

소형 반도체 센서모듈 기반 방사선정보 원격 가시화기술 연구

이남호* · 황영관* · 허용석**

*한국원자력연구원

**비티웨어

Remote Visualization of Radiation Information based on small Semiconductor Sensor Modules

Nam-ho Lee* · Young-gwan Hwang* · Yong-suk Heu**

*Korea Atomic Energy Research Institute

**BTWARE, Inc.

E-mail : nhlee@kaeri.re.kr

요 약

본 논문에서는 고준위 방사선구역의 방사능준위 분포를 원격에서 안전하게 측정할 수 있는 방사선량 측정기술의 구현에 관해 논하였다. 설계된 방사선량 매핑장치는 고준위 방사선환경에 위치하는 방사선 노드와 원격 전송된 방사선 정보를 그래픽화된 공간위치상에 가시화하는 방사선 스테이션으로 구성된다. 다수의 방사선 노드는 사고환경의 방사선량 정보를 pMOSFET 센서로 센싱하여 무선정보로 송신하는 기능을 수행하고 방사선 스테이션에서는 방사선 노드로 부터 수신된 방사선량 정보와 위치정보를 결합하여 현장을 모사한 그래픽 공간상에 실측 방사선분포 정보 가시화하게 된다. 제작된 방사선 노드를 실험실 공간에 부착하고 원격 방사선 정보 가시화 프로그램을 통하여 방사선정보 매핑하는 실험을 통하여 원격방사선가시화 장치의 기능을 검증하였다.

ABSTRACT

In this paper we studied the radiation detection technology which described the radiation level distribution in high radiation area with remotely and safely. The designed radiation mapping system was composed of radiation nodes and radiation station. The radiation nodes could sense the radiation dose values with pMOSFET radiation sensors and transmit them to the radiation station. At the radiation station the received radiation values were merged with a geometric information and visualized at the virtual graphic location. For the functional verification of the above system, we attached the radiation nodes to each corner in our laboratory, executed the mapping tests, and confirmed the designed functions finally.

키워드

방사선 지도, 무선통신, pMOSFET 센서, 가시화, 방사선 매핑

1. 서 론

2011년 일본 후쿠시마 원전사고 발생 이후 사고처리를 위한 현장 상황과악에 국제적인 협조를 바탕으로 역량을 집중하고 있으나 가장 중요한 정보로 인식되는 원자로구역 방사능준위 분포의 측정에 어려움을 겪고 있다. 이는 방사능 누출사고로 인한 고준위 방사능 노출 환경에서 작업자

의 접근이 제한되어 기존의 휴대형 방사능측정기의 사용에 한계가 있기 때문이다. 사고 시 뿐만 아니라 정상운전 중에도 원전 고준위 방사선구역에 대한 방사능 분포 측정은 원전의 안전성과 직결되어 있어 중요하게 다루어진다.

캐나다에서는 중수형 원전의 원자로 주변 기기에 대하여 원전 수명기간(40년) 동안 피폭되는 누적 방사선량을 측정하기 위한 실험이 시도되었다.

Gary Mackay[1] 등에 의해 수행된 이 실험에는 다수의 반도체 센서를 투입하여 한 주기 운전중 원자로 주변기기에서 피폭되는 감마 방사선량을 실측하고 원전 수명기간 동안의 누적 피폭방사선량을 제시하였다. 이 실험을 통해 원자로 주변에 위치한 안전계통 기기가 고준위의 방사선에 노출되고 있어 원전 안전에 위협요소가 상존한다는 사실을 입증되었고 안전성 확보를 위해 원자로 주변 기기의 원거리 재배치를 고려하게 되었다.

그러나 이 논문에서 방사선 피폭량을 측정하기 위해 사용한 오프라인 방법은 방사선 조사 후 측정까지 시간간연이 발생하게 되어 소자내부에 기억된 방사선량 값이 줄어드는 열화현상의 가능성이 있다. 또한 센서소자의 수거 및 직접 측정과정에서 방사화된 센서로부터 발생하는 이차 방사선에 노출되는 위험성이 있다.

본 논문에서는 원전 사고환경이나 원자로 구역 등 고준위 방사선구역의 방사능준위 분포를 무선 센서를 기반으로 원격에서 안전하게 측정할 수 있는 방사선량 원격측정 및 가시화기술에 대해 연구하였다. 시험 개발한 시스템은 고준위 방사선 환경에 위치한 방사선 노드와 원격 전송된 방사선 정보를 그래픽화된 공간위치상에 가시화하는 방사선 스테이션으로 구성하였다. 방사능 환경에 위치하는 다수의 방사선 노드는 사고환경의 방사선량 분포정보를 pMOSFET 방사선센서로 센싱하여 무선정보로 송신한다. 수신된 방사선량 정보와 위치정보를 결합하여 방사선 스테이션에서는 현장을 모사한 그래픽 공간상에 실측 방사선 분포정보 나타내도록 구현하였다.

