상은 렌즈를 통하게 되고 렌즈는 조리개를 통해 광량을 적절하게 조절하여 촬상관에서 적당한 양의 광을 받아들일 수 있게 된다.



그림 39. 광영상이 촬상관의 표면에 이르는 과정



그림 40은 촬상관에서 받은 광영상을 전기적인 신호로 바꾸어 주는 광전변환을 보여준다. 카메라 튜브는 광량에 따라 전기적인 저항성분이 달라지는 성질을 지니고 있으며 관측대상의 영상정보에 따라 촬상관의 표면은 각기 다른 저항성분의 분포로 나타나게 된다. 이러한 촬상관의 표면을 전자총의 스캔에 의해 전자가 통과하게 되면 저항성분의 분포에 따라 전류의 흐름이 달라지게 된다.

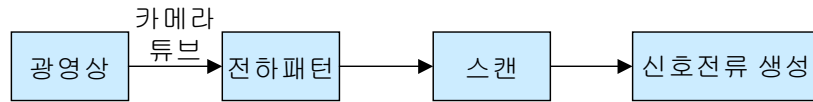


그림 40. 광전변환 과정

그림 41은 카메라 튜브에서 생성된 신호전류를 신호처리과정을 거쳐 모니터로 관측하기 위한 일정한 형태의 신호형태로 바꾸는 과정을 보여준다. 촬상관에서 생성된 신호전류는 아주 미약하여 전치증폭기를 거쳐 신호를 증폭하게 되고 카메라 특성을 보정해주는 신호처리를 거치게 된다. 그리고 동기를 추가시켜 모니터의 출력형식에 맞는 형태를 갖추게 된다. 또한 일정 레벨 이상의 신호는 클램핑시켜 기준출력에서 벗어나지 않도록 해주게 된다.

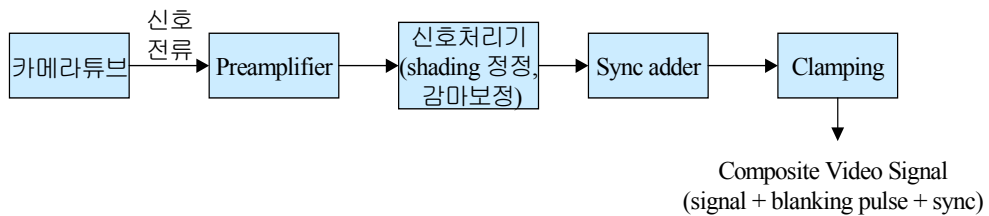


그림 41. 신호처리 과정

빔 제어는 빔전류량, 포커싱 및 카메라튜브에서 편향제어를 위해 편향코일을 이용하여 제어하게 된다.

#### 4. 조명

카메라의 피사체를 생각하는 경우 피사체가 몇 lx의 조도를 가지고 있는가는 중요하다. 일반 CCTV 흑백 카메라에서는 좋은 화상을 얻으려면 100 lx 이상의 조도가 필요하다. 보통 피사체는 그 자체가 빛을 방출하지 않기 때문에 태양 등의 자연광이나 백열등, 형광등과 같은 인공 조명을 원한다. 우리들에게 아주 익숙한 광원은 태양이다. 태양을 광원으로 보면  $3.15 \times 10^{27}$  cd, 휘도  $2.07 \times 10^5$  sb, 광속  $3.95 \times 10^{28}$  lm, 효율  $10^4$  lm/W, 색 온도 6200K, 겉보기의 크기  $1.39 \times 10^{11}$  m 라는 거대한 것이다. CCTV 시스템에서도 이것을 이용하는 것이 자연스럽게 가장 간단하다. 그러나 목적으로 하는 피사체가 옥내에 있는 경우나 야간에는 태양광이 이용될 수 없기 때문에 이를 대신한 인공조명이 필요하게 된다. 인공 조명 광원을 선정하는 경우의 바람직한 조건은 다음과 같다.

- 발광효율이 높을 것
- 시동이 쉬운 순간점 등이 가능한 것
- 칼라의 경우에는 연색성이 좋은 것
- 스폿 라이트 등 국부 강조 조명이 되는 것
- 밝기 조절이 쉬운 것

이와 같은 조건을 모두 만족하는 인공 광원은 존재하지 않기 때문에 사용 목적이 장소에 따라서 위의 조건 중에서 비교적 중요하지 않은 항목 또는 필요하지 않은 항목을 삭제하고 그 외의 조건을 만족하는 광원을 선택한다. 조명 광원으로서 백열등, 할로젠 전구, 형광등이 일반적이거나 수은등, 나트륨 램프, 크세논 램프 등도 사용되고 있다. 각종 조명의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

표 13. 백열전구의 특징

구 분	내 용
발광원리	텅스텐 필라멘트에 통해서 발광시키는 재래형
발광효율	10-20 [lm/W]
색온도	2800 [K]전후, 스튜디오 조명용은 3200 [K]
수명	일반적으로 1000-2000시간, 스튜디오 조명용은 칼라용에서 20-25시간, 흑백용에서 100-500시간
특징	일반으로 소형경량 대부분이 정 광원에 가깝기 때문에 배광 제어가 쉽다. 부속점등장치가 불필요 주위 온도의 영향이 작다.

표 14. 할로겐 램프의 특징

구분	내용
발광원리	백열전구의 일종, 불활성 봉입 가스 중에 첨가된 미량의 할로젠과의 순환 작용에 의해서 자외선을 방사시켜 내벽에 도포한 형광물질을 발광시킨다.
발광효율	15-30 [lm/W]
색온도	3000-3200 [K]
수명	백열전구의 약 2배
특징	백열전구와 비슷한 특징을 가진다 유리구 내벽의 흑화가 없기 때문에 수명 말기까지 광속의 저하가 매우 적다

표 15. 형광등의 특징

구 분	내 용
발광원리	저압 수은 등의 일종. 일반적으로 수은, 알콘의 혼합가스를 봉입하여 아크 방전에 의해서 자외선을 방사시켜 내벽에 도포한 형광물질을 발광시킨다.
발광효율	50-80 [lm/W]
색온도	백색 형광등 4500 [K], 주광색 형광등 6500 [K], 고황색 형광등 5000[K]
수명	10000시간 (점멸의 도수에 따라 수명이 좌우된다)
특징	확산광의 때문에 면광원을 만들기 쉽고 휘도가 낮다 집광이 곤란 텔레비전용으로 사용하였을 때 플리커가 나오므로 3상점등이나 고주파 점등을 위한 특수전원을 요한다 사용주위 온도에의 고려를 요한다. 기구의 외형, 중량 대 사용 램프의 와트수를 임의로 변경할 수 없다

표 16. 수은등의 특징

구 분	내 용
발광원리	고압 수은 증기 방전을 이용. 형광물질을 도포하고 있는가 하고 있지 않는가에 따라서 투명형과 형광형이 있다
발광효율	30-60 [lm/W]
색온도	고압수은등 5600 [K], 초고압수은등 7800 [K]
수명	9000-12000 시간
특징	백열등 보다도 대형이지만 어느 정도 집광 가능 고효율, 장수명 재시동에 특별한 장치가 필요하며 보통은 시간이 걸린다 최근 양호한 것이 나타났지만 황색성이 약간 뒤떨어진다. 비교적 소형이며 고출력의 것이 있다 방전등이기 때문에 텔레비전용의 경우 플리커가 나온다.

