

촬상관타입의 원격모듈화 내방사선 카메라시스템 연구

백 동 현*

The Study on the Radiation-Proof Video Camera system Remote Module of the Tube type

Dong-Hyun Baek*

요 약 CCD카메라는 방사선에 쉽게 열화되어 고방사선구역에서는 촬상관을 이용한 일체화된 카메라가 사용되고 있다. 이를 방사선에 강한 전자부품을 사용한 카메라헤드부와 방사선에 약한 TR, IC등을 사용한 원격제어부로 분리제작한 내방사선 카메라시스템을 구현하였다. 실험결과 전자부품 중 가장 먼저 손상된 것은 수평 및 수직 동기 발생 IC이였으며 $2 \times 10^5 \sim 10^6$ rad의 방사선이 누적되면 정상적인 기능이 상실됨을 확인하였다. 또한 원격화를 위한 신호전송 케이블은 입출력 버퍼회로를 부가하고 실드와 케이블의 페루프면적을 감소시켜 신호 손실보정 및 노이즈를 제거하였다. 따라서 전체의 시스템을 교체하는 것이 아니라 카메라 헤드부분만을 교체하여 사용할 수 있으므로 실용적이며 관리 유지비용이 많이 절감 될 것으로 기대된다.

Abstract The CCD camera is easily deteriorated by radiation, and an integrated camera using an image pickup tube is used in a high radiation area. We implemented a radiation camera system which is divided into a camera head using radiation-resistant electronic components and a remote control using weak radiation-resistant electronic components such as TR, IC, etc. According to the experimental results, the first damage of the electronic parts was IC for horizontal and vertical sync generation, and it was confirmed that if the radiation of $2 \times 10^5 \sim 10^6$ rad is accumulated, the normal function is lost. In addition, the signal transmission cable for remoteization has added an input/output buffer circuit and reduced the closed loop area of the shield and the cable to eliminate signal loss correction and noise. Therefore, it is expected that the maintenance cost will be greatly reduced and practical because only the camera head part can be used instead of replacing the entire system.

Key Words : Camera head, CCD camera, Radiation-Proof Video Camera, Remote control, Remote control cable

1. 서론

방사선에 의한 자극이 인간의 면역기능을 강하게 한다는 방사선호르미시스(Radiation hormesis)현상을 이야기하기도 하지만 방사선이 인체에 조직 반응을 일으키는 정도가 크다는 것이 일반적이다. 즉, 적은 방사선을 받는 경우에도 암이나 유전적 영향을 받아 조사선량에 따라 적게는 적색골수손상에서부터 크게는 중추계 신경손상으로 진전된다. 그리고 특정조직이나 기관이 방사선을 받으면 일

정 잠복기를 거쳐 영구불임이나 방사선폐렴사까지 일으킨다고 한다.1) 그러므로 국제방사선위원회(ICRP)는 음식물, 화장품, 장식품등에 방사성물질을 첨가할 수 없게 권고하고 있으며 유럽연합(EU)은 법령으로 금지하고 있다. 따라서 원자력발전이나 의학에서 유용하게 이용하고 있는 분야에서도 방사선을 관리하는 사람들에 대한 피폭을 최소화할 수 있어야 한다. 특히 원자로 내부와 같이 사람의 접근이 제한되는 고방사선 구역에는 무인 원격에 의한 감시와 관측이 요구된다. 이에 원격 관측

