



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2020년 2월
석사학위 논문

방사능재난을 대비한 사물인터넷 (IoT) 기반의 방사선측정기 개발

조선대학교 대학원

원자력공학과

김보길

방사능재난을 대비한 사물인터넷 (IoT) 기반의 방사선측정기 개발

Development of Internet of Things(IoT) based
Radiometers for Radiation Disaster

2020년 2월 25일

조선대학교 대학원

원자력공학과

김보길

방사능재난을 대비한 사물인터넷 (IoT) 기반의 방사선측정기 개발

지도교수 이 경 진

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2020년 10월

조선대학교 대학원

원자력공학과

김 보 길

김보길의 석사학위논문을 인준함

위원장	조선대학교	교수	<u>정운관</u>	(인)
위원	조선대학교	교수	<u>이경진</u>	(인)
위원	조선대학교	교수	<u>송종순</u>	(인)

2019년 11월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT	VII
제 1장 서론	1
제 1절 연구의 필요성	1
제 2절 연구 배경	3
제 3절 국내외 기술 현황	5
1. 방사선측정기 기술현황	5
가. 국내 기술현황	5
나. 국외 기술현황	5
제 2장 연구개발 내용 및 방법	7
제 1절 시스템 설계 및 방법	7
1. 시스템 개요	7
2. 방사선측정기 개발	9
가. 방사선측정기 개발절차	9
나. 방사선측정 센서 선정	9
다. 테스트보드 제작	13
라. 최종보드 제작 및 방사선측정기 제작	19
마. 방사선측정기 테스트	26
바. 방사선량측정 선형성 테스트	31
사. 방사선측정 알고리즘 개발	33
3. 어플리케이션 개발	37
가. 어플리케이션 개요	37

나. 블루투스 통신 프로토콜	37
다. 어플리케이션 제작	38
4. 서버프로그램 개발	43
가. 서버프로그램 개요	43
나. 서버프로그램 개발내용	43
제 2절 연구개발 결과	47
1. 방사선측정기 성능평가	47
가. 방사선량률 측정	47
나. 에너지 응답비	47
다. 측정 방향의존성	50
라. 응답시간	54
마. 온도·습도 테스트	54
2. 방사선측정기와 서버프로그램 간 양방향 통신	57
가. 양방향 통신 구현	57
제 3장 결론	59
【참고문헌】	60

표 목 차

[표 1] 국내에서 개발된 휴대용 방사선측정기 비교.....	4
[표 2] 방사선측정 센서 장·단점 비교표.....	9
[표 3] 방사선측정기 선형성 테스트.....	31
[표 4] 블루투스 통신 패킷.....	37
[표 5] 서버프로그램 통신 프로토콜.....	44
[표 6] 방사선량률 측정결과.....	49
[표 7] 방사선 조사 방향 의존성 측정결과 (방향 : 좌·우).....	52
[표 8] 방사선 조사 방향 의존성 측정결과 (방향 : 상·하).....	53
[표 9] 방사선측정기 온·습도 성능시험.....	56

그림 목 차

[그림 1] 원자력시설의 방사능재난 시 양방향통신.....	2
[그림 2] 사물인터넷 기반 방재시스템 개요도.....	8
[그림 3] 방사선측정기 개발절차.....	9
[그림 4] 사용된 PIN 다이오드 회로도.....	10
[그림 5] 사용된 PIN 다이오드 Gamma radiation에 대한 흡수능력.....	11
[그림 6] 사용된 PIN 다이오드의 감마선 측정 민감도.....	12
[그림 7] MCU ATMEGA32U4.....	13
[그림 8] v0.1 PCB 보드 거버파일.....	14
[그림 9] v0.1 PCB 보드 제작.....	14
[그림 10] v0.2 PCB 보드 거버파일.....	15
[그림 11] v0.2 PCB 보드 제작.....	15
[그림 12] v0.3 PCB 보드 회로도.....	16
[그림 13] v0.3 PCB 보드 거버파일.....	17
[그림 14] v0.3 PCB 보드 제작.....	17
[그림 15] 전원회로부 구성도.....	18
[그림 16] 방사선 측정 출력신호 확인.....	18
[그림 17] 최종 방사선측정기 모듈 개요.....	19
[그림 18] 방사선측정기 충전 모듈.....	19
[그림 19] 충전 모듈 micro USB.....	20
[그림 20] 충전 모듈 회로.....	20
[그림 21] 저전력 MCU MSP430FR2433IRGE.....	21
[그림 22] Bluetooth FBL780BC.....	21
[그림 23] 최종 PCB 보드 회로도.....	22
[그림 24] 최종 PCB 보드 거버파일.....	23
[그림 25] 최종 PCB 보드 제작.....	23
[그림 26] 방사선측정기 케이스 도면.....	24
[그림 27] 방사선측정기 제작-보드조립.....	25

[그림 28] 방사선측정기 제작-완성.....	25
[그림 29] 방사선측정기 테스트 DAQ 제작.....	29
[그림 30] 방사선측정기 테스트 DAQ 제작 회로도-1.....	27
[그림 31] 방사선측정기 테스트 DAQ 제작 회로도-2.....	27
[그림 32] 방사선측정기 테스트 DAQ 제작 회로도-3.....	28
[그림 33] 방사선측정기 테스트 DAQ 제작 회로도-4.....	29
[그림 34] 테스트용 DAQ와 방사선측정기 연결.....	29
[그림 35] 테스트용 프로그램을 이용하여 수신된 데이터(CPS, CPM).....	30
[그림 36] 선형성 테스트 1차식 보정곡선.....	32
[그림 37] 선형성 테스트 2차식 보정곡선.....	32
[그림 38] 방사선량 측정 선형성 테스트.....	33
[그림 39] 알고리즘 흐름도.....	33
[그림 40] 평활 알고리즘 적용 데이터 비교.....	34
[그림 41] 방사선량의 급격한 변화 시 평활 알고리즘만 적용.....	35
[그림 42] 누적평균과 이동평균의 상호보완 알고리즘 적용.....	36
[그림 43] 개선된 알고리즘 비교.....	36
[그림 44] 어플리케이션 UI디자인 가이드.....	39
[그림 45] 어플리케이션 메인화면.....	40
[그림 46] 방사선측정기와 어플리케이션 연결.....	40
[그림 47] 위험수준의 방사선량 측정시 경고알람.....	41
[그림 48] 어플리케이션 설정화면.....	42
[그림 49] 어플리케이션 실행 시 위치 접근 허용 메시지(GPS정보 활용).....	42
[그림 50] 서버프로그램 메인화면.....	45
[그림 51] 서버프로그램 데이터 검색.....	45
[그림 52] 서버프로그램 사용자 관리 및 푸시 메시지 전송.....	46
[그림 53] 방사선조사시설을 이용하여 방사선량 측정.....	48
[그림 54] 방향 의존성 테스트 회전 각도.....	50
[그림 55] 방사선 조사 방향 의존성 테스트.....	51
[그림 56] 방사선 측정 응답시간.....	54

[그림 57] 방사선측정기 온·습도 성능시험 55
[그림 58] 서버프로그램에서 수신된 데이터 표출 57
[그림 59] 사용자 어플리케이션에서 수신된 긴급메시지 58

ABSTRACT

Development of Internet of Things(IoT) based Radiometers for Radiation Disaster

Kim BoGil

Advisor : Prof. Lee GyeongJin, Ph.D.

Department of Nuclear Engineering

Graduate School of Chosun University

In the event of a radiation disaster due to an accident at a nuclear facility such as Japan's Fukushima nuclear accident, the most important thing is to protect residents from radiation, designate disaster prevention personnel, and prepare for emergencies through education and training. All disaster prevention personnel who are deployed use radiation measuring devices to perform disaster prevention and relief activities, and the performance of radiation measuring devices and rapid anti-disaster systems are closely related to the safety of the disaster prevention personnel and the evacuation residents

This R&D proposes a disaster prevention system that enables bi-directional communication of radiation meters and server programs by implementing radiation measuring devices and applications(APP) based on the Internet of Things and developing server programs that can communicate with them. The miniaturized radiation meter uses a PIN diode sensor to measure gamma-rays, and the measured radiation count is represented in the linked smart device application by means of an algorithm, converted to radiation dose. The radiation dose expressed is automatically transferred to the server program and stored in the database, which

is used as a radiation monitoring system.

The measured radiation count was converted to radiation dose through linearity tests, and the developed algorithm produced a stable and fast response. It was designed and developed to enable communication between application and Bluetooth, and implemented server program and two-way communication through Internet communication of smart devices.

While existing radiation measuring devices could be used only to a limited extent, radiation measuring devices based on the Internet of Things and disaster prevention systems with two-way communication will be able to take measures to protect residents based on prior predictions through rapid and accurate information collection.

This is a suitable R&D project in the present era of the 4th Industrial Revolution, and we hope it will be used as a smart disaster prevention system in the event of a radiation disaster.

제 1 장 서론

제 1절 연구의 필요성

원자력시설 등의 사고로 인해 방사능재난이 발생할 경우 무엇보다 중요한 것은 방사능으로부터 주민보호조치가 가장 최우선의 과제이다. 이러한 주민보호조치를 위해 ‘원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법’에서 방재요원을 지정하고, 교육훈련 등을 통해 유사시를 대비하며, 실제 사고 발생 시 현장에 투입하도록 규정하고 있다.[1]

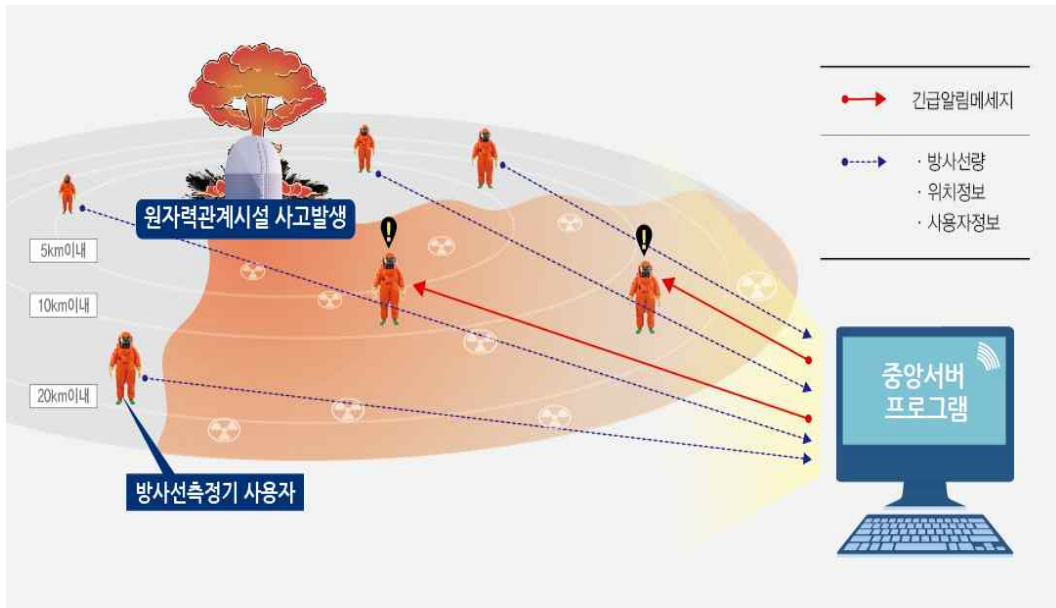
이 때, 투입되는 방재요원은 모두 방사선측정기를 활용하여 방재활동 및 구호활동을 하므로, 방사선측정기의 성능과 신속한 방재시스템이 방재요원 및 대피 주민들의 안전과 밀접한 관련이 있다고 할 수 있다.[2]

그러나 기존 방사선측정기는 원자력관계시설 운영 및 비상 시 제한적인 범위에서만 활용이 가능한 것으로 사고 확대 범위, 방사능 이동경로, 주민 대피 경로의 능동적 대처, 타 방재요원의 정보공유 등이 필요한 상황에서 신속하고 정확한 대응이 불가능한 방재대응방식이다.

본 연구는 방사선측정기와 스마트기기(스마트폰, 태블릿 PC)를 결합시켜, 현장에서 취득한 방사선 정보는 스마트기기를 통해 서버프로그램에 제공하고, 서버프로그램은 복수의 현장에서 정보를 공유하는 사물인터넷(IoT, Internet of Things) 기반의 실시간 방재시스템을 개발하는데 있다.

[그림 1]은 원자력시설 등의 사고 발생 시 투입되는 방재요원과 방사능 이동경로에 대한 방사선측정기와 서버프로그램 간 커뮤니케이션을 나타낸 것이다. 이를 위해 소형화된 방사선측정기 개발과 측정된 방사선정보를 수집, 처리, 전송할 수 있는 어플리케이션(application) 개발, 방사선측정기 사용자와 서버 간 양방향 통신을 위한 서버프로그램 개발이 이루어져야한다.

사물인터넷 기반 방사선측정 방재시스템은 4차 산업혁명 시대에 발맞추는 연구개발로써 유사시 현장 투입 방재요원의 안전 확보와 심리적 안정을 부여함은 물론 무엇보다 신속하고 정확한 정보 수집을 통한 빅데이터 획득으로 사전예측에 기반한 주민보호조치가 이루어질 것으로 판단된다.



