

# 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기의 혼합형 센서부 개발

## Development of Mixed Sensor Parts for Integrated Radiation Exposure Protection Fireman's Life-saving Alarm

김재형\*, 이주현\*, 이승호\*\*★

Jae-Hyeong Kim\*, Joo-Hyun Lee\*, Seung-Ho Lee\*\*★

### Abstract

In this paper, we proposed the development of a mixed sensor parts for integrated radiation exposure protection fireman's life-saving alarm that can be location-tracked and irradiated. To measure radiation exposure dose, we use the PIN-Diode radiation measurement sensor module, a semi-conductive radiation measurement sensor that can minimize size and weight. The design for removing leakage current is carried out to enhance the characteristics of the radiation measurement sensor using PIN-Diode. The IMU sensor module is used to estimate the location of the current fireman at the same time as the accident estimate by adding together the data and the values for acceleration on the three axis. Experiments were conducted by an authorized testing agency to determine the efficiency of the proposed mixed sensor parts for integrated radiation exposure protection fireman's life-saving alarms. The cumulative dose measurement range was measured in the range of 10  $\mu$ Sv to 10 mSv, the highest level in the world. The accuracy was measured from  $\pm 6.3\%$  to  $\pm 9.0\%$  (137 Cs) and normal operation was found at the international standard of  $\pm 15\%$ . In addition, positional accuracy was measured within  $\pm 10\%$ , resulting in a high level of results, demonstrating its effectiveness. Therefore, it is expected that more firemen will be able to provide with superior performance integrated radiation exposure protection fireman life-saving alarm.

### 요약

본 논문에서는 위치추적과 방사선 측정이 가능한 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기의 혼합형 센서부 개발을 제안한다. 방사선피폭선량을 측정하기 위하여 크기와 무게를 최소화 할 수 있는 반도체형 방사선 측정 센서인 PIN-Diode 방사선 측정 센서모듈을 사용한다. PIN-Diode 방식의 방사선 측정 센서 특성을 높이기 위하여 누설전류를 제거하기 위한 설계를 수행한다. IMU 센서모듈을 사용하여 3축에 대한 데이터와 가속도에 대한 수치를 합산하여 사고추정과 동시에 현재 소방관의 위치를 추정한다. 제안된 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기를 위한 혼합형 센서부의 효율을 판단하기 위하여 공인시험기관에서 실험하였다. 누적선량 측정범위는 세계 최고 수준인 10 $\mu$ Sv~10mSv 범위에서 측정이 되었다. 정확도는  $\pm 6.3\% \sim \pm 9.0\%$ (137Cs) 측정 불확도가 측정되어 국제 표준인  $\pm 15\%$  이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. 또한 위치정확성은  $\pm 10\%$  이내로 측정되어 높은 수준의 결과가 도출되어 그 효용성이 입증되었다. 따라서 보다 많은 소방관에게 성능이 우수한 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기 보급이 될 수 있으리라 기대된다.

*Key words : Radiation Detection, Mixed Sensor, PIN-Diode, IMU Sensor, Cumulative Dose Measurement Range, Accuracy of Positioning*

\* Dept. Electronic Engineering, Hanbat National University  
\*\* Dept. Electronics&Control Engineering, Hanbat National University  
★ Corresponding author

E-mail : shlee@cad.hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1137

Manuscript received Dec. 2, 2019, revised Dec. 16, 2019, accepted Dec. 18, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

방사선 오염사고가 발생할 경우에 소방관은 방사선 측정기와 인명구조경보기를 착용하고 현장에 투입된다. 이때 2개의 장비 가격이 높기 때문에[1](방사선 측정기 250만원 + 인명구조 경보기 300만원) 보급률이 낮아서 소방관들이 피폭의 위협에 놓여있다. 또한 27kg 이상의 소방장비를 착용하고 추가로 400g 이상(방사선 측정기 250g + 인명구조 경보기 150g)의 2가지 장비를 착용함으로써 위급상황에서 무게로 인한 피로감과 장비의 부피로 인한 불편함으로 인해 재난현장에서의 효율성이 낮은 실정이다.

따라서 본 논문에서는 크기와 무게를 최소화 하여 휴대가 용이하고, 제작 단가를 낮출 수 있는 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기의 혼합형 센서부 개발을 제안한다.

II. 본론

1. 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기의 혼합형 센서부

본 논문에서 제안하는 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기를 위한 혼합형 센서부의 전체적인 시스템의 구조는 그림 1과 같다.

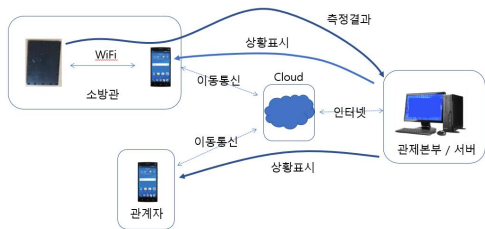


Fig. 1. Composition of Integrated Radiation Exposure Protection Fireman's Life-saving Alarm.