*Department of Fire&Disaster Protection Engineering, Gachon University

**Corresponding Author : Department of Fire&Disaster Protection Engineering, Gachon University(dhbaek@gachon.ac.kr)

Received November 29, 2018

Revised December 05, 2018

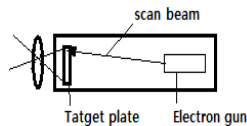
Accepted December 11, 2018

및 작업은 주로 시각 정보에 의존하게 되며 보통 카메라와 모니터로 구성되는 CCTV(closed circuit television) 시스템이 이용되고 있다. 일반적인 경우에는 부피가 작고 사용하기 편리한 CCD 카메라가 주로 이용되고 있으나 방사선에 쉽게 열화되어 고방사선 환경에서의 감시와 관측 기능을 수행하기에 부적합하다. 따라서 방사선을 사용하고 있는 구역의 감시를 위해서는 CCD 카메라 대신 촬상관을 이용한 카메라가 사용되고 있으며 제품 및 기술을 외국에 전적으로 의존하고 있어 국내 기술에 의한 수리 및 유지보수에 대한 대책이 어려운 실정이다.2) 따라서 기존의 촬상관을 사용하되 회로에 사용되는 전자부품의 내방사선에 대한 강약을 분리하여 원격에서도 제어할 수 있는 경제적인 원격모듈화 내방사선 카메라시스템에 대하여 논하고자 한다.

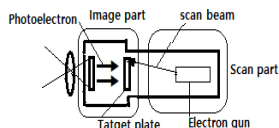
2. 촬상관과 내방사선카메라

2.1 촬상관

튜브 방식의 카메라는 Figure 1과 같이 광도전형과 광전자형의 2가지로 분류한다.



(a) Photo conductive type



(b) Aphoto electron type

그림 1. 튜브카메라

Fig. 1. Tube camera.

Figure 1의 (a)는 광도전형으로 렌즈에서 수렴한 화상을 Target plate에 받아 전자총을 이용하여 전송하는 것이다. Figure 1의 (b)는 광전자형으로 스캔부분을 영상부분을 부가한 것으로 광전자를 일정거리 떨어진 Target plate에 받아 전자

총을 이용하여 전송한다. 카메라의 구성은 크게 렌즈, 영상센서, 카메라 구동회로로 되어 있는데 렌즈는 영상센서의 표면에 빛을 모아주고, 영상센서는 빛을 전기적인 신호로 바꾸어준다. 그리고 카메라 구동회로는 영상센서에서 나오는 미약한 전기신호를 증폭하고 일정한 형태의 신호로 변환한다. 카메라를 구성하고 있는 부품 중 방사선에 취약한 것은 주로 전자 부품들이며 방사선의 영향에 의해 카메라의 동작이 불가능한 경우도 발생한다.

2.2 원격모듈화 설계와 내방사선 카메라시스템

2.2.1 전자부품의 내방사선 특성

물질이나 전자부품에 입사한 방사선은 그 종류나 에너지 범위 등에 따라 여러 형태의 상호작용을 일으킨다. 또한 하전입자나 고속 중성자에 의한 전이효과(displacement effect)와 광자나 저에너지 전자선에 의한 이온화효과에 의한 방사선 피폭의 영향이 나타나게 된다. 방사선에 의한 이온화효과는 주로 입사한 방사선에 의하여 생성되는 것으로 이온화식 화재연기감지기의 적용과 같다. 그러나 방사선이 강하면 전자와 정공 쌍들에 의하여 전기 전도도의 증가, 절연체내의 전기장 또는 화학적변화로 전자 부품이나 시스템의 전기적 요소들에 대한 값을 변화시킨다.

Table 1은 카메라를 구성하는 전자부품의 방사선에 의한 영향이다. 저항, 다이오드, LED, Trans 등의 수동소자는 108 rad(roentgen absorbed dose)의 방사선량까지 기능을 상실하지 않고 동작한다. 그러나 캐패시터, 인덕터, BJT, MOSFET, OP Amp 등은 104~1010 rad 까지 차이를 보이며 CMOS의 경우 103 rad 이상의 방사선이 누적될 경우 이의 손상에 의해 제품의 기능을 상실한다.