[그림 1] 원자력시설의 방사능재난 시 양방향 통신

제 2절 연구 배경

4차 산업혁명과 더불어 사물인터넷 기술은 최근에 다양한 사물들(Things)과 인터넷(Internet)이 결합하여, 기존의 사물만으로는 제공하지 못했던 새로운 서비스를 제공하고 있다. 다양한 분야에서 사물인터넷 기술을 활용한 장비들과 스마트 측정기가 개발되고, 편의성과 유용성이 결합된 기술서비스를 제공하고 있으나, 방사선측정기를 사물인터넷과 결합한 활용 예는 거의 찾아볼 수 없다.[3][4]

[표 1]과 같이 기존에 개발된 방사선측정기의 데이터 통신은 서버프로그램으로 일방적 데이터 전송만 가능하며, 스마트폰과 연동가능한 방사선측정기 제품들이 일부 출시되고 있지만, 방재시스템으로 활용된 사례는 찾아보기 힘든 실정이다.

본 연구개발의 목적은 사물인터넷이 적용된 방사선측정기와 어플리케이션(App)을 개발하여 서버 프로그램과 양방향 통신이 가능한 스마트한 방재시스템을 개발하는데 있다.

방사선측정기를 이용하여 감마선에 대한 방사선량을 측정하고, 이를 실시간 모니터링이 가능한 서버 프로그램에 전송할 뿐 아니라, 복수의 휴대용 단말기들과 네트워크를 형성하여 방사능 정보를 포함한 다양한 정보를 공유하는 기술개발을 목표로 한다. 사물인터넷 기반의 방재시스템 개발은 4차 산업혁명이 도래한 현 시대에 적합한 시스템으로 국내 원자력시설의 방사능 재난을 대비한 최적의 방재시스템으로 활용이 기대된다.

[표 1] 국내에서 개발된 휴대용 방사선측정기 비교

모델명	관련 제품	제품 성능
Smart Geig**		• 센서 종류 : Semiconductor
		• 측정 범위 : 0.05 ~ 200 μ Sv/h
		• 스마트폰과 연동 가능
		• 서버프로그램과 양방향 통신 : 불가
RS**		• 센서 종류 : GM-Tube
		• 측정 범위 : BKG ~ 10 Sv/h
		• 단일 휴대용 방사선측정기
		• 서버프로그램과 양방향 통신 : 불가
Radi**		• 센서 종류 : GM-Tube
		• 측정 범위 : 1 μ Sv/h ~ 10 mSv/h
		• 단일 휴대용 방사선측정기
		• 서버프로그램과 양방향 통신 : 불가
RADCO**		• 센서 종류 : GM-Tube
		• 측정 범위 : 0.01 μ Sv/h ~ 30 mSv/h
		• 단일 휴대용 방사선측정기
		• 서버프로그램과 양방향 통신 : 불가
QSF**		• 센서 종류 : 섬광체 센서
		• 측정 범위 : 0.001 μ Sv/h ~ 999 mSv/h
		• 단일 휴대용 방사선측정기
		• 서버프로그램과 양방향 통신 : 불가

제 3절 국내·외 기술 현황

1. 방사선측정기 기술현황

가. 국내 기술현황

휴대용 방사선측정기 기술의 특허 출원은 2010년 3건에 불과하였지만, 2011년 일본 후쿠시마 원전사고 이후에 방사선측정기의 기술개발이 활발해졌으며, ‘원자력연구개발사업’을 통하여 방사선기기핵심기술개발 등을 중심으로 꾸준한 증가세를 보이고 있다.[5][6]

다양한 방사선 검출, 측정기 개발과 제작이 활발히 진행되고 있으며, 휴대성과 내구성 등의 요인들로 인해 가이거-물리(GM tube) 계수기와 저선량 영역에서 뛰어난 검출 성능으로 섬광검출기가 주로 사용되고 있다.[7][8]

일반적으로 휴대형 측정기의 특허출원과 스마트폰을 이용한 측정기, GPS형 및 블루투스 통신형 등의 방사선측정기 개발특허가 출원되고 있으며, 기존 휴대형 방사능 측정 기술이 휴대성을 높이기 위한 소형화, 경량화 기술 중심이었다면, 최근에는 스마트폰과 같은 모바일 단말기, 블루투스 통신같은 무선통신, 중앙서버와 데이터베이스를 연동하는 네트워크 기술 등과 같은 IT 기반의 무선 통신기술이 개발되고 있는 추세를 보이고 있다.[5]

체르노빌 원전사고, 후쿠시마 원전사고 등 원자력관계시설의 사고 또는 국내 원자력 발전소의 해체 등으로 방사능에 대한 국민들의 관심과 요구가 더욱 높아짐에 따라 휴대형 방사능 측정기술 분야의 기술개발 비중이 더욱 더 늘어날 것으로 전망된다.

나. 국외 기술현황

방사선측정기에 대한 해외 기술개발은 원자력발전을 사용하는 선진국을 중심으로 지속적으로 진행되어 왔으며, 해외의 경우에도 일본 후쿠시마 원전사고 이후 방사선측정기의 관심이 증가하고, 선진기술을 중심으로 활발히 연구·개발되고 있다.

1995년 이후 주요 국가별 방사선측정기의 특허출원을 분석할 결과, 미국과 유럽이

각각 73%, 15%의 대부분의 점유율을 보이고 있어 선진국 중심의 기술개발 구조로 나타났으며, 특히, 방사선측정기의 원천기술인 방사선 측정 센서, 단결정 생산 기술, 섬광체와 더불어 주목받고 있는 반도체센서 제작 기술은 현재 미국이 세계시장 70% 이상을 점유하고 있는 실정이다. [6][9]

제 2 장 연구개발 내용 및 방법

제 1절 시스템 설계 및 방법

1. 시스템 개요

본 연구개발은 PIN 다이오드 센서를 활용한 소형화되고, 감마선을 측정이 가능한 방사선측정기를 구현하고, 이 방사선측정기의 측정값을 통신할 수 있는 블루투스 통신기반의 어플리케이션을 제작한다. 방사선측정기에서 측정된 방사선 카운트는 어플리케이션에 구현된 알고리즘을 통하여 방사선량값으로 표출된다.

측정된 방사선량값과 스마트기기에 내장되어있는 GPS 위치정보 및 시간 정보는 스마트기기의 인터넷 통신을 통해 서버프로그램으로 전송되고, 수집된 정보는 서버프로그램에서 데이터베이스(DB, Data Base)로 구축된다. 이러한 데이터베이스를 바탕으로 방재요원에 대한 방사선모니터링 시스템(RMS)으로 활용이 가능하고, 방사능에 대한 위험정보 및 위치정보에 대한 위험요소 메시지 전송이 가능하다.

방사선측정기는 방사선량값을 서버프로그램으로 보내고, 서버프로그램은 수신된 방사선량값을 기반으로 방재요원에게 위험메시지를 전송한다. 이는 상호 소통 체계인 양방향통신으로 신속한 정보전달과 유기적인 상황대처능력을 확보하여, 방재요원의 안전과 주민보호조치에 기여할 수 있다. 수집된 데이터베이스를 기반으로 방사선모니터링시스템을 구현하여 방사능 확산을 예측하고 방재요원의 과피폭을 예방하여 관련 방사선작업종사자의 피폭선량 저감화를 기대할 수 있다.



[그림 2] 사물인터넷 기반 방재시스템 개요도

2. 방사선측정기 개발

가. 방사선측정기 개발절차

아래 [그림 3]는 방사선측정기 개발 절차이다. 가장 우선되어야 할 방사선측정기 센서를 선정하고, 테스트하기 위한 보드를 제작하였다. 제작된 테스트보드는 개선과정을 거쳐 최종 결정되며, 방사선측정기 제작으로 진행되었다.



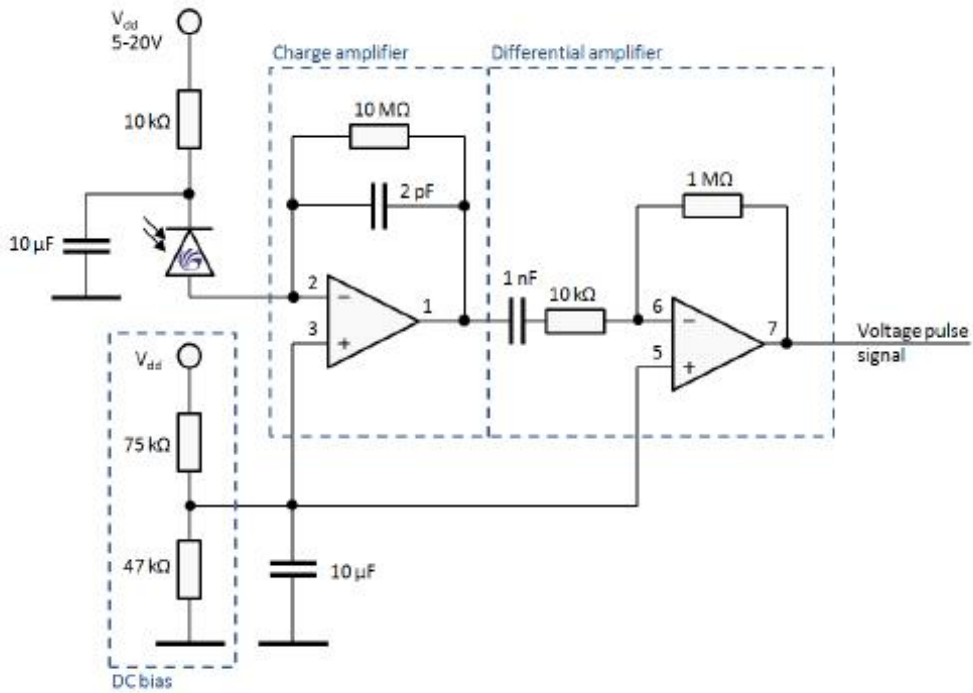
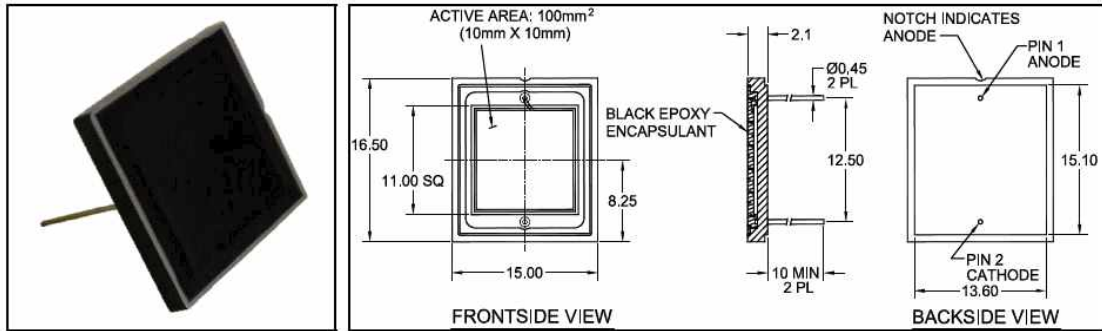
[그림 3] 방사선측정기 개발절차

나. 방사선측정 센서 선정

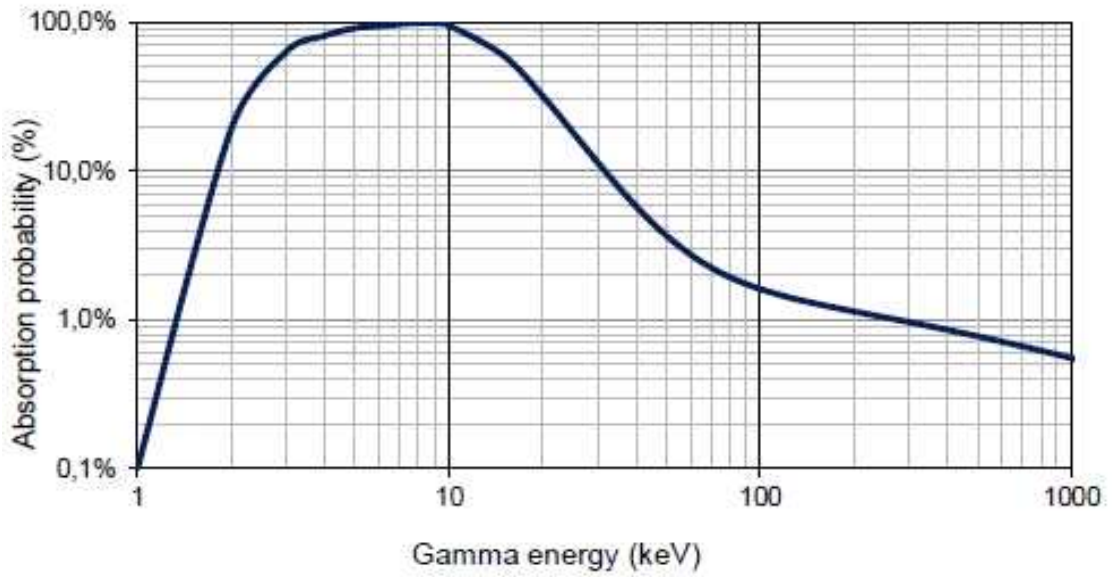
아래 [표 2]는 방사선측정기에 사용되는 다양한 센서의 장단점을 비교하였다. 총 4가지의 방사선측정 센서를 비교하였으며, 선량 측정의 범위, 측정센서의 반영구적 사용 유무, 센서의 크기, 비용 측면 등을 고려하였다.[6] 이러한 측정센서 현황분석을 통해, 본 연구의 방사선측정기에 적합한 측정센서로 PIN 다이오드를 결정하였으며, 이는 선량측정, 소형화 및 회로 구현 측면에서, 본 연구개발과 적합하다고 판단하였다.[10]