그림 1. 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기의 구성도

2. PIN-Diode 센서모듈 설계

본 논문에서는 크기와 무게를 최소화 할 수 있는 장점으로 인하여 반도체형 방사선 측정 센서인 PIN-Diode[2]를 측정 센서를 사용한다. PIN-Diode 방식의 방사선 측정 센서 특성을 결정하는 것은 검출기가 역바이어스에서 동작될 때 발생하게 되는 잡음이다. 따라서 특성이 우수한 반도체형 측정 센서부를 제작하기 위해서는 잡음을 최소화하여야 한다. 잡음을 발생시키는 주요 원인은 누설전류[3]로서 반

도체 소자 자체에 존재하는 불순물, 실리콘 표면 혹은 기판과의 결합과정 등에 의해 발생할 수 있다.

2.1 누설 전류 제거를 위한 설계

PIN-Diode 센서에 역전압 바이어스를 걸어서 사용할 때 역전압에 따른 누설전류가 발생한다. 누설전류는 온도에 따라서 영향을 받으며, 측정 시에 백그라운드로 작용 하기 때문에 온도의 영향에 따라서 누설전류 상쇄회로의 설계를 적용한다. 그림 2는 본 논문에서 설계한 누설 전류 제거를 위한 초단앰프의 구성 회로도이다.

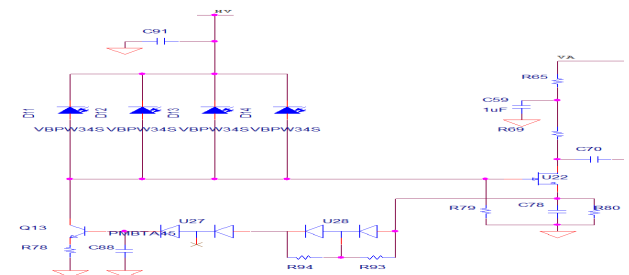


Fig. 2. Circuit Diagram For Removal Of Leakage Current.

그림 2. 누설 전류 제거를 위한 회로도

2.2. 초단 처리부 적용 설계

그림 2의 회로에 대한 테스트 결과, 전원으로부터의 잡음을 완전히 제거하지 못하여 PIN-Diode의 바이어스 전압을 가하지 않고 전하 출력을 모으기 위한 초단 처리부를 설계하였다. 출력 펄스 수를 높이기 위해 PIN-Diode군과 초단 프리앰프를 PIN-Diode의 Active 검출 영역 증대를 위해 병렬로 연결하였다. 이때 연결 Diode는 많을수록 출력 펄스 수도 비례하여 증가하나, 각 PIN-Diode의 기생용량이 약 70pF이므로 출력의 크기는 작아짐을 나타내었다. 따라서 출력에서 신호로 구분 가능한 최대 개수를 실험적으로 4개를 선택하였다. 그림 3은 초단 처리부의 적용 회로도를 나타낸다.

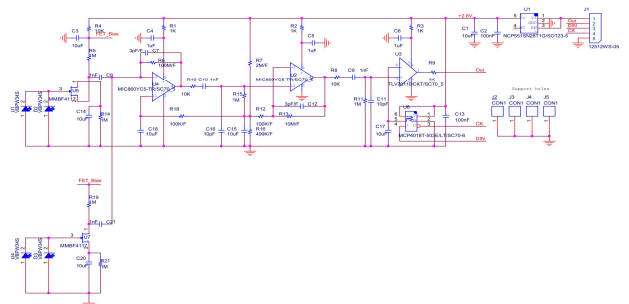


Fig. 3. Circuit Diagram of Application of the First Stage treatment.

그림 3. 초단 처리부의 적용 회로도

2.3. MCU를 추가한 모듈 설계

2.1과 2.2에서 설계한 결과를 바탕으로 그림 4와 같이 PIN-Diode와 최적화된 앰프부를 설계하였다.