2.2.2 원격모듈화 설계

고방사선 구역을 감시하기 위해서는 방사선에 강한 성질을 가진 부품들로 카메라를 설계제작하여야 한다. 따라서 카메라의 촬상관으로서 고체소자로 구성되어 104~105 rad 이상의 방사선이

누적될 경우 동작이 불가능한 CCD가 아니라 방사선에 내구성이 강한 튜브방식의 촬상관을 이용하여야 한다. 그러나 내방사선 전자부품들의 가격이 비싸고 수명에 한계가 있으므로 많은 제약이 따른다. 그러므로 영상 습득부분인 촬상관과 여기서 획득한 신호를 증폭하기 위한 초단 증폭기 등에는 가능한 소량의 소자들만으로 회로를 구성하여 방사선 노출 예상구역에 장착시킨다.

표 1. 카메라부품의 방사선 영향
Table 1. Effects of Atomic Radiation of the electronic components.¹⁾³⁾

Part	Characteristics	Radiation limit [RAD]	Note
Resistor	resistance	More than 10^8	Stable
Capacitor	capacitance, breakdown voltage, dielectric loss, leakage current	Ceramic : 10^{10} Aluminium : 10^7 Polyester : $10^7 \sim 10^8$	
Inductor	inductance	$10^4 \sim 10^{10}$	According to the former and enamel
Diode	breakdown voltage, leakage current, forward voltage drop	More than 10^8	
BJT	gain, leakage current, breakdown voltage, saturation voltage	More than $10^4 \sim 10^8$	PNP are tolerable than NPN
MOSFET	threshold voltage, breakdown voltage, gain, leakage current	10^6	
LED	brightness	10^8	
OP AMP	open loop gain, input offset, input current	$10^5 \sim 10^8$	Depend on the design of the individual device
CMOS	threshold voltage, all operating parameter	10^3	Break-down voltage, forward voltage drop
Transformer	transforming ratio, isolation	More than 10^8	

그리고 나머지 영상신호 처리부분들은 방사선의 영향이 없는 곳에 설치할 수 있도록 원격 모듈화 회로를 구성한다. 이 때 촬상관 타켓면에서 나오는 신호전류의 크기가 수 μA 정도로 그 레벨이 매우 낮으므로 이 신호를 증폭할 초단 증폭기는 촬상관 튜브에 최대한 가깝게 두도록 한다. 또한 카메라헤드 부분과 원격제어부분의 원격화에 따른 케이블 용량의 변화로 인해 신호파형이 왜곡되어 영상에 대한 열화가 발생할 수 있으므로 원격화되는 지점에서는 신호를 보정하기 위한 버퍼회로를 추가하여 사용한다. 특히 수평 편향 구동 회로는 시정수가 일치하지 않을 경우 파형 왜곡이 심해지므로 초단 증폭기와 함께 카메라의 내부에 위치시킨다.

2.2.3 원격모듈화와 내방사선 카메라시스템

Figure 2는 내방사선 카메라의 원격모듈화를 구현하기 위한 블록도이다.

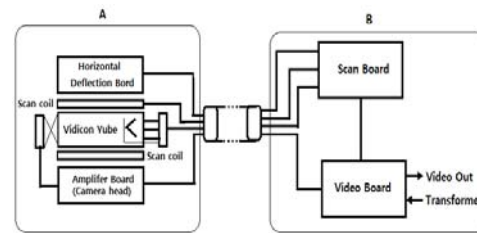


그림 2. 내방사선 카메라 원격 블록도
Fig. 2. Block Diagram of Remote Radiation -Proof Video Camera.

촬상관 튜브와 방사선에 강인한 최소의 전자부품만으로 구성된 A부분의 카메라헤드부와 B부분의 원격제어부로 구성한다. 내방사선 카메라시스템의 Amplifier회로와 Horizontal deflection 회로만을 고방사선 영역에 배치하고, 방사선의 영향이 없는 원격지에는 방사선에 약한 TR, IC등으로 구성되는 SCAN보드 및 비디오 신호처리보드와 전원공급회로를 배치하였다.