[표 2] 방사선측정 센서 장단점 비교표

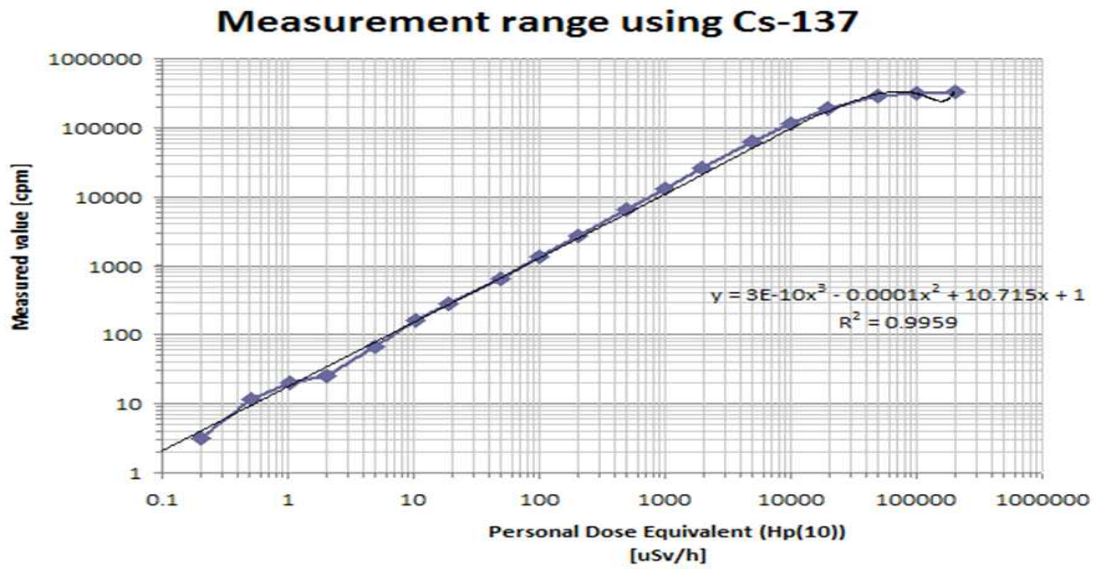
구분	장점	단점
GM Tube	저선량에서 고선량까지 측정이 가능하며, 일반적으로 휴대용 방사선측정기 센서로 많이 사용됨.	사용기간에 따른 교체가 필요하며, 센서의 크기가 비교적 큼에 따라 소형화 제작에 어려움.
CsI	저선량에서 고선량까지 측정이 가능하며, 수분이나 상대적 충격 강하여 가공이 용이함.	가격이 비싸며 SiPM 구현이 어려움.
CdTeZn (CZT)	저선량에서 고선량 측정 및 핵종분석 가능, Cd 기반의 센서로 상온에서 냉각없이 사용할 수 있음.	대용량의 단결정 소재를 생산할 수 없어 가격이 고가임.
PIN diode	반도체 타입의 방사선 측정 센서로 상대적으로 크기가 작고, 반영구적으로 사용가능.	소형 크기로 인해 입사되는 계수량이 적어 방사선량측정 알고리즘 구현이 어려움.



[그림 4] 사용된 PIN 다이오드 회로도



[그림 5] 사용된 PIN 다이오드 Gamma radiation에 대한 흡수능력

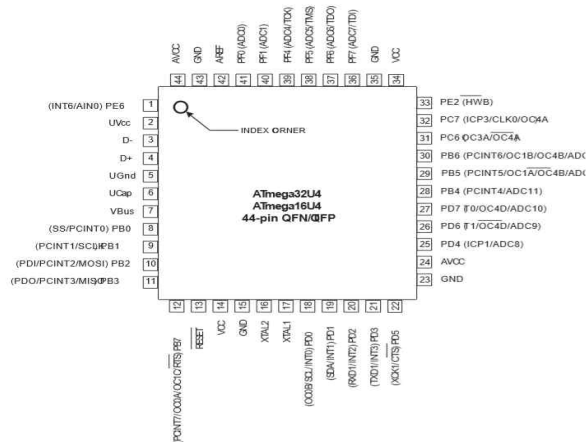


[그림 6] 사용된 PIN 다이오드의 감마선 측정 민감도

다. 테스트보드 제작

(1) 버전 0.1 테스트보드

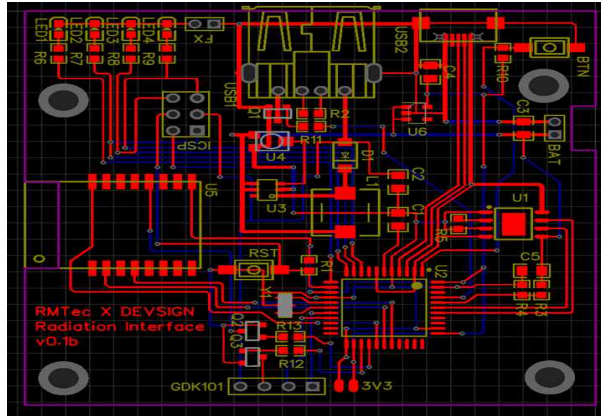
테스트용 회로보드 제작은 브레드보드에 MCU, 방사선측정 센서, 블루투스 모듈로 회로가 구성된다. 마이크로 컨트롤러(Micro Controller Unit, MCU) 프로그래밍은 크게 측정, 통신, 인터페이스로 구성되며, [그림 7]의 ATMEL사 ATMEGA32U4를 사용하였고, 8MHz 클럭으로 작동된다. 개발도구 PlatformIO를 사용하여 Visual Studio Code C/C++ 언어로 편집하였으며, 전원회로부는 리튬폴리머 배터리 전압에서 LDO를 통해 3.3V로 변환하여 MCU에 공급되며, 센서 보드의 LT1615 DC-DC 컨버터로 통해 13V 및 39V로 승압하여 PIN diode에 공급하고 LDO를 통해 9V를 만들어 amp 회로에 공급된다.



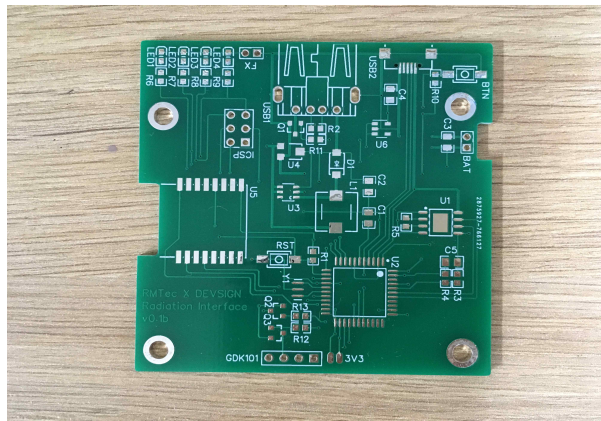
[그림 7] MCU ATMEGA32U4

스마트기기와 연동 테스트는 Bluetooth Low Energy로 스마트기기와 데이터 통신 설계하였으며, 어플리케이션에서 명령을 받아 센서에 전원이 공급되어 측정이 시작된다. 최근 들어온 12개의 데이터를 이용하여 계수율(cpm) 계산되고, 업데이트 주기는 기본 5초이며, 카운트 빈도가 높아질수록 업데이트 주기가 0.3초까지 자동적으로 변환되어 임의의 시간에서의 측정값을 인식할 수 있게 하였다.

○ 버전 0.1 PCB 보드 제작



[그림 8] v0.1 PCB 보드 거버파일



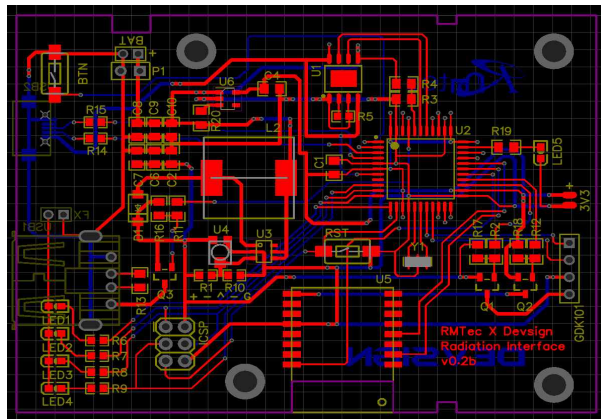
[그림 9] v0.1 PCB 보드 제작

(2) 버전 0.2 테스트보드

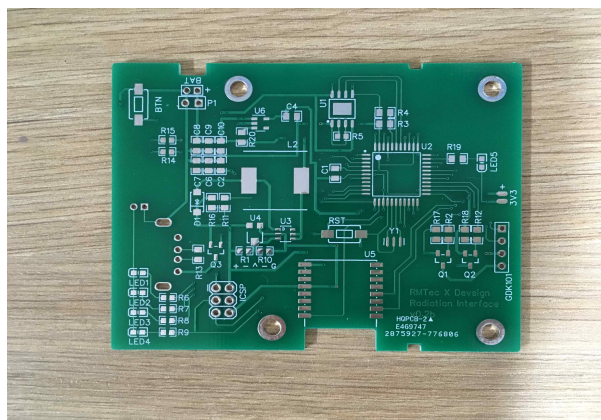
버전 0.1을 개선사항을 수정하여 버전 0.2 테스트보드를 제작하였다. 주변기기 전원 제어 MOSFET가 N채널에서 P채널로 변경하였고, 아두이노 D13 LED를 추가하였다.

MT3608(부스트 컨버터) 회로 문제 수정하여 feedback 입력에 2가지 선택을(가변저항, 2개의 직렬고정저항) 할 수 있게 하였다. ICSP 포트 라이브러리가 수정되었고, 전원 필터 커패시터 추가되었다.

USB 포트를 Bottom Layer로 이동하고 USB 커넥터, BTN 스위치, LED가 대칭형 디자인을 위해 위치를 조정하였다.



[그림 10] v0.2 PCB 보드 거버파일

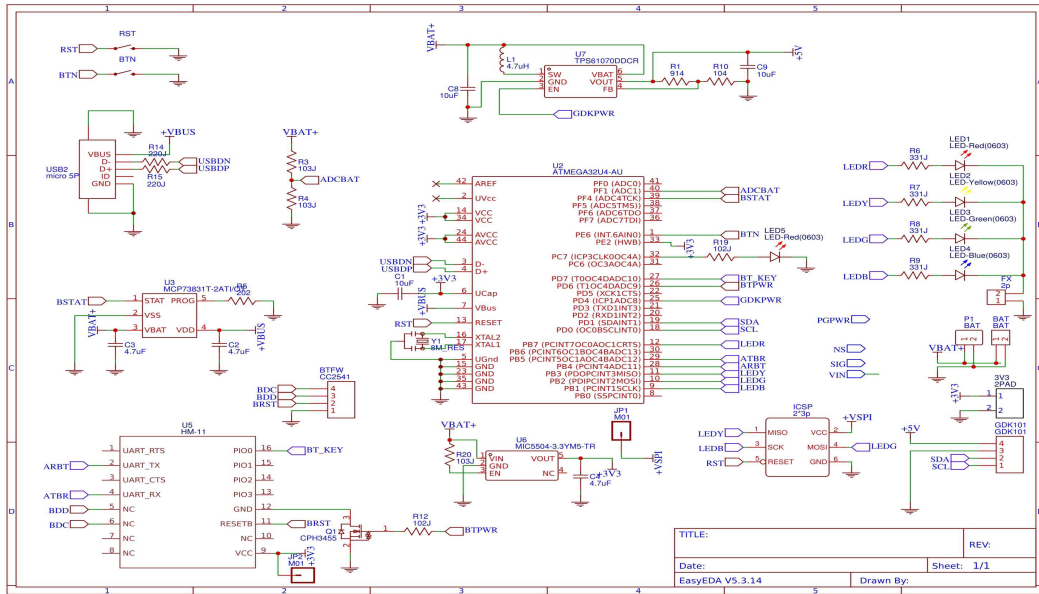


[그림 11] v0.2 PCB 보드 제작

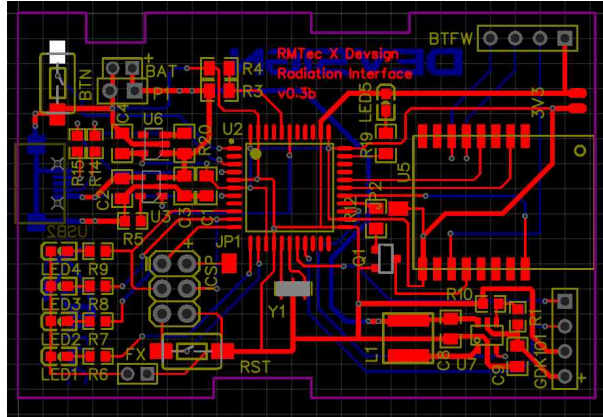
(3) 버전 0.3 테스트보드

버전 0.2을 개선사항을 수정하여 버전 0.3 테스트보드를 제작하였다. 방사선측정기 소형화를 고려하여 PCB 크기를 축소하였고, USB 충전 포트를 삭제하고 부스트 컨버터 회로 크기 및 두께를 축소하였다.