표 17. 나트륨 램프의 특징

구 분	내 용
발광원리	나트륨 증기 wd의 방전에 의한 발광을 이용한 것
발광효율	85-180 [lm/W]
색온도	주황색의 단색광에서 589-589.6nm의 D선을 방사한다
수명	약 9000시간
특징	효율이 매우 높다 주황색의 단색광이며 연색성은 나쁘지만 촬상에 색수차가 나오지 않는다 방전관이기 때문에 텔레비전용의 경우 플리커가 나온다. 발광관이 가늘고 길게 U자형으로 하여도 단면이 길다 램프의 수명이 비교적 길다.

표 18. 크세논 램프의 특징

구 분	내 용
발광원리	크세논 가스를 석영 발광관에 봉입한 방전램프
발광효율	25-50 [lm/W]
색온도	6000[K]
수명	2000-3000 시간
특징	연색성이 매우 우수한 백색광을 낸다 램프의 관벽 온도가 높다 수명은 백열전구보다는 길지만 수은등 보다 짧다 방전관이므로 텔레비전용의 경우 플리커가 나온다

조명하에서 피사체가 밝게 또는 어둡게 보이거나 여러 가지 색채를 가진 것으로 보이는 것은 피사체에 특유한 반사, 흡수, 투과 특성이 있기 때문이다. 표 19에 여러 가지 물질의 반사, 투과, 흡수율을 보였다. 일반 피사체의 평균적인 반

사율은 50%라고 생각하고 검토하면 좋을 것이다.

내방사선 카메라의 조명으로는 백열전구와 특성이 비슷하면서 성능이 우수한 할로겐 램프가 많이 사용되고 있다.

표 19. 여러 가지 물질의 반사, 흡수, 투과율

		반사율		투과율		흡수율
		정반사	확산반사	정투과	확산투과	
투명, 반투명 재료	지표의 공기 맑은 날			90		10
	증류수	(2)		75		25
	해수	(2)		45		55
	무색투명유리	8-10		80-90		5-10
	담유색 편면 불투명유리	4-5	10-20	5-20	50-55	8-12
	백색화 용지, 켈트지		75			25
	백목면포		50-70	0.3-12	27-40	2-5
불투명 재료	알루미늄(보통품, 정반사면)	60-73				27-40
	유리거리(정반사면)	82-88				12-18
	유연(확산면)		4			96
	석고(확산면)		87			13
	목재(백목)		40-60			40-60
	백벽		60			40
	붉은 벽돌		15			85
	콘크리트		25			75
	백도료(페인트 등)	광택이 있는	60-80			15-40
	흑도료 (페인트 등)	것은 4-6	5			90-95

## 5. 팬/틸트

방사선 환경은 사람의 접근이 제한되는 구역으로 사람대신 카메라 장치나 각종 원격작업용 장치들을 이용하여 방사선에 직접 노출되지 않는 안전한 지역에서 원격관측 및 원격작업을 수행하게 된다. 내방사선 카메라의 경우 단순한 관측뿐만 아니라 원하는 구역의 관측을 위해 팬/틸트 장치를 이용하게 된다. 팬/틸트는 좌우 및 상하 회전에 의해 작업자가 관측하고자 하는 방향으로 움직일 수 있는 기능을 갖추고 있다.

### 제 3 절 카메라의 방사선 영향 및 내방사화 방법

카메라를 구성하는 광학부품이나 전자부품들이 방사선에 피폭될 때 이온화나 격자결함 등과 같은 방사선 손상에 의하여 그 동작이나 특성이 변화하는 사실은 잘 알려져 있다. 방사선에 의한 물질의 영향은 물질의 구성 성분이나 형태 등에 의해 달라지는데 카메라 부품들의 오동작 및 결함은 심각한 문제가 될 수 있다. 카메라를 구성하고 있는 전자부품 중 저항이나 커패시터 같은 수동소자들은 방사선에 잘 견디나 IC 같은 능동소자는 방사선에 취약한 것으로 알려져 있다. 아래 그림은 전자부품의 방사선 내구성 정도를 나타내고 있다. 내방사선 카메라는 카메라 구성부품들을 방사선에 강건한 소자들을 사용함으로써 방사선 환경에서 정상적인 동작을 유지할 수 있도록 회로를 구성하여야 한다.

#### 1. 카메라 부품의 방사선 영향

물질이나 전자부품에 입사한 방사선은 그 종류나 에너지 범위 등에 따라 여러 형태의 상호작용을 일으키게 되고 하전 입자나 고속 중성자에 의한 displacement effect와 광자나 저에너지 전자선에 의한 이온화 효과에 의한 방사선 피폭의 영향이 나타나게 된다. 방사선에 의한 이온화 효과는 주로 입사한 방사선에 의하여 생성되는 전자와 정공 쌍들에 의하여 전자 부품이나 시스템의 전기적 요소들의 값을 변화시킨다. 주된 변화로는 charge carrier의 증가로 인한 전기 전도도의 증가, 절연체내의 포획된 전자의 생성으로 인한 전기장의 형성 및 화학적인 변화 등이 있다.

#### 가. 방사선이 진공관에 미치는 영향

1960년대 Admiral Corporation에 의해 실험에서 진공관이 방사선에 노출되었을 경우 다음 3가지 정도의 피해 영향 메카니즘이 발생되었다.

- 중성자의 피폭으로 여러 물질 내에 상시 고방사선 형성
- 방사선 피폭시 또는 그 후에 전기적 특성 변경
- 잘 부서지게 되거나 많은 경우에 완전한 기계적 피해



## 나. 방사선이 반도체에 미치는 영향

바이폴라 트랜지스터가 방사선에 노출될 경우 받게되는 가장 큰 두가지 영향은 이득(gain)의 감소와 전류누설(current leakage)의 증가이며, 저 전류에서 동작하는 장비는 고전류에서 작동하는 장비보다 더 큰 영향을 받게 된다. 바이폴라 트랜지스터로 구성된 선형적인 집적회로-OP Amp나 비교기-의 경우 부품설계와 구조에 따라 총 방사선량에 매우 민감하다. MOS transistor나 IC의 경우는 0.001 Mrad의 총감마선량에 영향을 받기도 하고 고화된 MOS는 10Mrad에서 손상이 발생하는 등 영향을 받는 범위는 매우 넓다.

반도체 부품은 온도, 전압, 및 전자기파 등의 외부요인에 의해 동작에 영향을 받기 쉬운 특성을 가지고 있으며, 특히 방사선에 의해 심각한 손상을 입게 된다. CMOS형의 IC는 방사선에 가장 쉽게 영향을 받는 부품 중 하나로 구조적인 특성상 방사선에 의한 이온화로 전하의 흐름이 변화하여 동작점이 변화되어 본래의 기능을 상실하게 된다. 트랜지스터는 부품의 종류에 따라  $10^4 \sim 10^9$  rad의 방사선량에 의해 영향을 받게 된다. 영상센서의 경우에는 표와 같은 방사선 영향이 나타난다. CCD는  $10^4$  rad 정도의 방사선이 누적되면 기능을 상실하게 되고 튜브 방식의 영상 센서는  $2 \times 10^8$  rad 정도의 방사선 누적에 의해 기능을 상실하게 된다. CCD는 MOS형의 집적 회로이고 MOSFET와 거의 같은 방사선 허용정도를 가지는데 방사선에 의해 잡음 레벨이 증가하고 전하 전송효율이 떨어지게 되어 어느 정도 이상의 방사선이 조사되면 성능은 급속히 떨어지게 된다. 튜브 방식의 영상 센서는 CCD 영상소자에 비해 방사선에 강인한 특성을 지니므로 고 방사선 환경의 원격관측 및 감시를 위해서는 튜브방식의 카메라를 사용하여야 한다.