원자로 내부와 같은 고방사선 구역을 감시할 수 있도록 설계한 내방사선 카메라의 각 회로보드를 Figure 3에 나타내었다. Figure 3에서 (a)는 수평편향 구동회로보드이고 (b)는 카메라헤드 증폭

기 회로보드들로 촬상관 카메라와 같이 원자로 내부에 배치되기 때문에 방사선에서 강인한 소자들 로만 구성한 것이다.



(a) Horizontal deflection of drive circuits



(b) The camera head amplifier circuits



(c) Video signal processing and the power supply circuits



(d) SCAN circuits

그림 3. 내방사선카메라 회로보드

Fig. 3. Circuits board of Radiation-Proof Video Camera.

(c)는 비디오 신호처리 및 전원 공급회로보드이며 (d)는 SCAN회로보드로 방사선이 없는 외부에 배치되는 회로보드이다. Figure 4는 각 회로 기판을 이용하여 만든 전체 내방사선 카메라헤드부와 원격제어부이다.



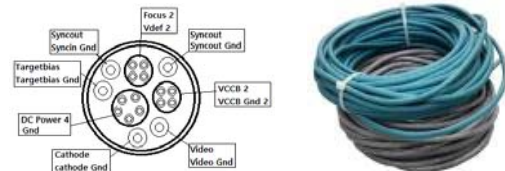
(a) Camera head part (b)Remote Control part

그림 4. 원격제어부와 카메라 헤드부

Fig. 4. Remote Control part and Camera Head part.

2.2.4 원격제어용 케이블

카메라헤드부와 원격제어부는 동축케이블과 Twist-ed pair cable을 이용하여 케이블 상호간에 발생하는 정전 잡음의 배제와 신호간섭을 막을 수 있도록 배치하였다. 아울러 Cathode blanking pulse와 Target bias의 신호가 전송되는 케이블은 페루프 면적감소를 위해 서로 인접한 곳에 위치시켰다. Figure 5는 카메라헤드부와 원격제어부와의 연결을 위해 다수의 케이블이 사용된 배치도이다.



(a) Layout

(b) Actual cable

그림 5. 원격제어케이블의 실제와 배치도

Fig. 5. Layout and Actual cable of the Remote control cable.

3. 실험 및 고찰

3.1 원격모듈화 내방사선 카메라에서의 영상신

호 해석

원격모듈화 방법으로 구성된 내방사선 카메라의 화질을 평가하기 위하여 기존의 원격화하지 않은 촬상관 카메라와 비교분석하였다. 카메라에 사용되는 신호로서 직류와 교류신호가 있는데 일반적으로 직류신호를 원격지에 전송 할 때에는 신호손실

이 아주 미약하다. 따라서 카메라에 있는 교류신호들을 측정하여 Figure 6에 나타내었다.

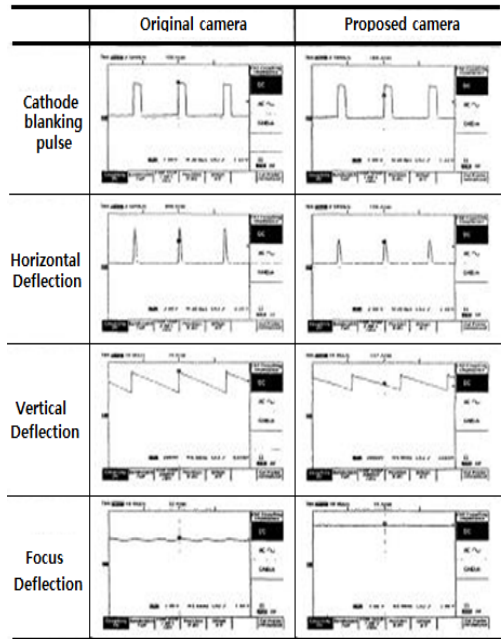


그림 6. 카메라 내부의 교류신호 비교
Fig. 6. Comparison of AC signals inside a camera.