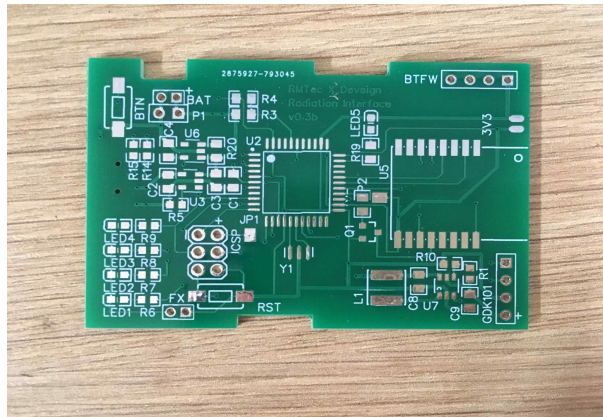
주변기기 전원제어 MOSFET이 P채널에서 N채널로 변경하고, 배터리 충전 IC를 TP4056에서 MCP73831로 변경하였다. 또한, 부스트 컨버터 IC를 MT3608에서 TPS61070으로 변경하고, 블루투스 펌웨어 업로드 핀과 전원 설정 패드를 추가하였다.



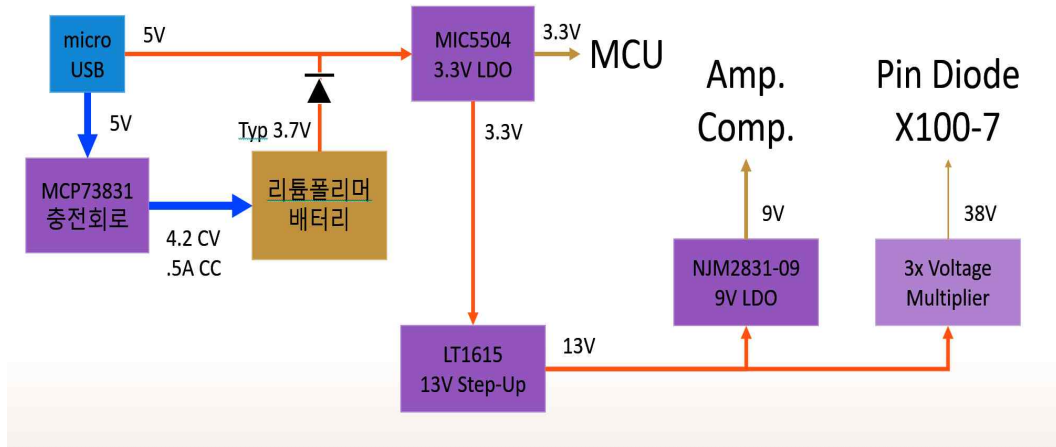
[그림 12] v0.3 PCB 보드 회로도



[그림 13] v0.3 PCB 보드 거버파일



[그림 14] v0.3 PCB 보드 제작



[그림 15] 전원회로부 구성도

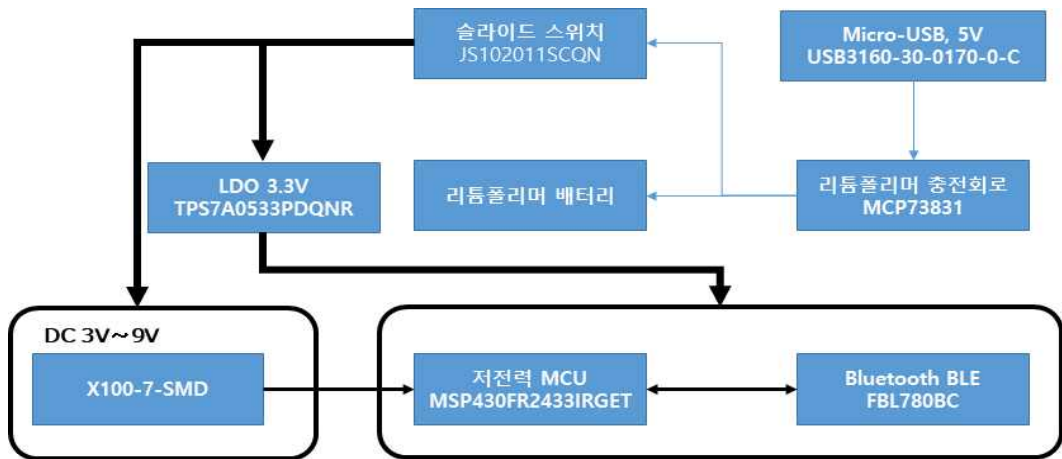


[그림 16] 방사선 측정 출력신호 확인

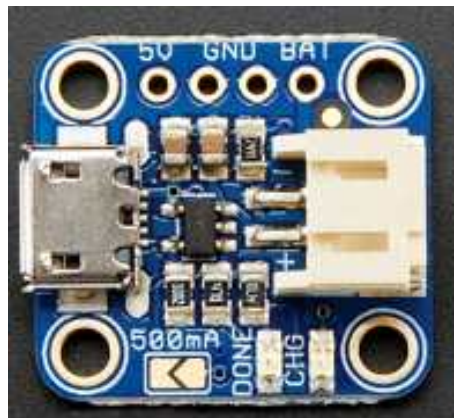
라. 최종보드 제작 및 방사선측정기 제작

(1) 최종보드 제작

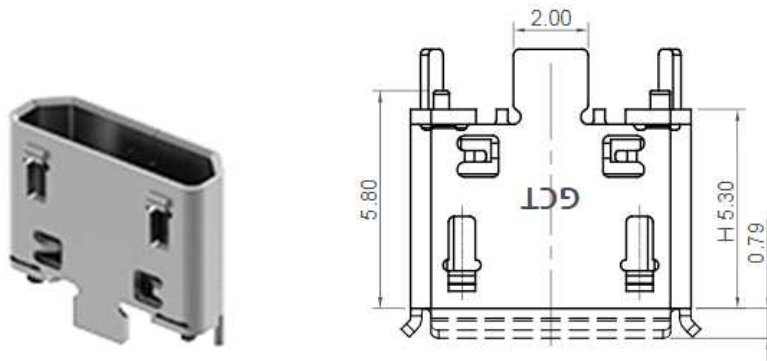
테스트 보드를 최종 개선하여 최종모드를 제작하였다. 버전 0.3 보드의 충전 회로를 수정하여, 전원 ON-OFF 스위치를 추가하였다. 또한, 방사선측정기의 상태 LED와 ICR LED 추가로 설치하였다. 저전력 MCU 사용 및 리튬폴리머 배터리 및 충전 회로 개선하였다.[그림 17]



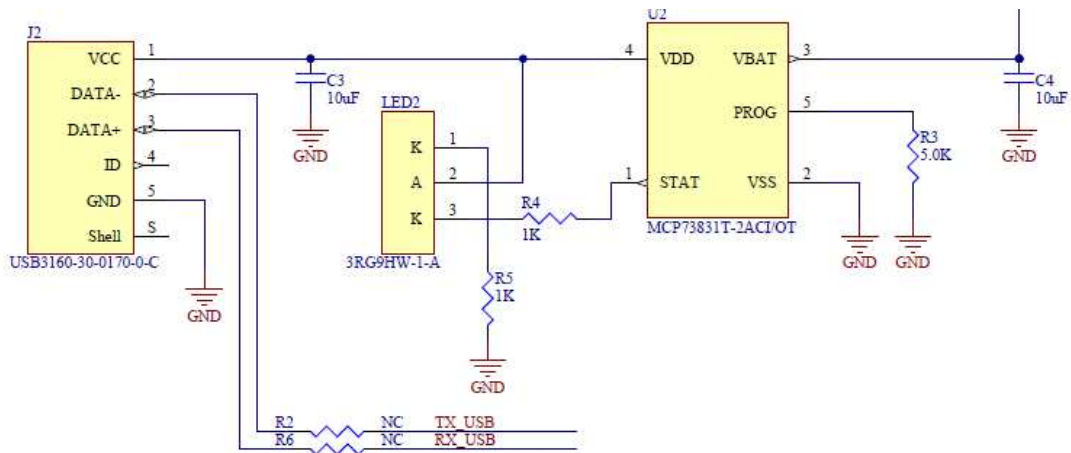
[그림 17] 최종 방사선측정기 모듈 개요



[그림 18] 방사선측정기 충전 모듈



[그림 19] 충전 모듈 micro USB

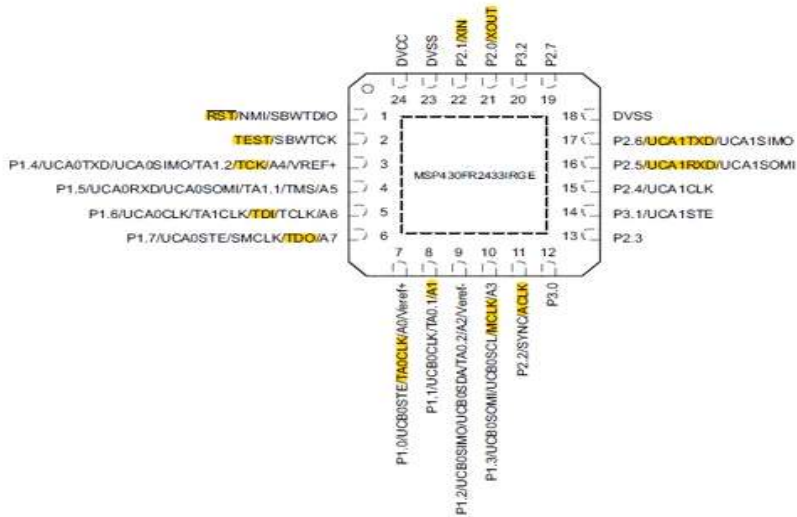


[그림 20] 충전 모듈 회로

(2) 저전력 마이크로컨트롤러

MCU는 TI사의 저전력 MCU MSP430FR2433IRGE를 사용하였으며 8MHz 클럭으로 작동되며, 개발 도구로 TI사에서 무료로 배포하고 있는 Code Composer Studio를 사용하여 프로그래밍 하였다. 전원회로부는 외부 전원이 연결되지 않은 상태에서는 내부 리튬폴리머 배터리 전압에서 LDO를 통해 3.3V로 변환하여

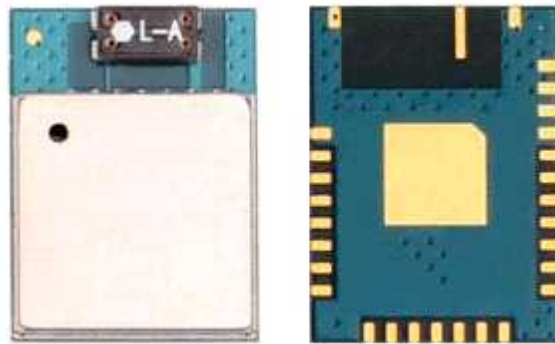
MCU, 블루투스 모듈에 공급되며, 외부 전원이 연결되면 전원 공급과 동시에 내부 리튬폴리머 배터리가 충전될 수 있게 설계하였다.



[그림 21] 저전력 MCU MSP430FR2433IRGE

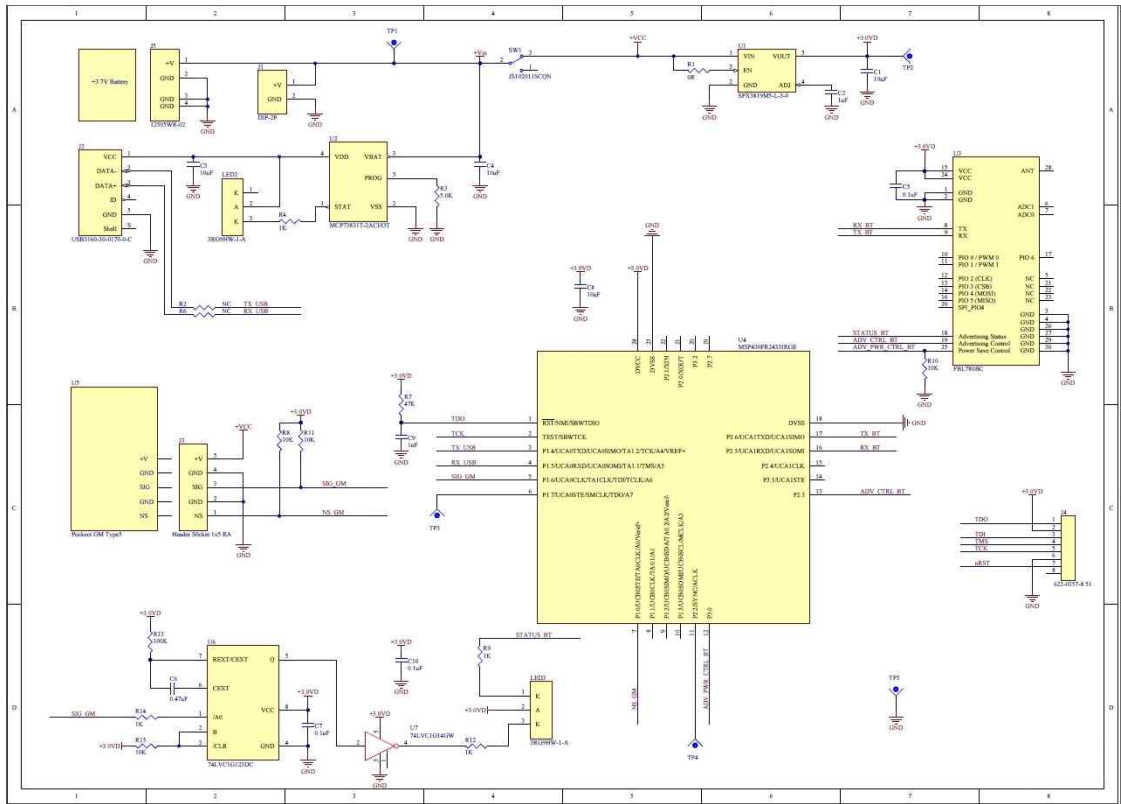
(3) 블루투스 통신모듈

Firmtech사의 FBL780BC 모델을 사용하였고, 저전력으로 블루투스 기능이 지원된다. BLE to BLE 통신 기능이 지원되고, 어플리케이션 개발을 위해 Android 또는 iOS 계열 스마트 장치들과 통신이 가능하다.