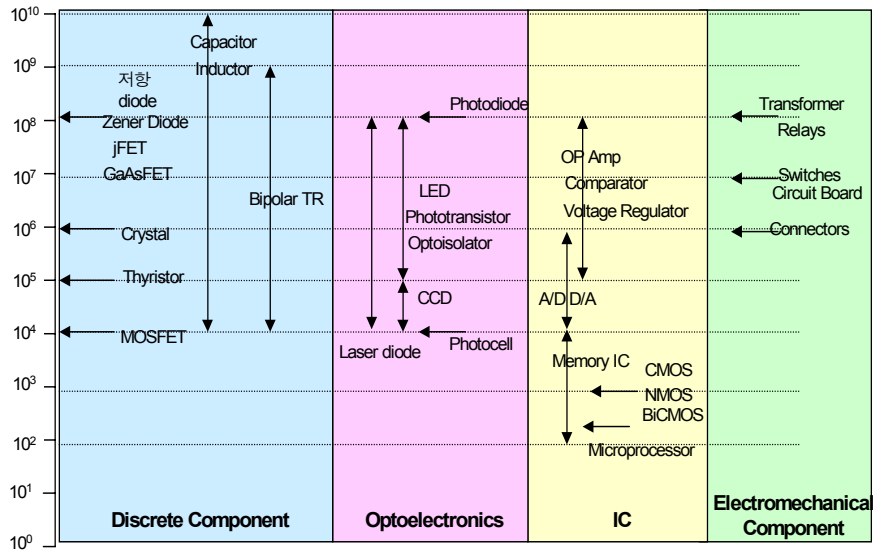


그림 42. 전자부품의 방사선 특성

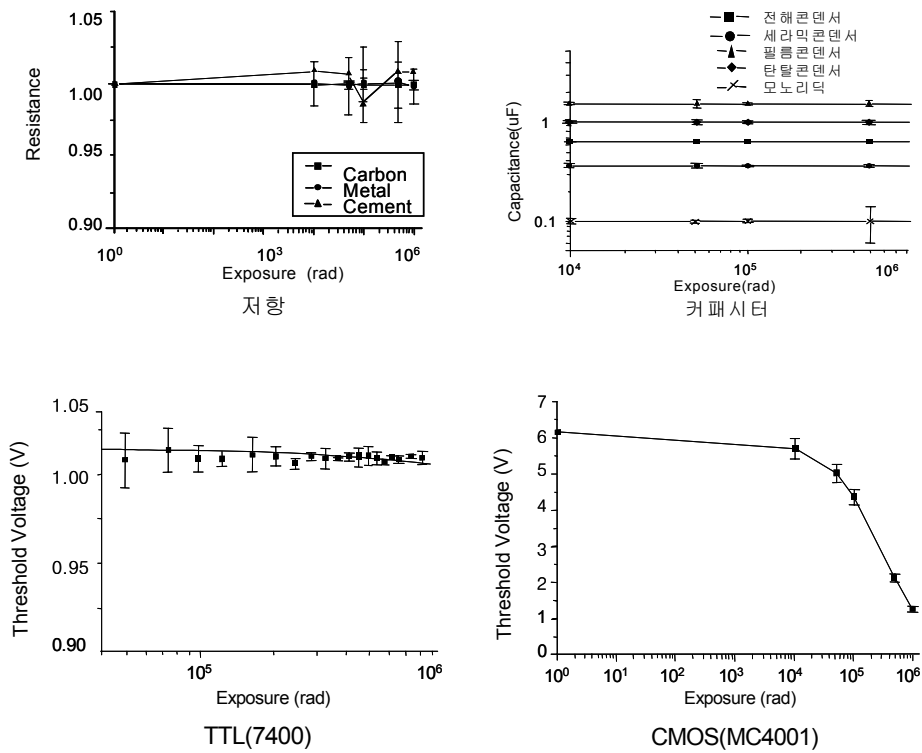
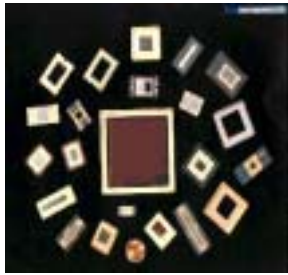
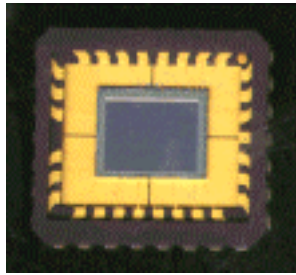


그림 43. 전자부품의 방사선 조사결과



CCD 영상센서



CID 영상센서



VIDICON 영상센서

그림 44. 각종 영상센서

표 20. 영상소자의 방사선 특성평가

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

표 21. 전자부품의 방사선 특성

구분	부품	방사선량 (rad)	파라미터
Discrete Component	Resistor	$10^8$	resistance
	Capacitor	$10^4 \sim 10^{10}$	capacitance, breakdown voltage, dielectric loss, leakage current
	Inductor	$10^4 \sim 10^{10}$	inductance
	Diode	$10^8$	breakdown voltage, leakage current, forward voltage drop
	Zener diode	$10^8$	zener voltage, leakage current, forward voltage drop
	Bipolar TR	$10^4 \sim 10^9$	gain, leakage current, breakdown voltage, saturation voltage
	MOSFET	$10^4$	threshold voltage, breakdown voltage, gain, leakage current
	JFET	$10^8$	leakage current, gain
	GaAsFET	$10^8$	pinch-off voltage, leakage current
	Thyristor	$10^5$	trigger voltage, holding current, leakage current
	Crystal	$10^6$	oscillation frequency
Opto-electronics	LED	$10^5 \sim 10^8$	brightness
	Photodiode	$10^8$	responsivity, dark current
	Phototransistor	$10^5 \sim 10^8$	responsivity, gain, leakage current
	Optoisolator	$10^5 \sim 10^8$	responsivity, gain/output signal level, leakage current
	Photocell	$10^4$	efficiency
	CCD	$10^4 \sim 10^5$	charge transfer efficiency, dark current, flatband voltage
	Laser diode	$10^4 \sim 10^8$	output power
IC	OP AMP	$10^5 \sim 10^8$	open loop gain, input offset voltage, input currents, supply current
	Comparator	$10^5 \sim 10^8$	input offset voltage, input currents, supply current
	Voltage regulator	$10^5 \sim 10^8$	output voltage, current capability, quiescent current
	D/A, A/D	$10^4 \sim 10^6$	threshold voltage, calibration drift
	Bipolar IC		gain, input currents, various others
	Microprocessor	$4 \times 10^2$	all operating parameters
	Memory IC	$10^2 \sim 10^4$	integrity of stored data, 모든 동작파라미터
	CMOS	$10^3$	threshold voltage, 모든 동작파라미터
	NMOS	$10^3$	threshold voltage, 모든 동작파라미터
BiCMOS	$10^3$	모든 동작 파라미터	
Electro-mechanical components	Connectors	$10^6$	contact resistance, insulation between terminals
	Transformer	$10^8$	transforming ratio, isolation
	Relays	$10^8$	insulation between terminals, solenoid operation
	Switches	$10^7$	insulation between terminals, mechanical integrity, constant resistance
	Circuit board	$10^7$	mechanical integrity, insulating properties
	Optical fibres		optical transmission characteristics, mechanical integrity

## 2. CCD 카메라의 방사선특성 실험

반도체 기술의 발전과 더불어 CCTV 카메라 시스템에 CCD가 많이 사용된

다. CCD 방식의 카메라는 소형, 경량, 저가인 장점 때문에 과거의 진공관 방식의 카메라를 대부분 대체하게 되었다. 일반 산업용으로 많이 사용되는 CCD 카메라의 구성은 그림 45와 같다.