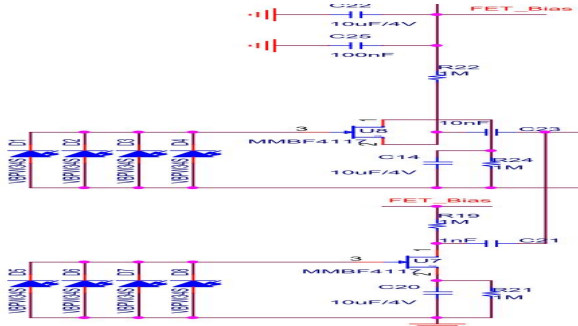


Fig. 4. Circuit Diagram of Optimized Amplifier.  
그림 4. 최적화된 앰프부의 회로도

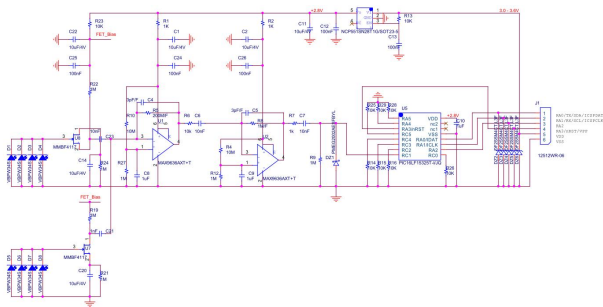


Fig. 5. Circuit Diagram of PIN-Diode Sensor Module with MCU Added.  
그림 5. MCU가 추가된 PIN-Diode 센서모듈의 회로도

또한 MCU를 추가한 모듈[4]로 자체적으로 방사선 측정 및 보정을 할 수 있는 모듈로 구성하였다. 저전력 동작을 위하여 아날로그 앰프 각단의 전류 최소화 및 저전력 MCU를 사용하여 총 전류를 약 100uA가 되도록 설계하였다. 그림 5는 MCU가 추가된 PIN-Diode 센서모듈의 회로도이다.

2.4. PIN-Diode 센서모듈 제작

PIN-Diode 측정센서에서 출력되는 신호를 처리하는 신호처리회로의 동작 특성을 시험하기 위하여 제작한 측정센서에 방사선원 Cs-137 10μCi를 이용하여 조사시킨 경우와 잡음 특성을 해석하기 위하여 오실로스코프로 신호처리회로 출력파형을 측정하여 테스트를 진행하였다. 테스트 결과, PIN-Diode 수가 1개일 때 보다 여러 개일 때 시간당 펄스 수가 증가하였으나 펄스 크기가 줄어들어 잡음과의 구분이 어려워지는 경향을 보였다. 따라서 그림 6과 같이 PIN-Diode 4개를 병렬로 연결하여 제작해 사용하였을 때가 최적으로 판단되었다.

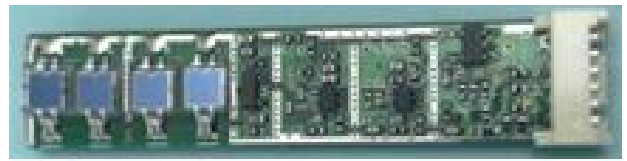


Fig. 6. PCB Image of PIN-Diode Sensor Module.  
그림 6. PIN-Diode 센서모듈의 PCB 사진

3. IMU 센서모듈 설계

IMU 센서모듈은 3축에 데이터와 가속도에 대한 수치를 합산하여 위치를 추정[5]하므로 오차를 줄이기 위하여 소방관의 허리춤 등에 부착하여 센싱을 한다. 이때 불의의 사고로 인하여 소방관이 높게 되는 경우 순간 가속도의 증가와 위치의 1m 이상의 하향조정이 발생되면 사고추정과 동시에 현재 소방관의 위치를 추정할 수 있게 된다. 다른 실내 측위방식과 달리 IMU는 자체에서 측정된 데이터를 기반으로 측정하여 위치정보를 제공하므로 독립적인 운영이 가능하다[6]. 가속도에 의한 위치측위 보정기술은 실내에서 소방관의 위치 추정 보정 상수 등을 프로그래밍 설계에 적용하였다. 한편, 자이로스코프 센서, 가속센서, 지자기센서 등이 적용되어 지구 자전 등으로 인한 영향을 받으므로 그림 7과 같이 Complimentary Filter를 적용하여 각도 변환 보정을 적용한 측정값을 구현하도록 설계 시에 적용하였다.

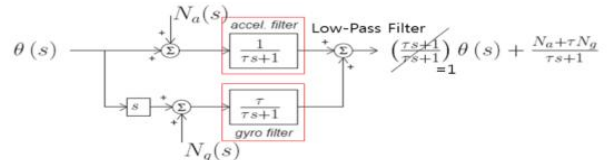


Fig. 7. Block Diagram of Complimentary Filter.  
그림 7. Complimentary Filter의 블록도

IMU 센서모듈은 Analog Devices사의 ADIS16467를 사용하여 외부의 도움 없이 관성센서인 자이로와 가속도계로 측정되는 항체의 가속도와 각속도를 이용하여 위치, 속도 및 자세에 대해 계산하여 측정한다. IMU 센서모듈에 의해 측정된 데이터를 그림 8처럼 2D 방식의 위치정보를 제공하였다.