[그림 22] Bluetooth FBL780BC

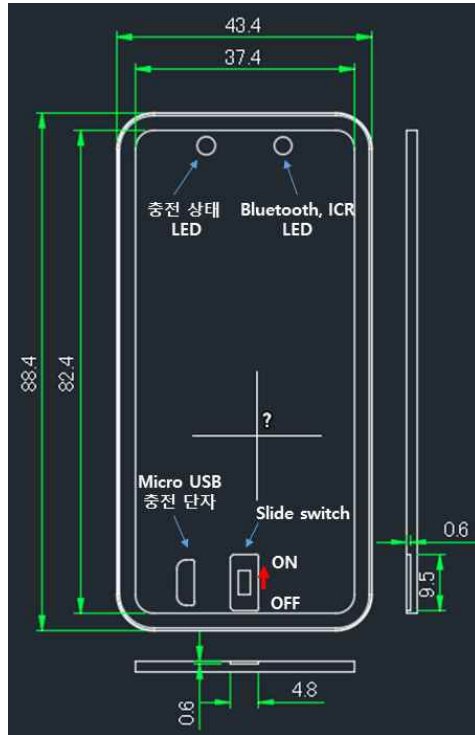
(4) 최종 PCB 보드 제작



[그림 23] 최종 PCB 보드 회로도

(5) 방사선측정기 케이스 가공

충전 상태 및 블루투스 상태, ICR LED를 고려하여 설계하였으며, 최종 보드 설계에 추가된 Micro USB 충전 단자 및 ON-OFF 스위치를 고려하여 설계하였다.



[그림 26] 방사선측정기 케이스 도면

(6) 최종보드 및 방사선측정기 제작

최종 설계된 보드 및 구성품을 바탕으로 방사선측정기 제작



[그림 27] 방사선측정기 제작-보드조립



[그림 28] 방사선측정기 제작 - 완성

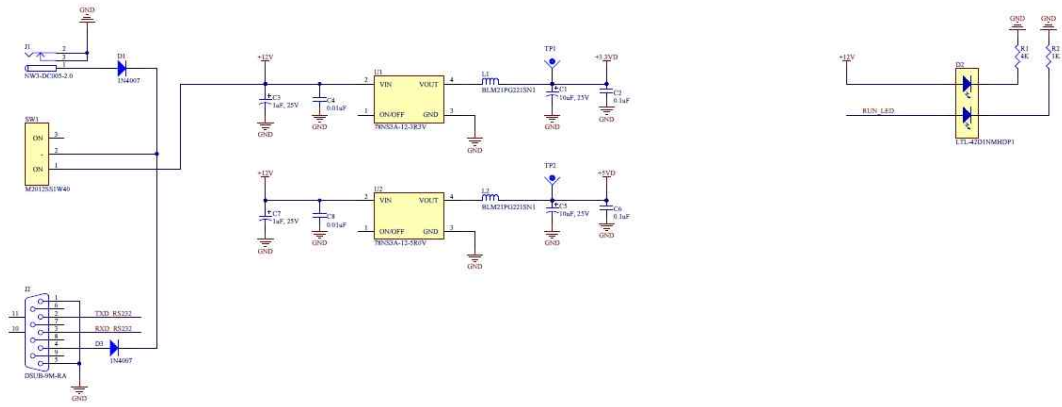
마. 방사선측정기 테스트

PIN 다이오드에 측정된 감마선은 회로도에 따라 CPS(초당 계수)값과 CPM(분당 계수)값으로 출력되며, 제작된 테스트용 DAQ로 측정된 계수값이 정상적으로 출력되는지 시험하였다.

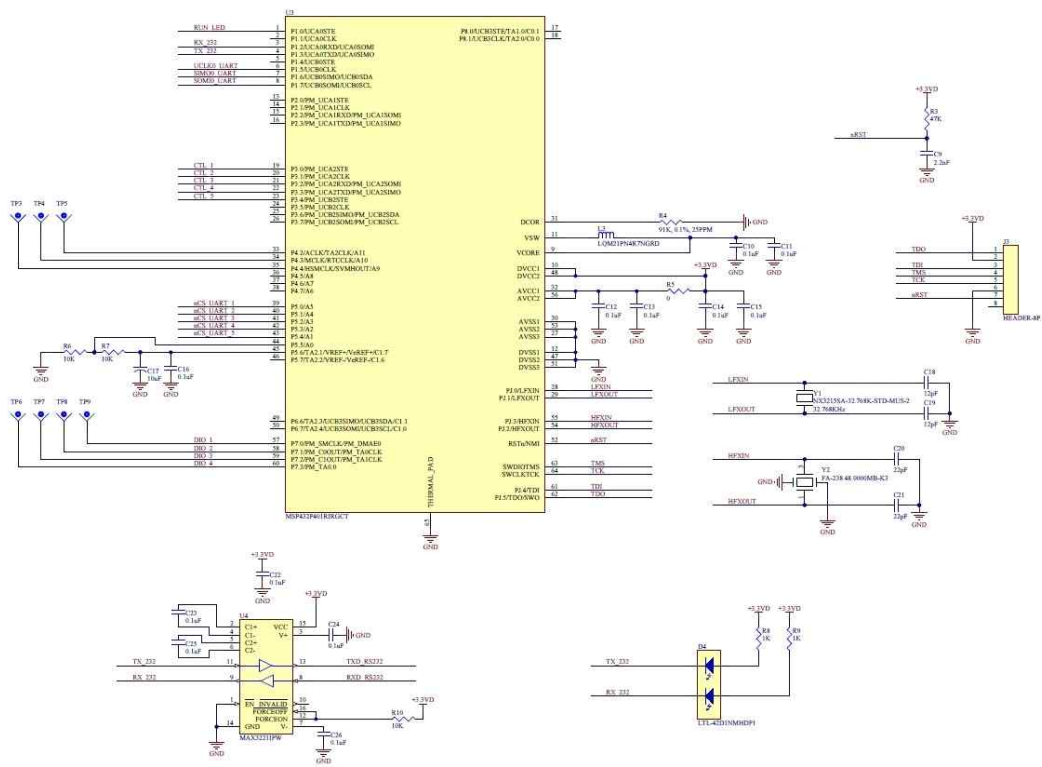
테스트용 DAQ는 12V로 작동되며, 제작된 PC프로그램과 방사선측정기는 RS-232로 통신된다.[11]



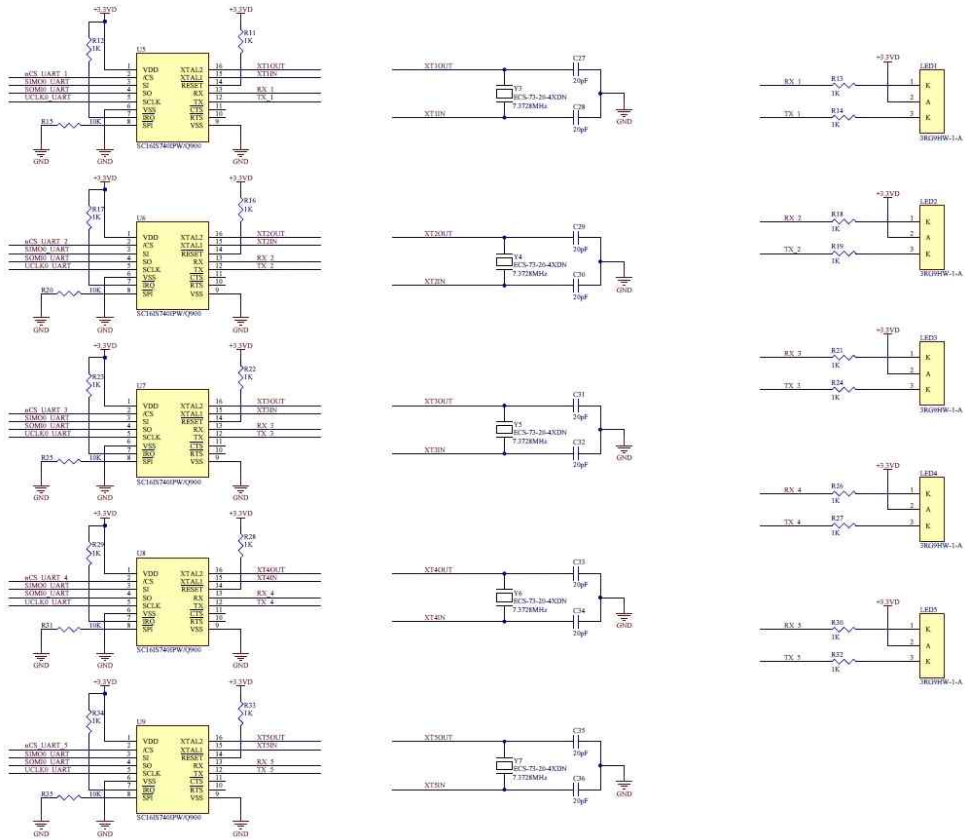
[그림 29] 방사선측정기 테스트 DAQ 제작



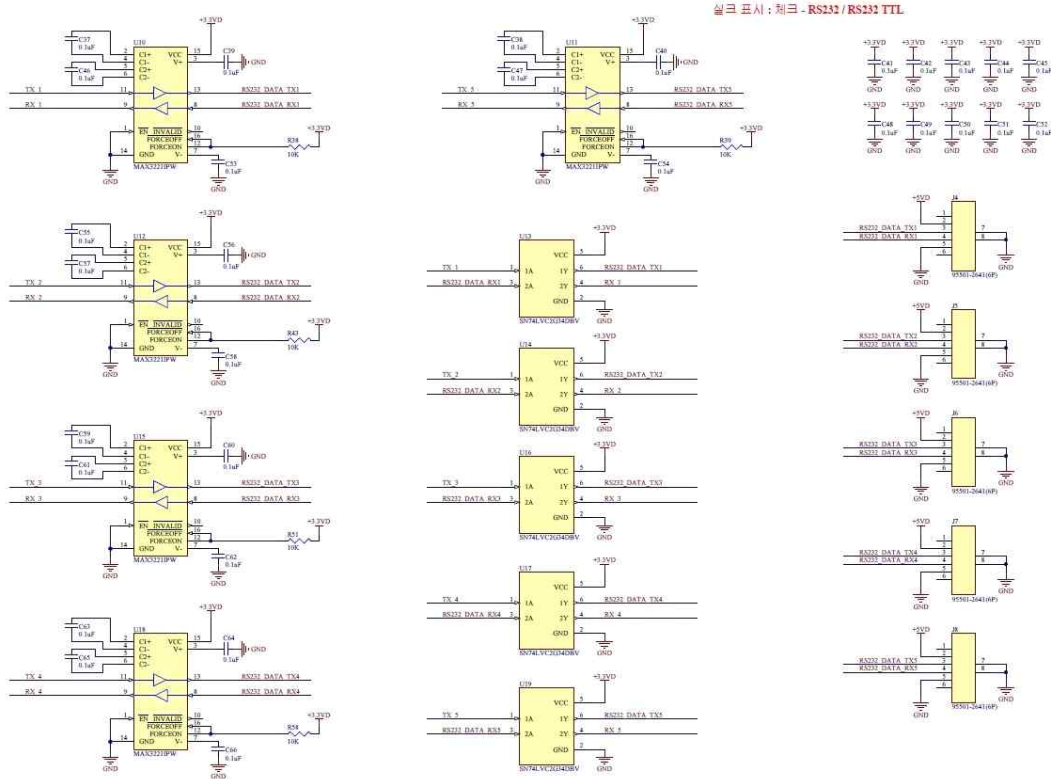
[그림 30] 방사선측정기 테스트 DAQ 제작 회로도-1



[그림 31] 방사선측정기 테스트 DAQ 제작 회로도-2



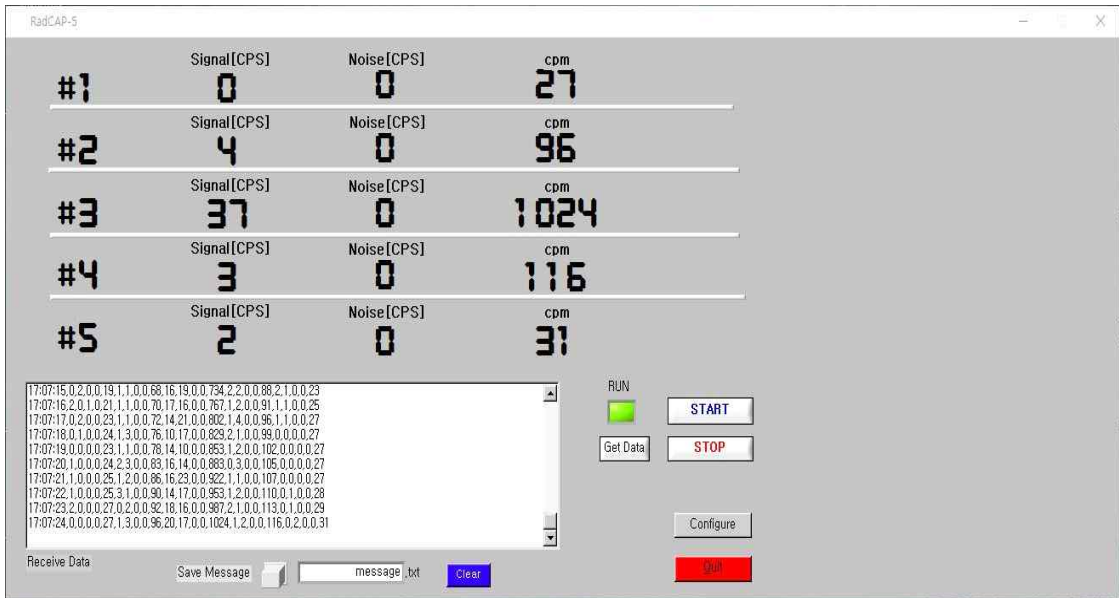
[그림 32] 방사선측정기 테스트 DAQ 제작 회로도-3



[그림 33] 방사선측정기 테스트 DAQ 제작 회로도-4



[그림 34] 테스트용 DAQ와 방사선측정기 연결



[그림 35] 테스트용 프로그램을 이용하여 수신된 데이터(CPS, CPM)

바. 방사선량측정 선형성 테스트

제작된 방사선측정기의 방사선량 측정 선형성 테스트를 위해 객관적 평가가 가능한 기관의 방사선 조사시설에서 선형성 테스트를 실시하였으며, 테스트 결과는 아래 [표 3]과 같다.