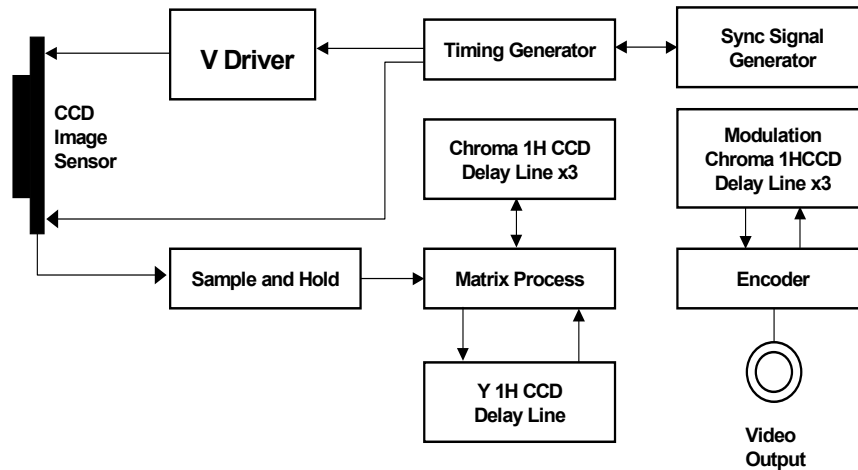


그림 45. CCD 카메라의 구성도

CCD 카메라 회로를 구성하는 부품은 저항, 가변저항, 콘덴서, 리액턴스, 다이오드, CCD, Driver, CDS/AGC IC, 코일, 트랜지스터 등이다. 카메라 부품의 방사선 특성을 분석하고 이를 토대로 CCD 카메라의 원자력 시설에서의 사용 가능성을 검토해 보기로 한다.

#### 가. CCD 카메라의 방사선 조사실험

방사선 조사 실험은 35,000 Ci의 Co-60 동위원소 시설을 이용하여 선량율은  $2 \times 10^4$  rad/hr (선원으로부터의 거리를 128cm로 둠)로 설정하여 2시간 조사시켜 총 누적선량이  $4 \times 10^4$  rad (2시간 조사) 가 될 때까지 카메라 영상의 변화를 관찰하였다. 그림 46은 CCD 카메라의 방사선조사 실험 장면을 보여준다. 실험 방법은 방사선원으로부터 128 cm의 거리에 카메라를 두고 방사선이 차폐된 원격지에서 카메라 신호의 녹화 및 관측을 수행하였다. 실험에 사용된 카메라는 삼성항공의 제품인 BW-2301ED 흑백 CCD 카메라를 사용하였다. 실험에 사용된 카메라의 특성은 표 22와 같다.

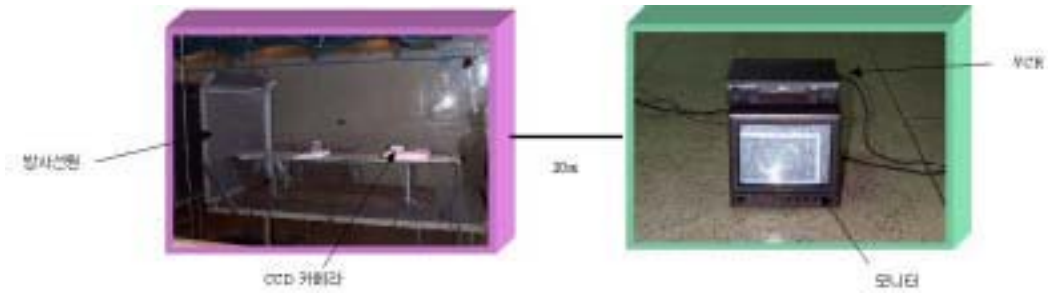


그림 46. CCD 카메라의 방사선조사 실험

표 22. 방사선조사 실험에 사용된 카메라의 특성

구분	규격
전원	DC 12V ±10%
소비전력	3.5W
촬상소자	1/3" Interline Transfer CCD, 27만 화소
촬상면적	수평 4.9 mm x 수직 3.7 mm
동기방식	내부동기
유효화소	수평 512, 수직 492
주사방식	2:1 Interlace
주사주파수	수평 15.734 KHz, 수직 59.94 Hz
영상신호출력	1 Vp-p (EIA 표준방식)
출력 임피던스	75Ω 불평형
중심해상도	수평 380 TV본
표준 피사체조도	15 LUX (F1.2 렌즈 사용할 때)
최저 피사체	0.08 LUX (F1.2 렌즈 사용할 때)
윤곽보정	내장
S/N	50dB (AGC off시) 이상
Electronic shutter	1/60 - 1/100,000
Lens Mount	C/CS-Mount
동작 보증온도	-10 °C - 50 °C
동작 주변습도	30% - 90%
외형 size	50(W) X 50(H) X 125(L)
중량	0.2 kg (Lens 제외)

## 나. 실험결과

방사선 조사 실험 과정 및 결과는 다음과 같다. 먼저 방사선이 조사되지 않은 상태에서 카메라 신호의 관측 및 녹화를 수행하였다. 방사선 조사전의 영상은 그림 47과 같으며 영상신호 출력 파형은 그림 48과 같다. 20 krad/hr의 선량을로 방사선을 조사시킨 직후 카메라의 출력영상은 그림 49와 같이 전체 화면에 걸쳐 white noise가 발생하는 것을 보았다. 이러한 현상은 시간이 경과할수록 심해져 화면 전체에 걸쳐 white noise의 양이 많아지는 것을 관측하였다.

30분동안 방사선을 조사한 후 방사선원을 제거했을 때 화면에 나타나던 white 잡음이 없어지고 정상 영상에 화면에 나타나는 것을 보았다. 선량을 효과에 의해 white 잡음이 발생함을 알 수 있다. 그리고 다시 5분 후 다시 방사선을 조사시키자 화면에 white noise가 발생하는 것을 관측하였다. 이 결과로 CCD 카메라는 10 Krad 까지는 방사선에 의해 기능이 상실되지 않고 선량율에 의해 심하게 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 약 1시간 40분 경과 후 30 Krad의 방사선이 조사된 후 화면의 상이 완전히 사라지는 것을 발견하였다. 카메라를 구성하는 부품의 손상에 의해 카메라의 기능이 상실되었다. 방사선 조사 후 약 5시간의 시간이 지난 후에 카메라의 출력에서 부분적 회복현상이 나타남을 발견하였다. 실외의 굉장히 밝은 곳은 잡음이 섞인 영상이 나타나고, 실내와 같은 어두운 곳의 영상은 전혀 나타나지 않았다. 1일 경과 후에도 5시간 경과 후와 같은 영상이 나타나는데 일정 시간이 경과한 후 부분적인 회복만 이루어지고 더 이상의 회복은 나타나지 않는다.