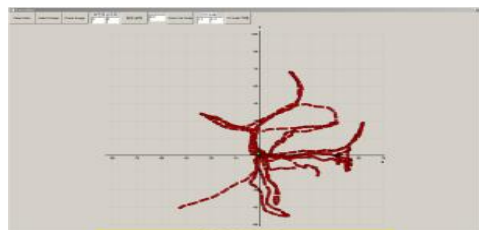


Fig. 8. Test Screen for Positioning.  
그림 8. 위치추정의 테스트 화면

#### 4. 성능 실험

##### 가. 실험 방법

본 논문에서 제안한 그림 9의 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기를 위한 혼합형 센서부의 누적선량 측정 범위, 정확도, 위치 정확성 등을 측정하기 위하여 공인시험기관에서 실험을 진행하였다.



Fig. 9. Full Hardware Image.  
그림 9.전체 하드웨어 이미지

##### 나. 실험 결과

실험을 진행한 결과, 표 1과 같이 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기를 위한 혼합형 센서부의 누적선량 측정 범위는 세계 최고 수준과 동일한 10 $\mu$ Sv~10mSv의 범위에서 측정이 되었고, 정확도는  $\pm 6.3 \sim \pm 9.0\%$ (<sup>137</sup>Cs)의 측정 불확도가 측정되어 국제 표준인  $\pm 15\%$  이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. 또한 위치정확성은  $\pm 10\%$  이내로 측정되어 높은 수준의 결과가 도출되어 그 효용성이 입증되었다.

Table 1. esult of Certificate of Accreditation Agency.

표 1. 공인시험성적서 결과

Evaluation Item (Performance Specifications)	Unit	Evaluation Result
Cumulative dose measurement range	Sv/h	10 $\mu$ Sv ~ 10mSv
Accuracy	$\pm 00\%$	$\pm 6.3\% \sim \pm 9.0\%$
Accuracy of Positioning	$\pm 00\%$	$\pm 10\%$

### III. 결론

본 논문에서는 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기를 위한 혼합형 센서부의 개발을 제안하였다. 제안하는 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기의 혼합형 센서부는 PIN-Diode 센서모듈과 IMU 센서모듈 등으로 구성되었다. 제안된 일체형 방사선 피폭 방호 소방관 인명구조 경보기를 위한 혼합형 센서부의 효율을 판단하기 위하여 공인 시험기관에서 실험한 결과, 누적선량 측정범위는 세계 최고 수준인 10 $\mu$ Sv~10mSv 범위에서 측정이 되

었고, 정확도는  $\pm 6.3\% \sim \pm 9.0\%$ (<sup>137</sup>Cs) 측정 불확도가 측정되어 국제 표준인  $\pm 15\%$  이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. 또한 위치정확성은  $\pm 10\%$  이내로 측정되어 높은 수준의 결과가 도출되어 그 효용성이 입증되었다. 향후 연구 과제는 IMU 센서모듈의 노이즈를 저감시키기 위한 알고리즘 연구가 필요하다.

### References

- [1] Dong-Hoon Kwak, Sun-Gu Lee and Seung-Ho Lee, "Development of DAP(Dose Area Product) for Radiation Evaluation of Medical and Industrial X-ray generator," *Korean Electrical and Electronics Engineers*, Vol.22, No.2, pp.495-498, 2018. DOI: 10.7471/ikeee.2018.22.2.495
- [2] Mitra, Pratip, et al. "Optimum Energy Compensation for Current Mode Application of Silicon PIN Diode in Gamma Radiation Detection," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol.63, No.6 pp. 2777-2781, 2016. DOI: 10.1109/TNS.2016.2622744
- [3] Kyung-Chul Han, Yong-Sung Choi, "Study on Characteristics of Leakage Current and Insulation Resistance for a Circuit According to Load Types," *Korean Electrical and Electronics Engineers*, Vol.23, No.2, pp.364-369, 2019. DOI: 10.7471/ikeee.2019.23.2.364
- [4] Dong-Hoon Kwak, Tae-Young Ko and Seung-Ho Lee, "Development of 3D Radiation Position Identification System of Multiple Radiation Sources using Plastic Scintillator and NaI(Tl) Detector," *Korean Electrical and Electronics Engineers*, Vol.22, No.3, pp.638-644, 2018. DOI: 10.7471/ikeee.2018.22.3.638
- [5] Zhang, Pifu, et al. "Navigation with IMU/GPS/digital compass with unscented Kalman filter," *IEEE International Conference Mechatronics and Automation*, Vol.3. 2005. DOI: 10.1109/ICMA.2005.1626777
- [6] Joon-Huh, Jaehyuk Choi. "A Method for Driver Recognition and Steering Wheel Turning Direction Estimation Using Smartwatches," *Korean Electrical and Electronics Engineers*, Vol.23, No.3, pp.844-851, 2019. DOI: 10.7471/ikeee.2019.23.3.844