카메라에서 측정된 신호들은 편향코일에 사용되는 수평편향신호, 수직편향신호, 및 Focus편향신호와 촬상관의 소켓에 들어가는 Cathode blanking pulse신호를 사용하였다. 기존의 근접 카메라와 제안한 원격모듈화 내방사선카메라의 신호를 비교할 때 대부분의 신호파형은 동일하였다. 그러나 수직편향신호와 Focus 신호인 경우에만 차이를 보이고 있는데 이는 기존의 카메라는 DC 18V의 전원을 사용하였으나 제안한 카메라에서는 DC 28V 전원을 사용하였기 때문이다.

3.2 촬상관Type 카메라의 내방사선 특성 관측

제안한 원격모듈화 내방사선 카메라시스템의 카메라는 원자로 내부와 같은 고방사선 구역에서 사용하기 위한 것으로 카메라의 구조뿐만 아니라 카메라에 사용되는 렌즈 역시 내방사선 특성을 지닌 것을 사용하였다.

촬상관 및 뉴비콘 등의 튜브방식 영상센서는 $2 \times 10^4 \sim 10^5$ rad 이상의 방사선이 누적될 경우 동작이 불가능한 CCD에 비해 방사선 내구성이 우수한 영상센서로 2×10^8 rad의 방사선 허용선량을 지닌다. 촬상관타입 카메라시스템은 Figure 7과 같이 영상 획득부, 영상 증폭부, 동기신호 발생부, 편향 회로부, 전원부로 구성하였다. 카메라를 구동시키기 위한 회로는 전자부품 중 방사선에 강한 특성을 가진 저항, 커패시터 등의 수동소자를 사용하였다. 그리고 방사선에 약한 특성을 가진 능동소자인 TR, IC등과 방사선에 매우 취약한 특성을 가진 MOS형 IC 부품들은 다른 부품으로 대체하거나 회로변경을 통해 방사선에 대한 내구성을 강하게 하였으며 방사선 영향이 적은 원격제어부에 배치하였다.

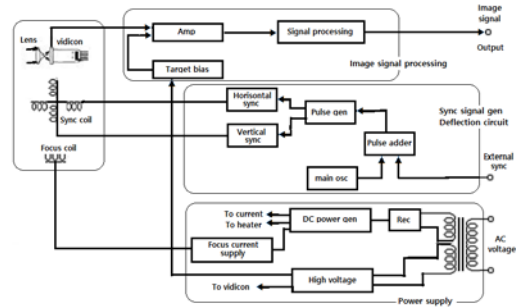


그림 7. 방사선촬영 회로 블록도
Fig. 7. Radiographic camera circuit block.

내방사선용 카메라 렌즈를 사용한 경우 렌즈 유리에 포함된 납성분의 농도로 인해 촬상관 타겟면에 맺히는 조도의 양이 감소한다. 따라서 화면이 어둡게 나타나게 되어 실제 내방사선 카메라에는 램프를 부착한 후 조명광을 이용하여 테스트 영상을 관측하였다.

Figure 8은 방사선 조사전의 카메라 영상 및 출력 파형이다. 영상이 정상적으로 나타나고 있으며 파형도 이에 따라 정상적으로 나타나고 있다. Figure 9는 제안한 방식의 카메라에서 촬영한 방사선 조사직후의 화면 및 출력파형으로 방사선 조사는 CCD카메라와 같은 조건으로 투사하였다. 화

면에는 방사선의 영향에 따른 변화를 보이고 있으며 방사선 조사시와 멈출 때의 파형이 잘 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 때 CCD카메라와는 달리 선량율에 의한 snow 노이즈가 발생하지 않았고 기존의 원격화 하지 않은 촬상관 카메라와 유사한 화질과 신호파형을 관측할 수 있었다.