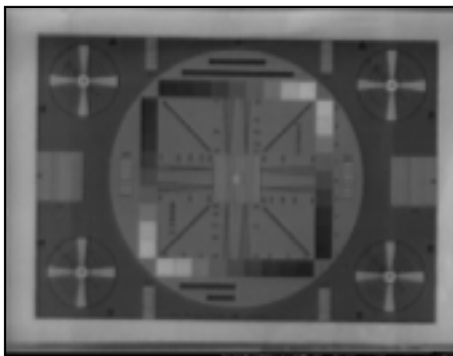


그림 47. 방사선 조사전의 화면

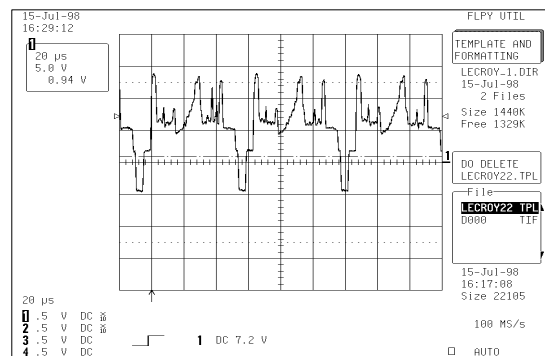


그림 48. 방사선조사전의 영상출력파형

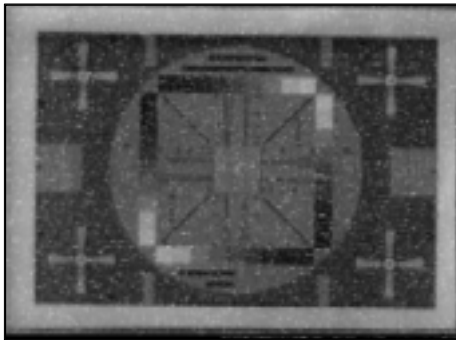


그림 49. 방사선 조사직후의 화면

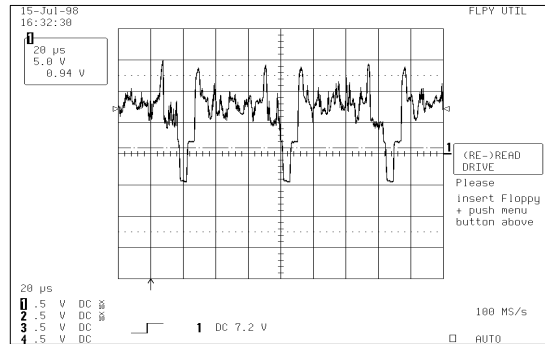


그림 50. 방사선조사직후의 출력파형

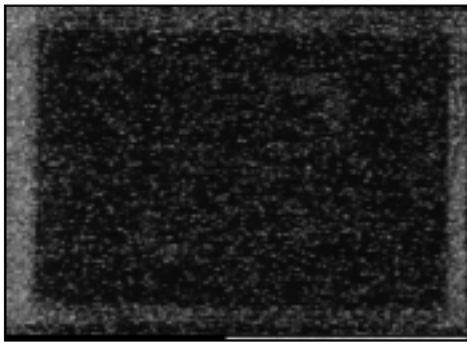


그림 51.  $3 \times 10^4$  rad 조사후의 화면

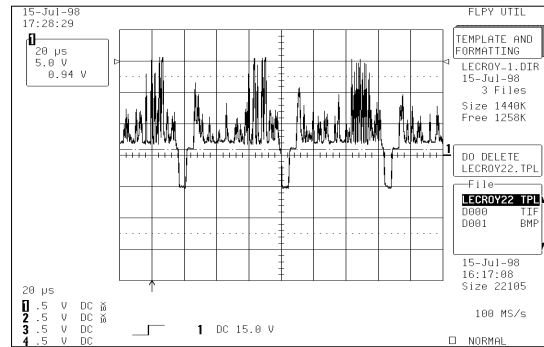


그림 52.  $3 \times 10^4$  rad 조사후의 출력파형

### 3. 카메라의 내방사화

#### 가. 전자회로의 원격화

원격화에 의한 방사선 내구성 개선 방안은 영상 획득에 필수적인 부품들만 카메라 헤드에 장착하고 그 외의 부품들은 방사선의 영향이 미치지 않는 원격지에 배치하여 방사선에 대한 내구성을 개선하는 방법이다. 비디콘 튜브와 최소의 부품만으로 구성된 camera head amplifier 회로와 horizontal deflection 회로만을 고 방사선 영역에 배치하고, 방사선의 영향이 없는 원격지에 비디오 신호 처리 회로와 전원 공급 회로 등을 배치하여 원격 모듈화 된 내방사선 카메라 시스템을 구성한다.



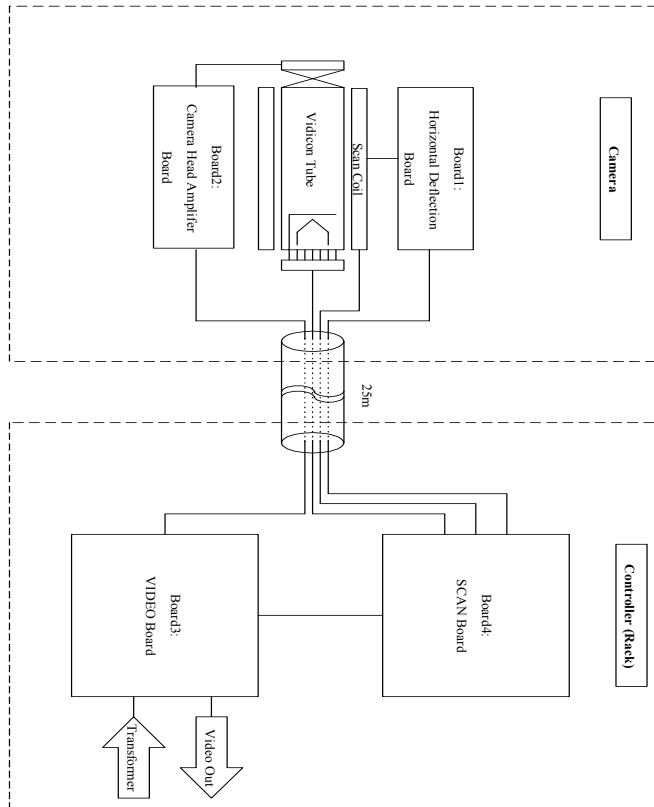


그림 53. 원격화에 의한 카메라의 내방사화

### 나. 차폐

방사선의 세기는 어떤 물질을 통과하는 동안 그 물질의 구성원자와 반응하여 감쇠된다. 이러한 현상에 의하여 방사선의 세기를 물리적으로 감쇠시키는 것을 방사선 차폐라 하며, 이때 사용되는 물질이나 재료를 차폐체라 한다. 선속밀도의 계산식에서 공간중에 두께가  $x(\text{cm})$ 인 차폐체가 존재할 경우 차폐효과로 인하여 방사선 세기가 감쇠된 비충돌 선속밀도는 다음과 같이 간단한 지수 감쇠식으로 표현된다. 선원으로부터 발생한 감마선이 차폐체를 통과할 때 물질과의 상호작용으로 일부만 투과하게 되며, 이 과정의 감마 방사선은 다음 식과 같이 감쇠된다.

$$N = N_0 e^{-\mu x}, \quad \phi = \phi_0 e^{-\mu x}, \quad I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

$N$  : 감마 입자수,  $N_0$  : 최초의 감마 입자수,  $\mu$  : 선형감쇠계수,  $t$  : 차폐 두께,  $\Psi$  : 선속밀도,  $I$  : 강도

선감쇠 계수는 감마선의 에너지  $E$ 와 차폐체의 종류에 따라 다르고 이 방법을

통해 방사선의 강도를 원하는 만큼 감쇠시키는데 필요한 차폐체의 두께를 계산할 수 있다.