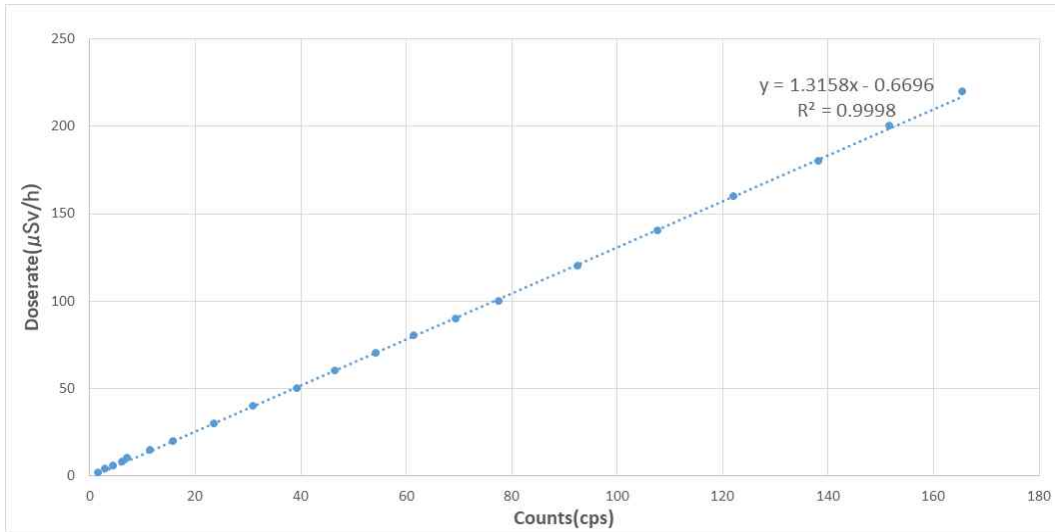
[표 3] 방사선측정기 선형성 테스트

(단위 : CPS)

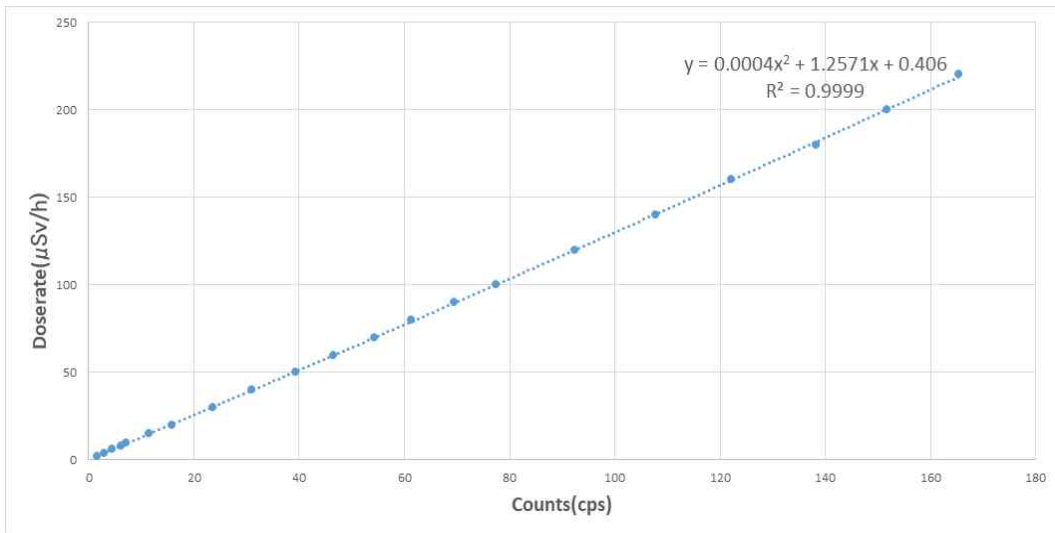
DoseRate ($\mu\text{Sv/h}$)	측정값			
	#1	#2	#3	평균
2	1.5	1.8	1.5	1.6
4	3.1	3.0	2.9	3.0
6	4.4	4.6	4.1	4.4
8	6.2	5.9	6.2	6.1
10	7.4	7.3	6.9	7.2
15	11.4	11.5	11.2	11.4
20	14.9	15.9	16.7	15.8
30	22.4	24.0	24.3	23.6
40	29.5	31.0	32.4	31.0
50	39.2	39.1	40.0	39.4
60	45.5	47.1	46.9	46.5
70	53.4	54.9	54.7	54.3
80	60.8	61.7	61.7	61.4
90	68.6	70.2	69.8	69.5
100	76.3	77.2	79.1	77.5
120	91.5	92.1	93.9	92.5
140	106.2	108.1	108.7	107.7
160	121.8	122.4	122.4	122.2
180	136.2	140.3	138.4	138.3
200	149.9	154.3	150.7	151.7
220	162.1	168.2	165.8	165.4

○ 선형성 테스트에 대한 보정식 산출

- 1차 방정식 : $Doserate(\mu Sv/h) = 1.3158 cps - 0.6696$



[그림 36] 선형성 테스트 1차식 보정곡선



- 2차 방정식 : $Doserate(\mu Sv/h) = 0.0004 cps^2 + 1.2571 cps + 0.406$

[그림 37] 선형성 테스트 2차식 보정곡선

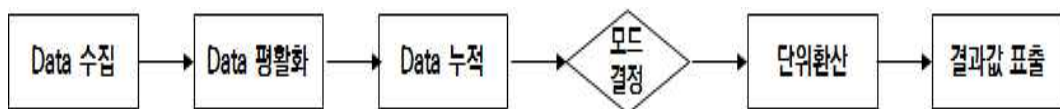


[그림 38] 방사선량 측정 선형성 테스트

방사선측정기에 대한 선형성 시험결과, 직선의 선형성을 보이며 R^2 값은 0.999 수준을 나타내었다. 이는 선형성 테스트 기준요건을 충분히 만족한 결과이며, 이상의 결과에 따라 방사선측정기의 선형성 시험결과에 대한 성능 신뢰성을 확보하였다.

사. 방사선측정 알고리즘 개발

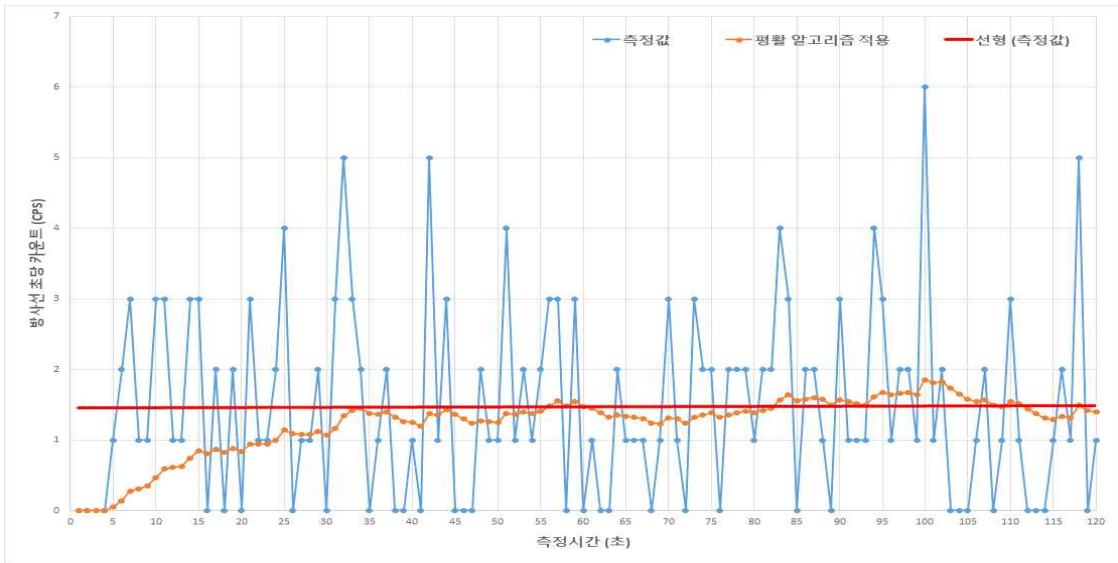
PIN 다이오드를 활용한 휴대용 방사선측정기는 작은 부피와 낮은 검출효율로 인하여 계수율이 낮고, 이로 인해 실제 지시하는 값이 불안정하다. 이와 같은 단점을 보완하고자 불안정한 값을 안정시킬 수 있는 알고리즘과 반응도를 개선할 수 있는 알고리즘을 복합적으로 개발하여 적용하였다.



[그림 39] 알고리즘 흐름도

(1) 평활 알고리즘

PIN 다이오드 센서는 다른 방사선측정 센서보다 부피가 작고 얇아서, 입사되는 감마선 측정 효율이 낮고 불안정하며, 이를 보정하기 위한 일환으로 평활 알고리즘을 이용하였다. 평활 알고리즘은 변화폭이 큰 데이터 집단을 균일하게 분포하도록 데이터를 가공하는 알고리즘을 의미하며, [그림 42]는 불안정한 계수값에 평활 알고리즘을 적용시켜 안정적인 계수값이 출력되는 것을 나타내었다. 측정 계수의 추세선과 비교하였을 때, 크게 차이나지 않는 범위에서 데이터가 안정화되었다.



[그림 40] 평활 알고리즘 적용 데이터 비교

평활화 기법으로는 RC Low-pass filter식이 활용되었으며, 계산식은 다음과 같다.[12][13]

$$Alpha = \frac{\Delta T}{RC + \Delta T}$$

$$Y(i) = Alpha \times x(i) + (1 - Alpha) \times Y(i - 1)$$

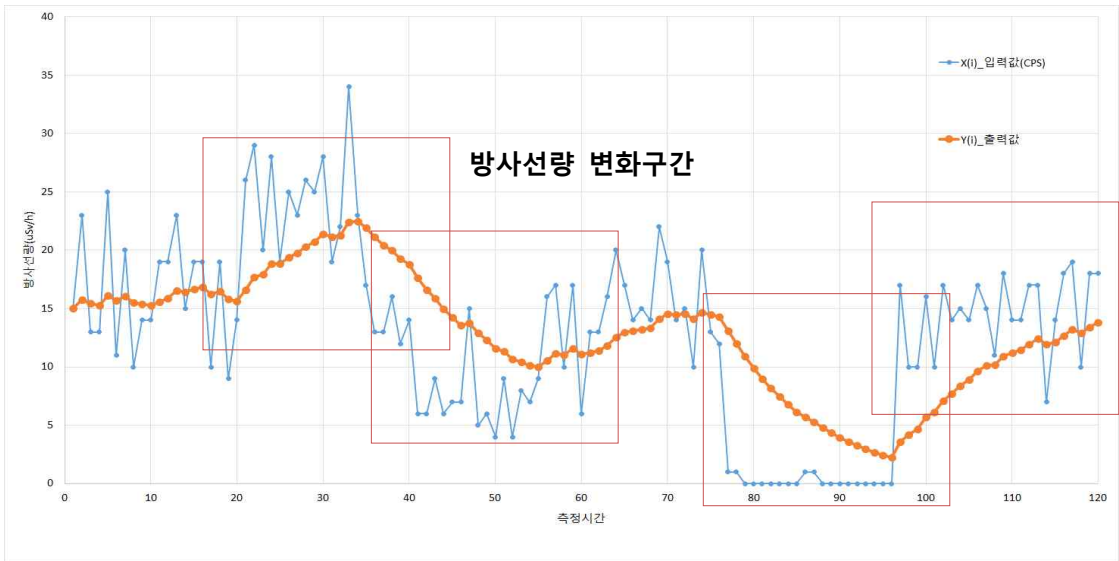
- Alpha : 이전 data와 비교하여 신규 data가 관여하는 정도. 즉, Alpha값이 클수

록 신규 data가 데이터 출력에 관여하는 정도가 큼.