구현된 방사선 노드를 실험실 공간에 임의로 설치하고 원격 방사선 정보가시화 프로그램을 통해 위치정보와 함께 매핑한 실험을 통하여 원격 방사선가시화 장치의 기능을 검증하였다.

II. 방사선량정보 가시화 장치

방사선량 매핑장치(Radiation Dose Mapping System, RDMS)는 그림 1과 같이 다수의 방사선

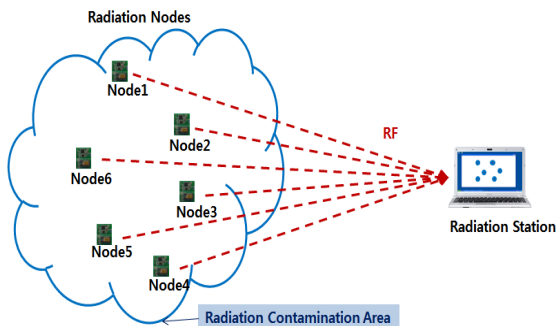


그림 1. Radiation Dose Mapping System 구성도

노드(Radiation Node)와 방사선 스테이션(Radiation Station)으로 구성된다. 이 장치는 Radiation Station을 중심으로 STAR 형태(STAR Topology)의 네트워크로 형성되고 네트워크 결합 형태에 있어서 Radiation Node들은 Slave 역할을 하고 Radiation Station은 Master 기능을 담당하게 된다. Radiation Node는 주변의 방사능 오염 준위를 측정하여 RF를 통하여 Radiation Station으로 전송하는 역할을 하게 되며 Node 내 방사능 센서(Radiation Sensor) 모듈에 의해 측정되어 아날로그 형태의 신호로 출력된다.

Radiation Sensor 모듈 뒷단의 ADC에서 디지털 신호로 변환된 방사선 준위 측정값은 RF 모듈에 의하여 무선 통신에 적합한 프로토콜로 변환되어 안테나로 출력된다. 무선통신 방식은 크기가 작고 Radiation Node 사이의 간섭이 없으며 통신 속도가 비교적 빠른 블루투스(Bluetooth) 방식을 채용하였다. 그림 2는 Radiation Node를 하드웨어 관점에서 표현한 구성도이다.

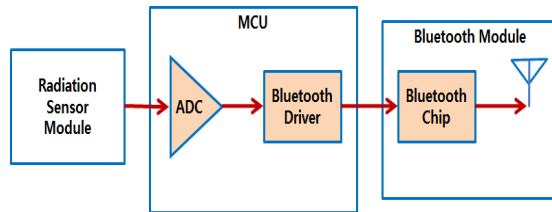


그림 2. Radiation node의 하드웨어 구성도

Radiation Sensor로 사용되는 pMOSFET은 스위칭 및 증폭용으로 사용되는 반도체 소자로 산화물층(SiO₂)으로 절연된 게이트의 인가전압에 의해 제어되는데 게이트 전압이 문턱전압(V_T) 이상이면 작동(On)하고, 그 이하이면 정지(Off)하게 된다. V_T 값은 MOSFET을 방사선 센서로서 활용하기 위한 변수로서 방사선에 조사될 경우 V_T 값의 변위현상이 나타나는데 이 변위값을 이용하여 방사선량을 측정하게 된다. 문턱전압 값을 구하는 방법으로 소형의 전자회로로 구현이 유리한 정전류(Constant current) 인가식은 실험을 통해 결정된 낮은 고정 드레인 전류값(I_d)을 인가한 다음 이때의 게이트 전압을 추출하는 것으로서, 이때의 드레인 전류의 관계식은 식 (1)과 같이 표현된다 (그림 3).[2]

$$I_d = \mu_n \frac{W}{L} C_{ox} [(V_g - V_T) V_d - 0.5 V_d^2] \quad (1)$$

여기서 I_d는 드레인 전류, n은 전자의 이동도, W는 채널의 두께, L은 채널의 길이, C_{ox}는 산화층의 두께, V_g는 게이트 전압, V_T는 문턱전압, 그리고 V_d는 드레인 바이어스 전압이다.[3]

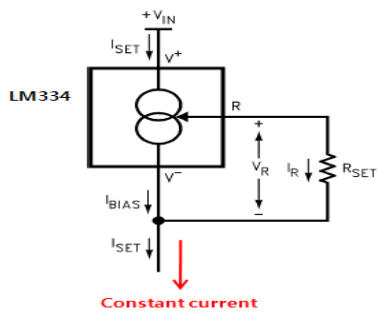


그림 3. pMOSFET 정전류 측정회로

그림 4는 그림 3의 회로도를 실제 PCB로 설계하여 구현한 pMOSFET Radiation Sensor 모듈의 사진이다.