Figure 10은 2×105 rad 의 방사선이 조사된 후에 나타난 영상 및 출력파형으로 화면의 전체적인 밝기가 어두워졌으나 비교적 선명한 영상을 관측할 수 있었다. 방사선의 조사가 계속 진행되자 갑자기 영상이 떨리면서 화면이 전혀 나오지 않게 되었다. 화면이 나타나지 않아 방사선에 조사된 카메라를 분석한 결과 렌즈는 방사선에 의한 손상을 받지 않았고 카메라를 구동하는 전자부품의 손상에 의해 카메라가 동작하지 않은 것으로 밝혀졌다. 전자부품 중 가장 먼저 손상을 입은 것은 수평 및 수직 동기 발생을 하기 위한 IC였다. 이 IC의 손상으로 카메라가 동작하는 것이 불가능하게 되었음을 확인하였으며 카메라 구동회로를 구성하는 다른 IC들도 방사선에 비교적 약하였고 2×105~106 rad의 방사선이 누적되면 IC의 정상적인 기능이 상실됨을 확인하였다.

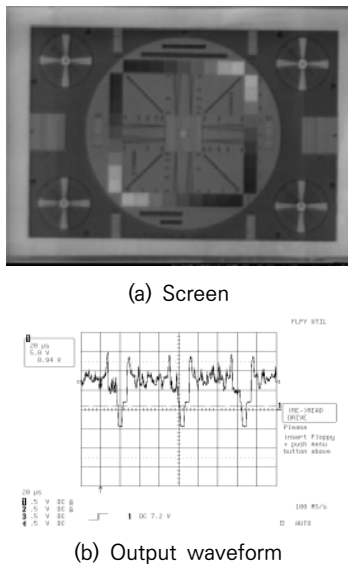
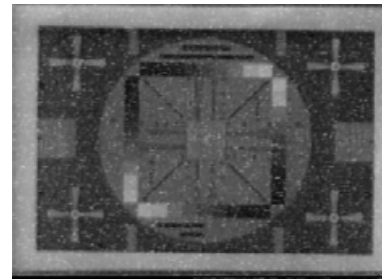
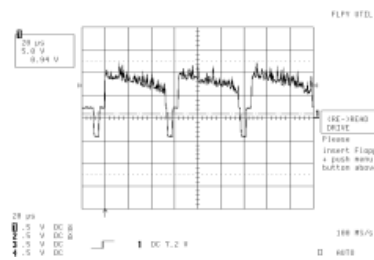


그림 8. 방사선 조사전의 화면 및 출력파형
Fig. 8. Screen and output waveform before irradiation.

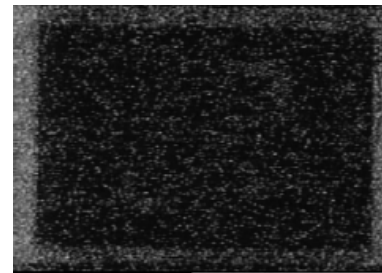


(a) Screen

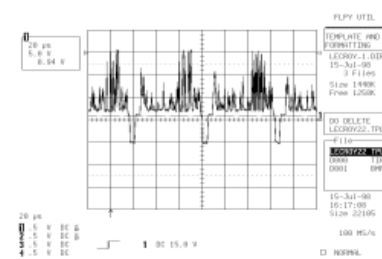


(b) Output waveform

그림 9. 방사선 조사직후의 화면 및 출력파형
Fig. 9. Screen and output waveform after irradiation.



(a) Screen



(b) Output waveform

그림 10. 105 rad의 방사선조사후 화면 및 출력파형
Fig. 10. Screen and output waveform after irradiation of 105 rad.