- RC : data 평활화 정도
- $x(i)$: 수집된 count 값(cps)
- $Y(i)$: 평활화 식이 적용된 출력값(cps)

(2) 누적평균과 이동평균의 상호보완 알고리즘 개발

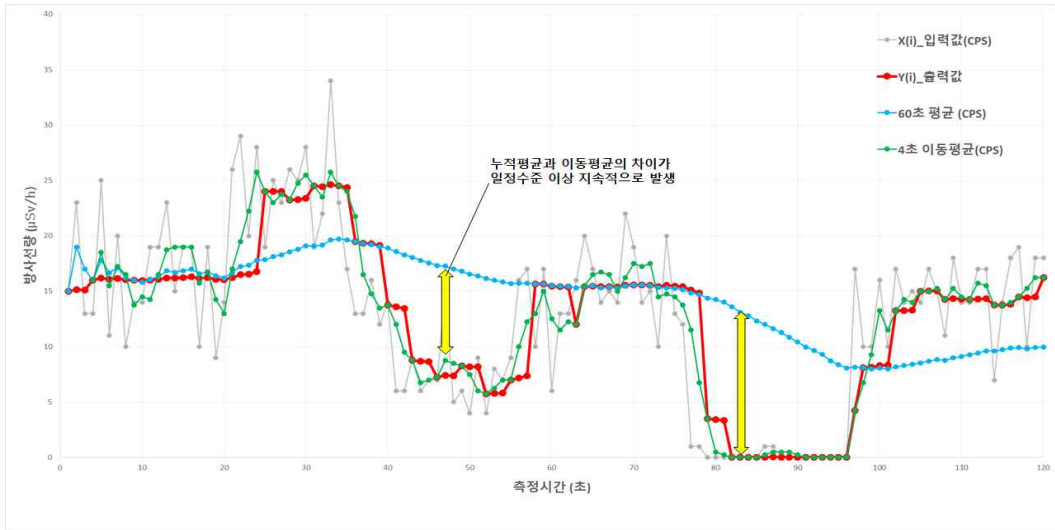
[그림 41]은 평활 알고리즘만 적용할 경우, 방사선량의 급격한 변화에 대해서 방사선측정기의 반응도가 낮음을 나타낸다.



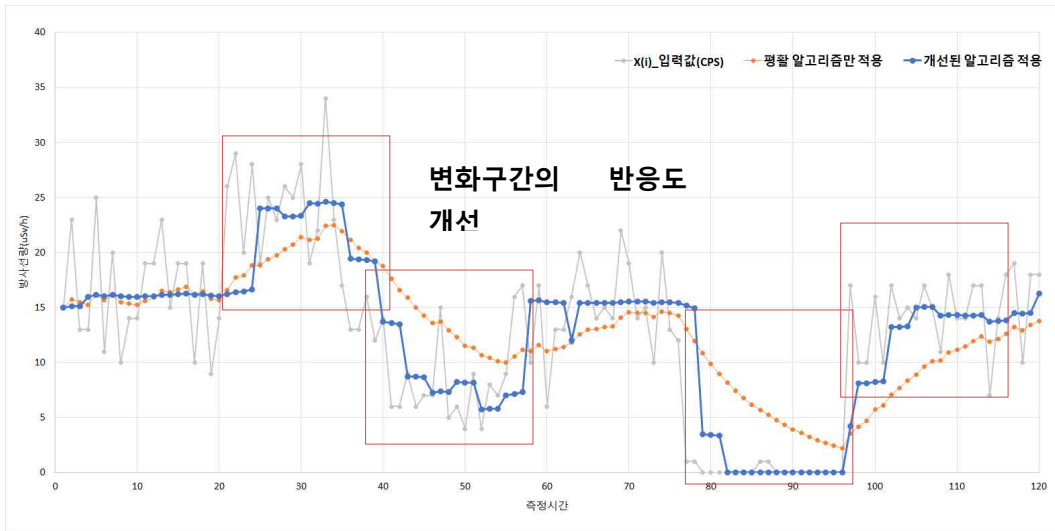
[그림 41] 방사선량의 급격한 변화 시 평활 알고리즘만 적용

급격한 변화에 대한 방사선측정기의 반응도를 개선하기 위해서 평활 알고리즘과 복합적으로 사용할 수 있는 알고리즘 개발하였다.[8]

누적평균과 이동평균의 상호보완적인 알고리즘은 장시간의 누적평균과 단시간의 이동평균값을 둘 다 저장하고, 이 두 값의 차이가 지속적으로 일정수준 이상으로 감지될 경우, 순간적인 데이터, 즉, 단시간의 이동평균값을 선택하여 사용하고, 반대로 두 값이 차이가 적으면 안정적인 누적평균값을 선택하여 사용하도록 설계하였다.[그림 42]



[그림 42] 누적평균과 이동평균의 상호보완 알고리즘 적용



[그림 43] 개선된 알고리즘 비교

3. 어플리케이션 개발

가. 어플리케이션 개요

방사선측정기와 연동이 가능한 스마트기기 어플리케이션을 개발하였다. 방사선측정기와 어플리케이션은 블루투스 통신을 하며, 디스플레이가 없는 방사선측정기에서 측정된 방사선량을 표출하는 디스플레이의 역할을 한다.

측정된 감마선 계수값은 (2-사 항)에서 설명한 알고리즘을 통해 정확한 방사선량 수치로 환산되어 표시된다. 취득한 정보는 자동으로 저장되며, 방사선량값과 스마트기기 GPS정보 및 사용자정보(핸드폰 번호 등)가 일괄적으로 중앙서버 프로그램으로 전송된다. 일정 수준 이상의 방사선량이 측정된 경우, 알람이 울리고 경고메시지가 표출된다. 또한, 중앙서버 프로그램에서 전송된 상황대처 알림 메시지를 수신하여 화면에 표출할 수 있다.

나. 블루투스 통신 프로토콜

방사선측정기의 전원이 켜지면 블루투스 BLE가 대기모드 상태로 있다가 어플리케이션 프로그램과 연결되면 1초 간격으로 0.5초 데이터 2개와 1분 누적데이터를 별도로 요청 패킷 없이 어플리케이션으로 전송한다. 연결이 끊어지면 데이터는 전송되지 않고 다시 대기상태가 된다.

0.5초 데이터 2개를 합치면 1초 동안의 방사선계수(CPS)가 되며, 누적 방사선 이벤트는 장치 부팅 후 60초 이후부터 데이터가 표시된다. 그 이후는 내부 moving filter에 의해 계수값이 갱신된다.

[표 4] 블루투스 통신 패킷

offset	value	설명
0..3	“0002”	0.5초 동안의 방사선 이벤트 수
4..7	“0001”	0.5초 동안의 방사선 이벤트 수
8..15	“00000023”	60초 동안의 누적 방사선 이벤트 수

0.5초 방사선 이벤트 수는 16비트 값으로 0x0000 ~ 0xFFFF의 값을 ASCII로 변경하여 전송되며, 60초 동안의 누적 방사선 이벤트 수는 32비트 값으로 0x00000000 ~ 0xFFFFFFFF의 값을 ASCII로 변경하여 전송된다.

다. 어플리케이션 제작

(1) Adroid 개발툴

방사선측정기와 연동 가능한 어플리케이션을 제작한다. Android 개발툴은 Android studio 3.4.1을 사용하였으며, Android 테스트 장비로 V30 OS 8.0 과 갤럭시노트 4 OS 6.0이 사용하였다.

(2) 사용 라이브러리

파이어베이스 메시지를 위한 라이브러리를 사용하였으며, 다음과 같다.

: 'com.google.firebase:firebase-core:16.0.9'

: 'com.google.firebase:firebase-messaging:18.0.0'

(3) 사용 기술

서버프로그램과 통신하기 위해 Tcp/ip 소켓 통신이 사용되었고, 방사선측정기와 블루투스 통신을 위해 BLE 통신을 사용하였다. 서버 프로그램으로부터 받은 푸시 데이터를 데이터베이스로 저장을 위해 SQLITE 및 파이어베이스 프로그램을 사용하였다.

(4) 어플리케이션 UI 디자인 및 화면 설명

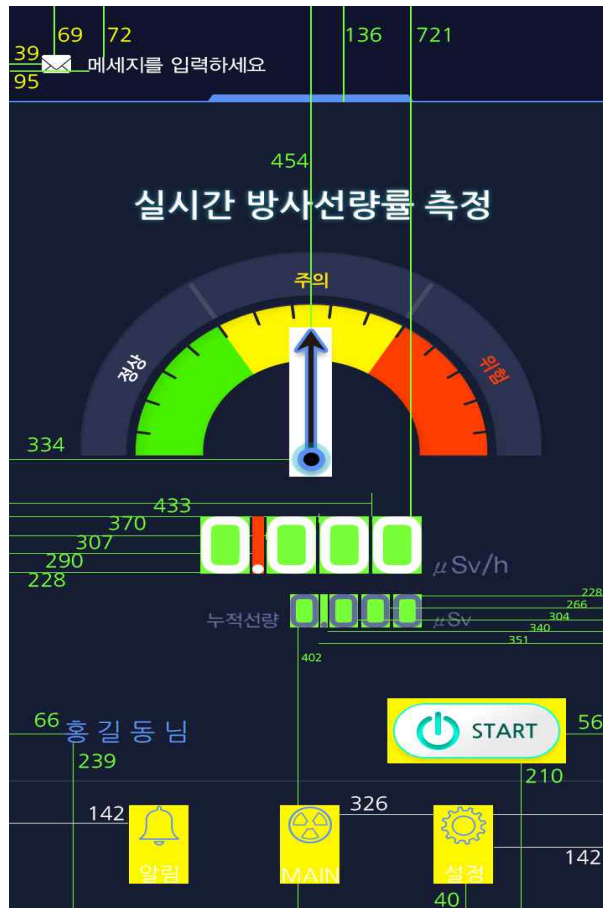
[그림 45]은 제작된 어플리케이션의 메인화면을 나타낸다. 실시간 방사선량률 계이저와 측정값은 한눈에 알아볼 수 있도록 가독성을 고려하여 디자인되었다.

START버튼을 누르면 방사선측정기와 어플리케이션이 연동되며 바로방사선 측정을 시작한다.

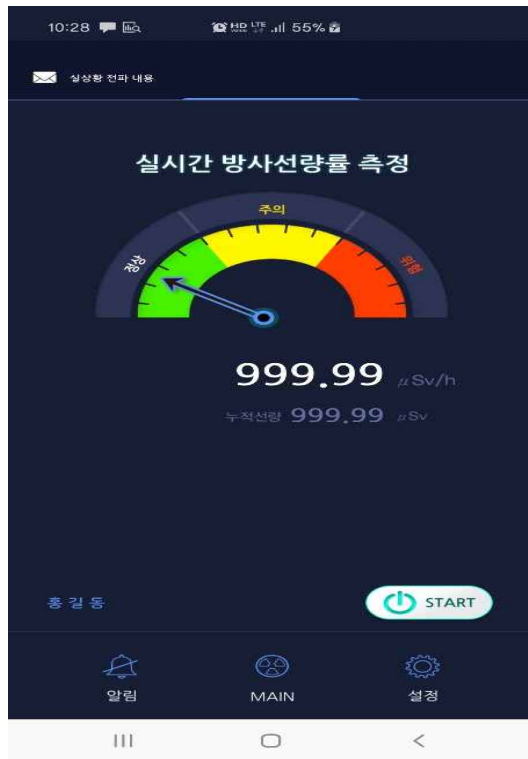
중앙서버 프로그램으로 받은 푸시 메시지는 푸시 알림배너로 나타나며, 상단의 실시간 전파 내용을 누르면 중앙서버 프로그램에서 받은 푸시 메시지 확인이 가능하다. [그림 48]

[그림 49] 은 설정화면은 나타낸 것이다. 방사선측정기와 어플리케이션, 어플리케이션과 중앙서버 프로그램 연결을 관리할 수 있다.

알림버튼을 이용하여 경고 및 위험 알람을 켜고 끌 수 있으며, 경고 및 위험수준의 방사선량이 측정되면 경고알람과 함께 진동이 동반된다.



[그림 44] 어플리케이션 UI디자인 가이드



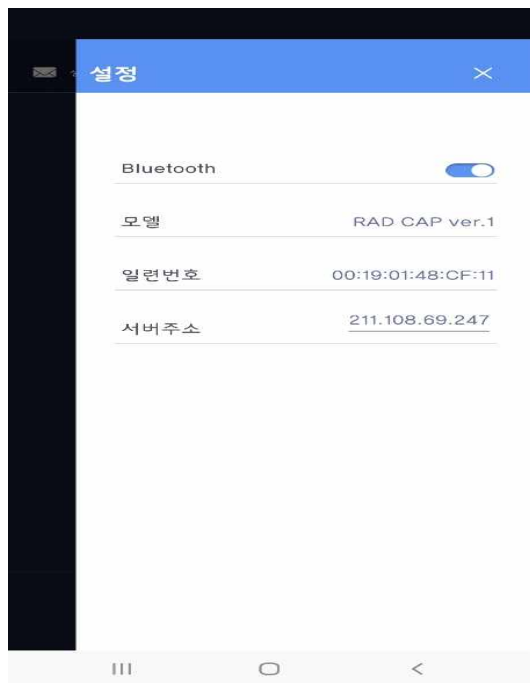
[그림 45] 어플리케이션 메인화면



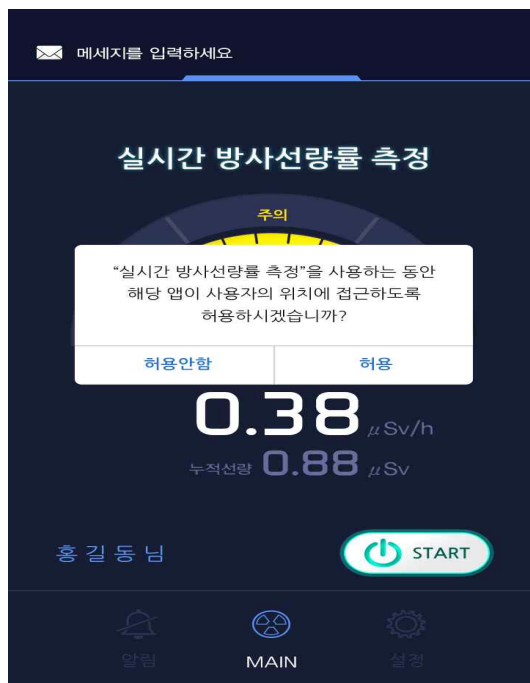
[그림 46] 방사선측정기와 어플리케이션 연결



[그림 47] 위험수준의 방사선량 측정시 경고알람



[그림 48] 어플리케이션 설정화면



[그림 49] 어플리케이션 실행 시 위치 접근 허용 메시지(GPS정보 활용)

4. 서버프로그램 개발

가. 서버프로그램 개요

방사선측정기로부터 측정된 방사선량과 GPS정보 및 사용자정보를 취득하여 데이터베이스를 구축한다. 중앙서버 프로그램을 이용해서 사용자를 등록하고 관리할 수 있다. 사용자로부터 받은 정보를 활용하여 방사선모니터링시스템(RMS)으로 활용이 가능하게 제작하였다.