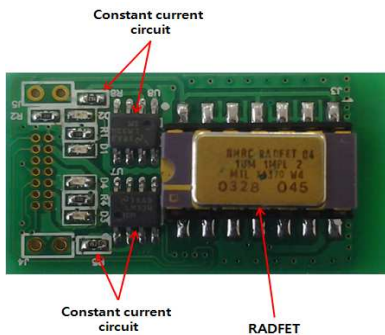


그림 4. Radiation Sensor 모듈

pMOSFET로부터 출력된 방사선량 값은 ADC를 거쳐 RF 단에서 무선신호로 변환되며 그림 5와같이 RF 단은 디지털신호를 블루투스 프로토콜로 변환하기 위한 블루투스 드라이버와 블루투스 칩으로 설계하였다.[4]

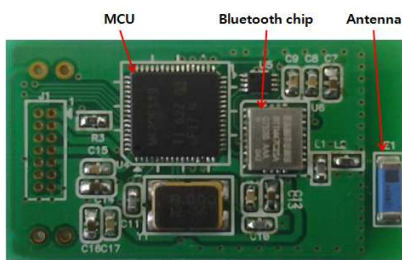


그림 5. 측정 방사능신호 전송회로

ADC와 블루투스 드라이버는 MCU에 의해 처리되며 블루투스 프로토콜로 변환된 방사능 측정신호는 블루투스 칩을 통하여 Radiation Station으로 전송된다.

Radiation Station은 다수의 Radiation Node에서 블루투스 프로토콜로 변환하여 전송한 방사선량 측정치를 블루투스 프로토콜로부터 복원하

고 Monitoring 모듈의 그래픽 출력 장치에 Mapping 하여 시각화하는 역할을 한다. 이를 구현하기 위해 Radiation Station은 그림 6과 같은 기능으로 구성된다.[5]

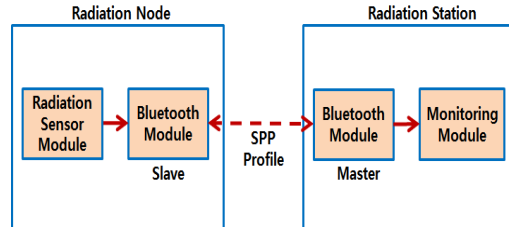


그림 6. 블루투스 연결도

수신부와 PC는 RS232 커넥터로 연결되어 있으며 수신부에서 수신된 센서신호는 PC로 전송되어 블루투스 프로토콜로부터 원래의 디지털 데이터로 복원되어 그림 7의 GUI 화면에 위치정보와 결합되어 측정방사선량 정보를 출력된다. PC에서는 블루투스 프로토콜로부터 센서신호를 복원하고 출력하는 전체과정은 통신연결 및 매핑 소프트웨어로 처리된다.

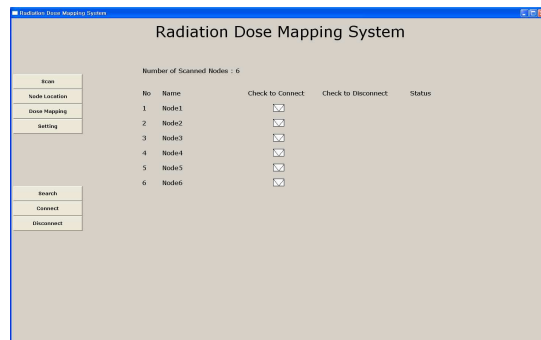


그림 7. RDMS 모니터링 GUI 화면

III. 방사선량 측정 및 가시화 실험

구현된 방사선량 매핑장치를 기능 검증을 위해 실험실 공간을 대상으로 6개의 Radiation node를 사용하여 원격측정 시험을 수행하였다. 각 노드에 장착된 pMOSFET은 사전에 각기 다른 방사선량 값으로 피폭된 상태이다.

실험실의 임의의 위치에 노드를 설치한 다음 프로그램의 'Search' 기능을 통해 노드의 존재를 확인하고 숫자가 새겨진 녹색의 마커를 드래그 앤드롭(Drag-and-Drop) 방식으로 검은색 영역에 위치시켜 센서모듈의 위치설정을 진행하였다. 그림 8는 센서모듈의 위치 설정과정을 수행하고 난 후의 화면을 나타내며 녹색의 원은 각 센서모듈의 위치를 표시하기 위한 마커(Marker)를 표시하고 검은색 사각형 영역은 가상의 방사능 오염지

역으로 본 논문에서는 실험실 공간으로 설정된다.