표 23. 일부 감마선원의 반가층 및 1/10가층

선원	감마에너지 (MeV)	반가층(cm)			1/10가층(cm)		
		콘크리트	철	납	콘크리트	철	납
Cs-137	0.662	4.8	1.6	0.65	15.7	5.3	2.1
Co-60	1.17, 1.33	6.2	2.1	1.20	20.6	6.9	4.0
Au-198	0.41	4.1	-	0.33	13.5	-	1.1
I-192	0.13~1.06	4.3	1.3	0.60	14.7	4.3	2.0
Ra-226	0.047~2.4	6.9	2.2	1.66	23.4	7.4	5.5

방사선의 영향은 거리, 시간, 부품의 특성에 따라 다르게 나타나게 된다. 대부분의 경우 방사선 작업에서 거리, 시간은 변경할 수 없는 경우가 많으며, 내구성을 개선시키기 위해 방사선에 대한 부품의 특성을 개선시키는 방법을 사용하게 된다. 방사선에 강한 부품을 사용하거나 방사선 차폐체를 이용하여 방사선 영향을 줄이는 방법을 이용한다.

기존의 내방사선 카메라는 방사선에 강한 부품을 카메라 헤드에 장착하고, 방사선에 약한 부품은 원격지의 제어기에 탑재하여 방사선 영향을 최소화시켰다. 이 방법은 소형, 경량으로 제작될 수 있는 장점을 가지고 있으나, 특수 부품의 경우 가격이 비싸고 구입이 용이하지 않아 제작 및 유지보수가 어려운 단점이 있다. 차폐체를 이용한 방법은 상용 카메라를 차폐하여 방사선 내구성을 개선시키는데 크기 및 무게는 커지나, 제작 및 유지보수는 쉽고, 칼라 영상 구현이 용이하여 사용자의 선호도 및 경제적인 측면에서 유리한 장점을 지닌다.

방사선 차폐는 방사선이 어떤 물질을 통과하는 동안 그 물질의 구성원자와 반응하여 방사선의 세기가 감쇠되는 원리를 이용한다. 차폐체의 선형감쇠계수( $\mu$ )는 방사선 에너지의 함수로 주어지는 차폐물질의 고유한 상수로  $\mu$ 는 방사선이 물질내에서 단위길이를 통과하는 동안 물질과 어떤 상호작용을 일으켜 에너지가 감쇠될 확률이다. 반가층은 방사선의 세기를 절반으로 줄이는 데 필요한 차폐두께를 말하며 방사선 세기의 지수 감쇠식으로부터 계산된다. 차폐 두께는 식(2)와 같이 선형감쇠계수에 반비례하는데, 선형감쇠계수는 밀도의 함수로 나타나

므로 물질의 밀도가 높을수록 차폐두께는 작아진다.

$$X_{1/n} = \frac{\ln(n)}{\mu} \quad (2)$$

따라서, 밀도가 높은 텅스텐을 차폐체로 사용함으로써 차폐 두께를 줄일 수 있어 카메라 전체의 크기를 줄일 수 있게 된다. 표 24는 방사선 세기의 감쇠를 위한 텅스텐 차폐 두께를 에너지별로 계산한 결과이다. 낮은 에너지의 감마선에 대해서는 차폐체의 두께가 얇아지며, 높은 에너지의 감마선에 대해서는 차폐체의 두께가 두꺼워진다. 4MeV의 감마선에서 선형감쇠계수가 가장 작아 차폐두께는 가장 두꺼워지나, 일반적으로 1~1.5MeV 에너지의 방사선을 고려하여 차폐두께를 계산하는 것이 좋다.

표 24. 방사선 세기의 감쇠를 위한 텅스텐 차폐두께

1/n가층	차폐 두께 (cm)		
	1MeV	1.5MeV	4MeV
1/2	0.55	0.72	0.90
1/4	1.10	1.45	1.80
1/8	1.65	2.17	2.69
1/10	1.82	2.40	2.98
1/16	2.20	2.89	3.59
1/20	2.37	3.12	3.88
1/32	2.75	3.61	4.49
1/64	3.29	4.34	5.39
1/100	3.65	4.80	5.97

카메라의 차폐는 방사선의 투과를 저지할 뿐만 아니라 영상 입력통로인 광 경로도 막아버리는 역할을 하게 된다. 방사선의 투과는 저지하고 광 경로를 확보하기 위해서는 그림 54와 같이 카메라 렌즈의 바로 앞에 카메라 영상센서의 중심축과 90도 되는 방향으로 광이 통과할 수 있는 공간을 만들어 놓는다. 그리고 45도 반사경 2개를 사용하여 광축 경로를 직각으로 두 번 꺾이게 만들어 카메라의 정면에서 오는 광을 받아들이 수 있게 만든다. 광은 반사경을 통해 광 경로가 바뀌어 렌즈를 통해 카메라 영상센서에 도달하게 되고, 방사선은 반사경을 투과함으로써 차폐체 내부에 있는 카메라에는 영향을 미치지 않게 된다.