4. 결론

원자로 내부와 같이 사람의 접근이 제한되는 고 방사선 구역에는 무인 원격에 의한 감시와 관측이 요구된다. 따라서 기존의 일반 전자부품을 사용한 CCD카메라와 다른 촬상관타입 카메라에서 영상 획득에 필수적인 부품들만 카메라헤드부에 장착하고 그 외의 부품들은 방사선의 영향이 미치지 않는 원격지에 배치하여 방사선에 대한 내구성을 개선한 것으로 그 결과는 다음과 같다.

1. 기존의 원격화하지 않은 촬상관 카메라와 유사한 화질과 신호파형을 관측하여 제안한 원격모듈화시스템이 실용적으로 사용할 수 있는 성능이 있음을 확인하였다.
2. 카메라를 구동하는 전자부품 중 가장 먼저 손상을 입은 것은 수평 및 수직 동기 발생을 하기 위한 IC 이었으며 이 부품의 손상으로 인해 카메라 동작이 불가능하게 됨을 확인하였다. 또한 카메라 구동회로를 구성하는 다른 IC들도 방사선에 비교적 약한 특성을 나타내었고 $2 \times 10^5 \sim 10^6$ rad의 방사선이 누적되면 정상적인 기능이 상실됨을 확인하였다.
3. 2×10^5 rad의 방사선이 조사된 후 영상화면의 전체적인 밝기가 어두워졌으나 방사선의 조사가 계속 진행되자 갑자기 영상이 떨리면서 화면이 전혀 나오지 않게 되었다. 방사선에 조사된 카메라를 분석한 결과 방사선에 의한 렌즈의 손상이 아니고 카메라를 구동하는 전자부품의 손상에 의한 것으로 밝혀졌다.
4. 원격화를 위한 신호전송케이블의 길이가 길어짐에 따른 신호손실은 신호전송 및 수신을 위한 입출력 버퍼회로를 설계하여 보정하였다. 또한 배선 수가 많아짐에 따른 배선간 발생하는 잡음은 실드와 케이블의 페루프면적을 감소시켜 해소시켰다.

앞으로 전체적인 Sync신호 발생회로를 재구성하여 고화질과 방사선에 대한 내구성을 높여야 한다. 아울러 본 연구와 같이 원격모듈화시키면 카메라시스템의 수명이 다할 경우에도 전체의 시스템을 교체하는 것이 아니라 카메라헤드 부분만을 교체하여

사용할 수 있으므로 방사선에 안전하면서도 유지 관리 비용이 많이 절감 될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Y. S. Choi, Y. B. Lee, 'A Study on the Characteristics of Radiation in CCTV cameras', Korean Atomic Energy Association 99th Annual Report, 1999.
- [2] D. H. Baek, 'Ararm & Security', Dong -il Ltd, Korea. 2017.
- [3] Richard Sharp, 'Radiation Effects on Electrical and Electronic Equipment', bnes, 1994.
- [4] T. Jyunichiro. 'Radioactivity & Radiation', Ohmsha, Ltd, Japanese. 2011.
- [5] S. K. Song, C. H. Han, O. D. Gwen, G. S. Lee, E. S. Kim, S. C. Bae, J. R. CH. 'Remote Module System Design for Performance Improvement of Radiation -Proof Video Camera', Kyungbook Univ. 1999.
- [6] Kitae Hwang, 'Design and Implementation of Finger Keyboard with Video Camera', The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication VOL. 16 No. 5, 2016

저자약력

백 동 현(Dong-Hyun Baek)

[정회원]



- 전
- 국토교통부 중앙건설심의위원
 - 전국대학교소방학과 교수협의회 회장
 - 롯데월드몰타워 자문위원
 - 한국화재소방학회 회장
- 현
- 인천국제공항공사 자문위원
 - 한국법안전문포럼 공동대표
 - 소방산업공제조합 비상임이사
 - 가천대학교 설비소방공학과 교수

- <관심분야>
- 영상화재감지 및 무선감지
 - 경보 및 시큐어리티
 - 화재신호처리