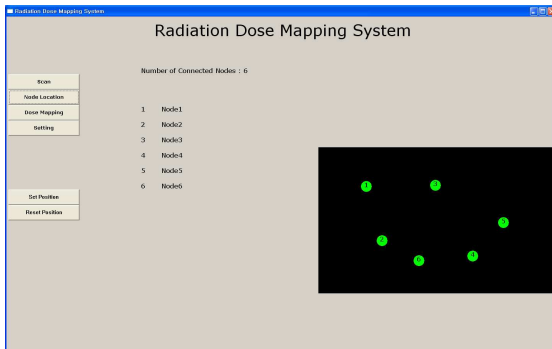


그림 8. 방사능 준위 Mapping 화면

마지막으로 "Read Dose" 메뉴를 클릭하면 그림 8에 표시된 각 센서모듈에서 수신한 방사선 준위가 그림 9와 같이 화면에 표시되었다.

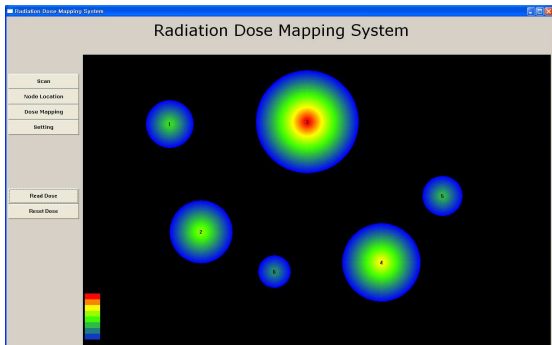


그림 9. 방사능 준위 Mapping 화면

그림 9에 나타난 여섯 개의 원은 센서모듈의 위치와 그 위치에서 측정된 방사능 준위의 크기를 나타내도록 구현된 것으로 원의 크기가 클수록 방사능 준위가 높음을 의미한다.

이 실험결과는 당초 pMOSFET 센서에 조사된 방사선량의 값과 일치한 결과를 얻은 것이다.

이상의 실험을 통해 방사선 노드와 방사선 스테이션으로 구성된 방사선 매핑장치가 정상적인 기능을 수행하고 있음을 확인할 수 있었고, 이 결과는 미연의 원전 사고 시 방사능 오염지역의 방사능 분포정도를 원격에서 안전하게 측정하여 가시화하는 기술로 적용이 가능할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 원전 사고환경이나 원자로 구역 등 고준위 방사선구역의 방사능준위 분포를 무선센서를 기반으로 원격에서 안전하게 측정할 수 있는 방사선량 원격측정 및 가시화기술에 관한 것이다. 시험 개발한 시스템은 고준위 방사선환경에

위치하는 방사선 노드와 원격 전송된 방사선 정보를 그래픽화된 공간위치상에 가시화하는 방사선 스테이션으로 구성하였다. 방사능 환경에 위치하는 다수의 방사선 노드는 사고환경의 방사선량 분포정보를 pMOSFET 방사선센서로 센싱하여 무선정보로 송신되며, 수신된 방사선량 정보와 위치 정보를 결합하여 방사선 스테이션에 실측 방사선 분포정보로 가시화되도록 설계되었다.

구현된 방사선 매핑시스템의 기능검증을 위해 방사선 노드를 실험실 공간에 임의로 설치하고 원격측정 실험을 진행하였다. 실험결과 각 위치별로 사전에 피폭된 pMOSFET 센서의 방사선량값이 상호 일치된 값으로 측정되어 그래픽화면에 가시화됨을 확인할 수 있었다.

향후 연구결과에 대한 부가적 현장적용 연구가 수행된다면 미연의 국내 방사선 사고시를 대비한 원자력 비상대응력 제고에 크게 기여될 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] G. Mackay, I. Thomson, C. R. Hirning, and M. Zeya: "Gamma-ray Dose Mapping in Operational CANDU Reactor Containment Areas using MOS Dosimeters," ASTM publication, pp. 441 ~ 446, 1994.
- [2] Andrew Holmes-Siedle, Leonard Adams, J. Stephen Leffler, and Steven R. Lindgren: "The RADFET System for Real-Time Dosimeter in Nuclear Facility," IEEE Trans. Nucl. Sci., 1983.
- [3] Andrew Holmes-Siedle: "The Space-Charge Dosimeter," Nuclear. Instruments. & Methods, vol. 121, pp. 169 ~179, 1974.
- [4] "RF/ID 해외 응용 사례" 월간 자동화 기술, pp. 104 ~111, 1996.
- [5] Floyd, R.E. "Radio Frequency identification", Electrical and Computer Engineering, Canadian Conference on, vol.1, p377-380, 1993