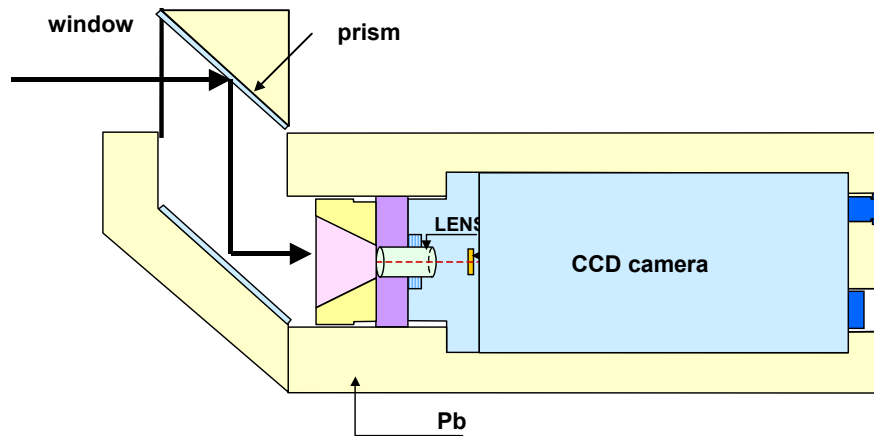


그림 54. 차폐에 의한 카메라의 내방사화 개념

본 연구에서는 방사선의 차폐와 빛의 반사 원리를 이용하여 방사선 환경에서 사용될 수 있는 카메라를 설계하였다. 카메라 설계 요건은 중수형 원자로 적용을 목표로 하였으며, 원격에서 카메라의 조작이 가능하도록 하였다. 중수형 원자로 는 방사선 누적선량이 연간 50000R 정도이며, 1년~1년 6개월의 원자로 가동 후 정기 검사가 행해진다. 카메라의 유지보수는 정기검사 기간 중에 가능하므로, 카메라의 내구성은 1년 6개월 이상이 되도록 설계되어야 한다. 즉, 방사선 누적선량이 75,000R 정도에서도 영상 관측이 가능하여야 한다. 일반 CCD 카메라의 영상관측 가능한 방사선 허용선량은 6,000R 정도이며, 18배 차폐하였을 때 108,000R 정도까지의 방사선 허용선량을 갖게 된다. 이 값은 실제 방사선 누적선량 값보다 44%의 여유를 가지게 된다. 보다 큰 여유값을 가지는 카메라를 제작하는 것이 좋으나, 시스템의 무게 및 크기를 고려하여 적용 환경에 맞는 시스템을 제작하는 것이 운용 및 유지보수 측면에서 유리하다. 영상관측 시스템은 그림 47과 같이 카메라 헤드부와 원격 제어부로 구성되어 있으며, 카메라 헤드부는 CCD 카메라, 전동 줌렌즈, 그리고 차폐체 및 반사경으로 구성되어 방사선 환경에서 영상을 획득하게 되며, 제어부는 카메라의 제어 및 영상 출력 기능을 수행한다. 본 시스템은 3cm 두께의 텅스텐으로 차폐하여 1.5MeV의 감마 방사선에 대해 18배의 차폐효과를 지니도록 설계하였고, 차폐체의 크기는 30cm×10cm×15cm 이며, 무게는 24kg 이다. 8배줌 렌즈를 장착하여 10m 정도의 거리에서 수 cm 정도의 글자까지 관측할 수 있도록 하였다.

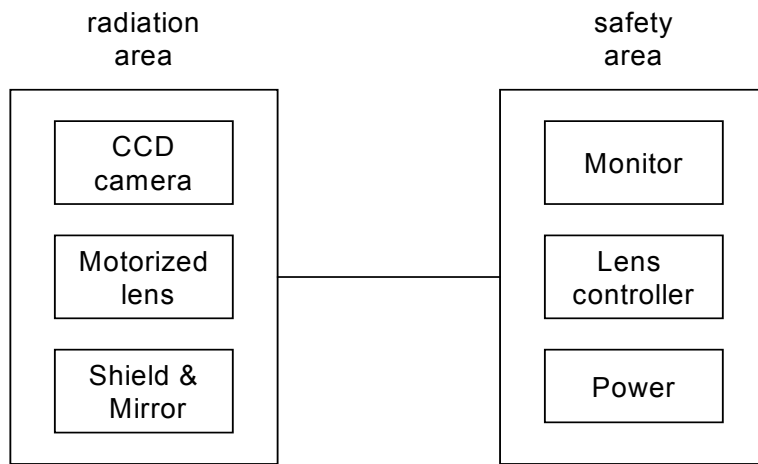


그림 55. 차폐형 내방사선 카메라 시스템 구성도



그림 56. 차폐형 내방사선 카메라 프로토타입

표 25. 차폐 카메라의 규격

항목	특징
크기	20cm×10cm×15cm
중량	24 kg
차폐체	텅스텐
영상관측 방법	이중 반사법
영상 출력	NTSC (칼라)
입력단자	전원(12V), 렌즈 제어선
출력단자	비디오(75Ω)
기능	줌, 초점 제어 가능

표 26. 사용된 카메라의 규격

구 분	내 용
Signal system	NTSC
CCD pickup element	IT 1/3" CCD
Effective pixels	768X494
Scanning area	6.0X4.96 mm
Scanning frequency	H : 15.743kHz, V : 59.94Hz
Sync system	Internal
Video output	Composite video signal
Video S/N ratio	50 dB
Hor. resolution	470 TV lines
Minimum illumination	0.8 lux
White balance	ATW/AWC selectable
Auto electronic shutter	ON/OFF selectable
AGC	ON/OFF selectable

표 27. 사용된 렌즈의 규격

구 분	내 용
focal length	6-60 mm
Maximum aperture	F=1:16.(wide) - 1:2.6(tele)
Image size	4.8X3.6
Iris range	F1.6-F22, close
Mount	CS Mounng
Filter size	Φ35.5mm P=0.5mm
Angular field of view	Tele 4.6X3.5,Wide 43.7X33
Minimum object distance	1.2 m
Weight	210 g
dimension	71X52X66 mm
focus control	± 6~12V DC typ. 195mA, approx. 5 sec
zoom control	± 6~12V DC typ. 195mA, approx. 5 sec
ambient operating temperature	-10 ~50℃

## 제 4 장 결 론

원자력발전소, RI시설, 사용후 핵연료 처리시설, 의료용 방사선 취급시설 등 방사선 관련작업은 사람의 접근이 제한되는 구역으로 이들 시설에서의 각종 작업은 원격관측 및 원격작업의 형태로 이루어진다. 원격관측 및 원격작업은 주로 시각정보에 의존하게 되며 시각정보원으로는 일반적으로 카메라와 모니터로 구성되는 CCTV 시스템이 이용되고 있다. 그러나 일반 산업용 CCTV 카메라 시스템은 방사선에 취약하여 특정 방사선량 이상의 방사선이 조사될 경우 열화되어 영상관측이 불가능하게 된다. 따라서 방사선 환경에서는 방사선에 열화되지 않고 깨끗한 영상을 관측할 수 있는 내방사선 카메라의 사용이 필수적이다. 내방사선 카메라는 일반 카메라와 동작원리는 유사하지만 방사선이라는 특수한 환경에서도 신뢰성을 갖고 동작할 수 있어야 한다. 내방사선 카메라 시스템은 방사선 환경에는 카메라 헤드, 조명, 팬/틸트가 놓여지고 방사선이 없는 원격지에서 카메라 시스템을 제어할 수 있는 원격제어 시스템으로 구성되어 진다. 방사선환경에 놓이는 렌즈, 영상소자 및 전자회로 부품, 조명, 팬/틸트 등의 부품들은 방사선에 강한 소자를 사용하고 이를 방사선이 없는 원격지에서 제어하도록 한다.

외국의 원자력 선진국에서는 인간의 접근이 어려운 극한환경에 대한 원격작업 및 원격관측 연구를 지속적으로 수행하여 왔으며, 특히 고방사선 지역환경의 작업 및 관측을 위한 내방사선 카메라에 대한 연구가 연구계 및 산업계를 중심으로 이루어졌다. 외국의 경우 총누적선량  $10^7$ - $10^8$  RAD급 내방사선 카메라를 개발하여 판매하고 있으며 사용목적에 따라 다양한 형태의 제품으로 시판 중에 있다. 내방사선 카메라는 원자력산업, 의료분야, 우주항공분야 등 적용범위는 매우 다양하다. 특히 원자력 산업 분야에서는 원자로 검사, 핵연료 교체, 사용후 핵연료 검사등 지속적인 수요가 요구되고 있는 실정이다. 그러나 국내에서는 내방사선카메라에 대한 정보가 전혀 없으며 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 내방사선 카메라의 가격은 일반 카메라에 비해 상당히 높은편이며 경제적인 사정상 내방사선 카메라의 설치 및 사용이 기피되는 경우가 있다. 그러나 방사선 환경이나 카메라의 동작 조건을 잘 고려하면 비교적 싼 가격의 내방사선 카메라도 설계, 제작 가능하다. 본 보고서에서는 외국의 내방사선카메라에 대한 기술현황을 살펴보고 관련 기술을 분석하여 내방사선 카메라의 국내 개발을 촉진시키고자 한다.



## 참고문헌

1. Bernard Grob, " Basic Television and Video Systems," McGraw-Hill Book Company, 1975
2. 원송희 편저, "CCTV 시스템 설계의 기법," 도서출판 세화, 1996
3. 김영해 편저, "센서인터페이싱," 기전연구소, 1987
4. Richard Sharp, "Radiation Effects on Electrical and Electronic Equipment," bnes, 1994
5. Henning Lind Olesen, "Radiation Effects on Electronic System," Plenum press, 1966
6. D. F. Barbe, "Charge-Coupled Devices," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1980
7. 박지형 편저, "고체촬상소자," 도서출판 우신, 1998
8. 장시영, 방사선장해방어(감독자용) 교재, 한국원자력연구소, 1998

## 부록 내방사선 카메라 관련업체

### 1. CCD Technology (R.J.Electronics)

- 인터넷 주소 : <http://www.rj-electronics.com/radiatio.htm>
- 10656 Oak Drive SE Salem, OR 97306
- Tel : 503-362-4733
- Fax : 503-362-4754

### 2. CID Technology

- 인터넷 주소 : <http://www.cidtec.com/>
- 주소 : 101 Commerce Blvd. Liverpool, N.Y.13088
- Tel : (315)451-9410
- Fax : (315)-451-9421

### 3. MegaRad Cam

- 인터넷 주소 : <http://www.emco.net/hazard.html>
- 주소 : EMCO InterTest Inc. 27-1 Ironia Road Flanders, NJ 07836
- Tel : (973)927-2900
- Fax : (973)927-8004

#### ▶ 국내관련업체

- 업체명 : 금농엔지니어링
- tel : 02-3401-7302/3
- fax : 02-3401-4998
- e-mail : heo001@users.unital.co.kr

### 4. IST-REES

- 인터넷 주소 : <http://www.istcorp.com/visuali.htm>
- ▶ 국내 업체 : (주)세트라
  - tel : (02)518-4561, 544-6427
  - fax : (02)518-4560, 549-0139
  - e-mail : setra@unitel.co.kr

#### 5. AEA Technology

- 인터넷 주소 : <http://www.aeat.co.uk/corporate/products/prodcat/ts3.htm>
- e-mail : john.asquith@aeat.co.uk
- ▶ 국내 관련 업체 : AEA Technology plc
  - tel : 02-3453-3144
  - fax : 02-3453-9772
  - e-mail: aeaseoul@bora.dacom.co.kr, jeeyoung.kim@aeat.co.uk

#### 6. Industrial Video Systems, Inc.

- 인터넷 주소 : <http://www.industrialvideo.com/nuclear.htm>
- 주소 : P.O.Box 6083, 11182 Hopson Road, Ashland, Virginia 23005
- Tel : (804)798-0557
- Fax : (804)798-6427

#### 7. Bowtech

- 인터넷 주소 : <http://www.bowtech.co.uk>
- e-mail : bowtech@bowtech.co.uk
- 주소 : Rovtech Systems Ltd  
98 Church Street Barrow-in-Furness Cumbria LA14 2HJ
- Tel : +44 1224-772345
- Fax : +44 1224-772900
- mobile tel : \*\*\*\*\*

#### 8. RSL(Rovtech Systems Ltd.)

- 인터넷 주소 : <http://www.furness.co.uk/rs/tubecam.htm>
- 주소 : Rovtech Systems Ltd  
98 Church Street Barrow-in-Furness Cumbria LA14 2HJ
- Tel : +44 (0)1229-822121
- Fax : +44 (0)1229-870208

## 9. Scarab II

- 인터넷 주소 : <http://www.rovtech.com/robot1.html>
- 주소 : R.O.V. Technologies, Inc., Franklin Road, Vernon VT 05354
- Tel : 802-254-9353
- Fax : 802-254-9354

## 10. Q.I Nuclear TV camera

- 인터넷 주소 : <http://www.qi-inc.com/nuclear.htm>
- ▶ 국내업체 : Doin International Corporation
  - Tel : 02-474-0964
  - Fax : 02-474-0965

서 지 정 보 양 식

<b>수행기관보고서번호</b>	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드
KAERI/AR-635/2002			
제목 / 부제	내방사선 카메라 기술현황분석		
연구책임자 및 부서명	김승호(양자광학기술개발팀)		
연구자 및 부서명	최영수, 조재완, 김창희, 서용칠 (양자광학기술개발팀)		
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소
페이지	p. 83	도표	있음( ○ ), 없음( )
참고사항			
비밀여부	공개( ○ ), 대외비( ), _ 급비밀	보고서종류	기술보고서
연구위탁기관		계약번호	
초록 (15-20줄내외)	<p>외국의 원자력 선진국에서는 인간의 접근이 어려운 극한환경에 대한 원격작업 및 원격관측 연구를 지속적으로 수행하여 왔으며, 특히 고방사선 지역환경의 작업 및 관측을 위한 내방사선 카메라에 대한 연구가 연구계 및 산업계를 중심으로 이루어졌다. 외국의 경우 총누적선량 <math>10^7-10^8</math> RAD급 내방사선 카메라를 개발하여 판매하고 있으며, 사용목적에 따라 다양한 형태의 제품으로 시판 중에 있다. 내방사선 카메라는 원자력산업, 의료분야, 우주항공분야 등 적용범위는 매우 다양하다. 특히 원자력 산업 분야에서는 원자로 검사, 핵연료 교체, 사용후 핵연료 검사등 지속적인 수요가 요구되고 있는 실정이다.</p>		
주제명키워드 (10단어내외)	내방사선, 카메라, 감시관측, 방사선 특성 튜브, CCD, CID, 차폐		

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.	
KAERI/AR-635/2002					
Title / Subtitle		Radiation Tolerant Camera			
Project Manager and Department		Youngsoo Choi(KAERI)			
Researcher and Department		Seongho Kim, Jaewan Cho, Changhoi Kim, Yongchil Seo(KAERI)			
Publication Place		Taejon		Publisher	
				KAERI	
Page		83 p.		Ill. & Tab.	
				Yes( <input type="radio"/> ), No ( <input type="radio"/> )	
Note					
Classified		Open( <input type="radio"/> ), Restricted( <input type="radio"/> ), ___ Class Document		Report Type	
				Technical Report	
Sponsoring Org.				Contract No.	
Abstract(15-20 Lines)		<p>Working in radiation environment such as Nuclear power plant, RI facility, nuclear fuel fabrication facility, medical center has to be considered radiation exposure, and we can implement these job by remote observation and operation. However the camera used for general industry is weakened at radiation, so radiation-tolerant camera is needed for radiation environment. The application of radiation-tolerant camera system is nuclear industry, radio-active medical, aerospace, and so on. Specially nuclear industry, the demand is continuous in the inspection of nuclear boiler, exchange of pellet, inspection of nuclear waste.</p> <p>In the nuclear developed countries have been an effort to develop radiation-tolerant cameras. Now they have many kinds of radiation-tolerant cameras which can tolerate to <math>10^6</math>-<math>10^8</math> rad total dose. In this report, we examine into the state-of-art about radiation-tolerant cameras, and analyze these technology. We want to grow up the concern of developing radiation-tolerant camera by this paper, and upgrade the level of domestic technology.</p>			
Subject Keywords (About 10 words)		radiation hardened, camera, inspection, radiation characteristic tube, CCD, CID, shielding			