방사능방재 훈련 및 유사시 방사선량이 높게 측정된 사용자에게 긴급 알림 문자 및 상황대처 메시지를 전달함으로써 긴박한 방사능사고 현장에서 신속한 현장대처가 가능할 것이라고 기대된다.

나. 서버프로그램 개발내용

(1) 데이터베이스(DB)

데이터베이스 프로그램으로 MariaDB 프로그램을 사용하였고, department, user, data, setting 테이블로 구성된다. 사용자의 네트워크 끊김 상황 처리 기능 및 데이터베이스 scheduler 이용률 이용하여 특정 시간이 지나면 자동으로 실행되게 설계하였다.

(2) 서버 프로그램

네트워크 통신 프로토콜은 TCP/IP이며, 다음 [표 5]와 같다.

[표 5] 서버프로그램 통신 프로토콜

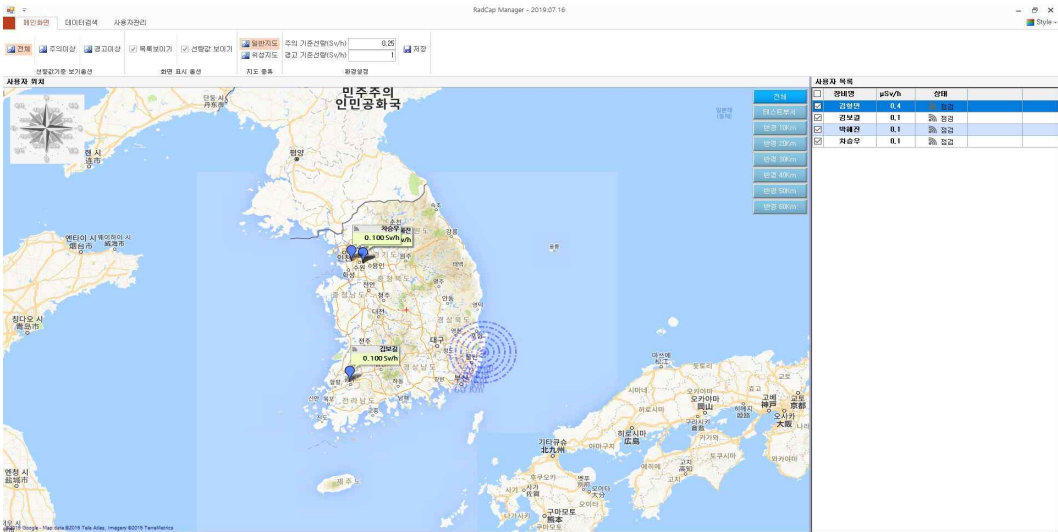
구분	데이터 구분	내용
S0101	로그인 프로토콜	<ul style="list-style-type: none"> · 전화번호를 key값으로 user table 검색하여 있으면 해당 휴대폰의 이름 반환 후 푸시토큰 저장 · user table 검색은 별도 쓰레드로 처리(별도 DB connection 사용),현재 2초마다 갱신
S0102	데이터 전송 프로토콜	<ul style="list-style-type: none"> · 5초(변경가능)마다 전송 됨 · 받은 데이터의 마지막 데이터를 user테이블에 선량률, 위치, 상태(정상, 주의, 경고)저장 · 상태(정상, 주의, 경고)변경의 기준은 setting 테이블 값 이용 · 중간에 변경될 수 있는 값이므로, 특정 주기(10초)마다 갱신 · 별도 connection 사용 · 받은 데이터를 Data 테이블에 저장

(3) 서버 프로그램 UI디자인 및 화면설명

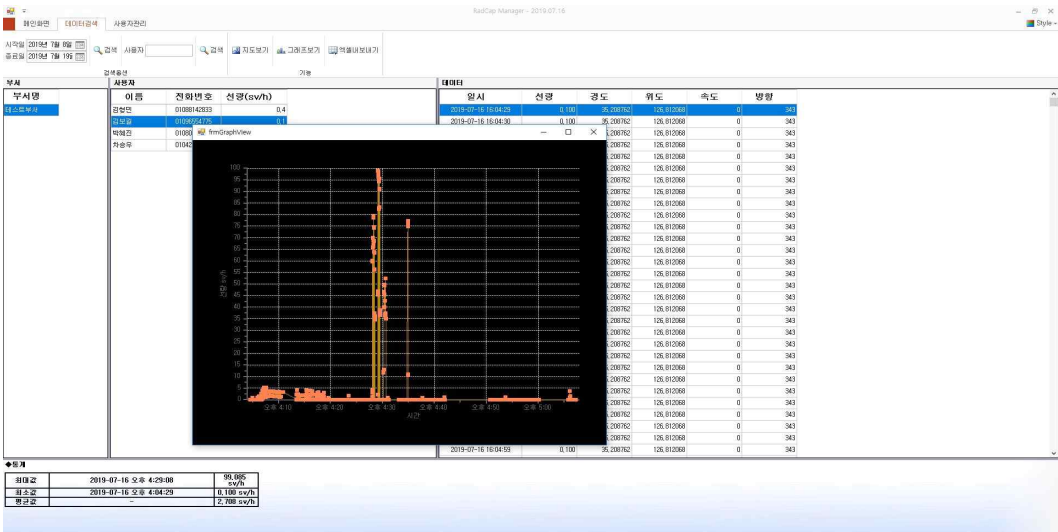
[그림 51]은 제작된 서버프로그램의 메인화면을 나타낸다. 등록된 사용자는 목록으로 표시되며, 방사선량 및 위치정보를 기반으로 지도에 나타난다.

[그림 52]는 데이터검색화면을 나타내며, 등록된 사용자에게 대해서는 특정 일자 데이터 검색이 가능하고, 시간당 방사선량 값을 그래프로 확인이 가능하다.

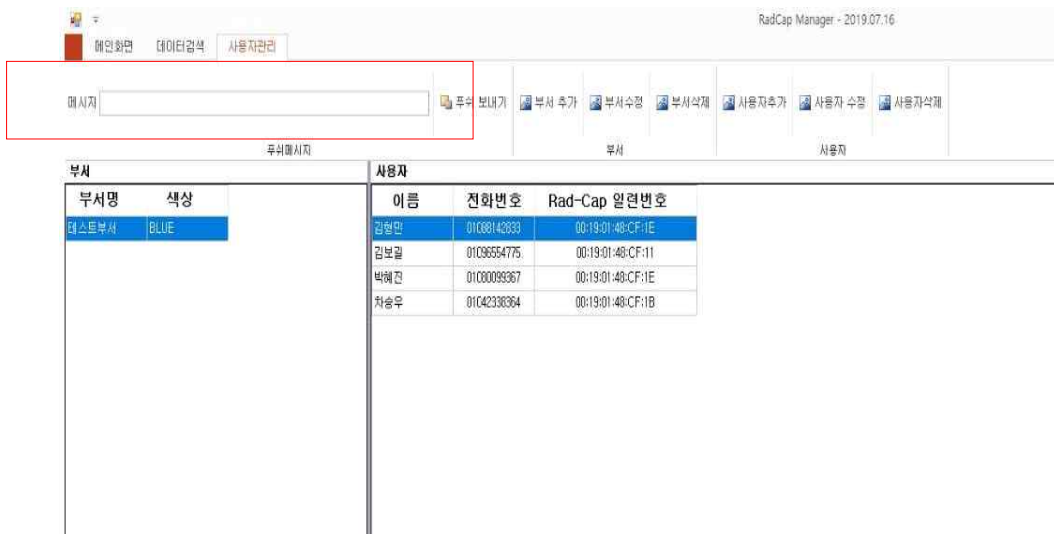
[그림 53]는 사용자관리 화면을 나타내며, 신규 사용자에게 대한 사용자 추가 및 수정, 삭제가 가능하다. 어플리케이션에서 전달받은 사용자 정보와 비교하여 등록된 사용자일 경우, 반대로 어플리케이션으로 등록된 사용자 정보를 전송하여 호출될 수 있도록 설계되었으며, 푸시 알림 메시지는 등록된 사용자에게 한하여 전송할 수 있다.



[그림 50] 서버프로그램 메인화면



[그림 51] 서버프로그램 데이터 검색



[그림 52] 서버프로그램 사용자 관리 및 푸시 메시지 전송

제 2절 연구개발 결과

1. 방사선측정기 성능평가

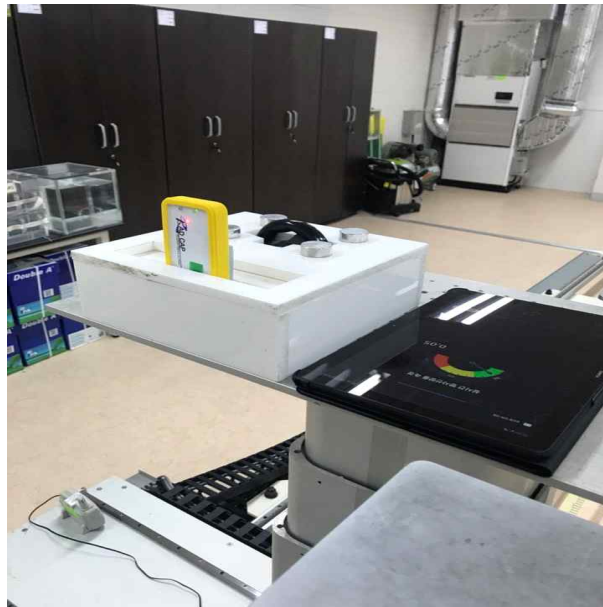
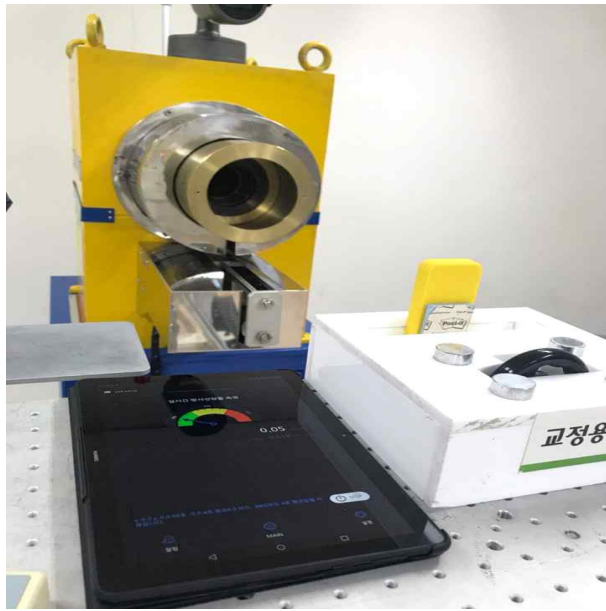
가. 방사선량률 측정

개발된 방사선측정기의 방사선량 측정 목표는 $0.05 \sim 200 \mu\text{Sv/h}$ 이며, KOLAS 인증 기관에 의뢰하여 방사선량률을 측정하였다. $0.05 \mu\text{Sv/h}$ 는 환경방사능 백그라운드 수준이며, KOLAS 인증기관의 방사선 조사실에서 조사할 수 있는 가장 낮은 값인 $10\mu\text{Sv/h}$ 에서 목표 값과 가장 근사치인 $170\mu\text{Sv/h}$ 까지 조사하여 성능을 평가하였으며, 최대 방사선량률인 $200\mu\text{Sv/h}$ 선형성 테스트에서 구현하였다.

제작된 방사선측정기 5대 모두 기준 방사선량률에 대한 백분율 목표치인 허용범위 $\pm 20\%$ 미만인 평균 6.62% 수준이었으며, 결과는 [표 6]에 나타났다.

나. 에너지 응답비

방사성핵종에 대한 응답 에너지 의존성은 ^{137}Cs 에 대해서 응답비가 $0.7 \sim 1.3$ 수준을 목표로 하였으며, 측정결과 ^{137}Cs 에 대한 응답비는 0.934 수준으로 목표범위 이내를 만족하였다.[표 6].



[그림 53] 방사선조사시설을 이용하여 방사선량 측정

[표 6] 방사선량률 측정결과

(단위 : $\mu\text{Sv/h}$)

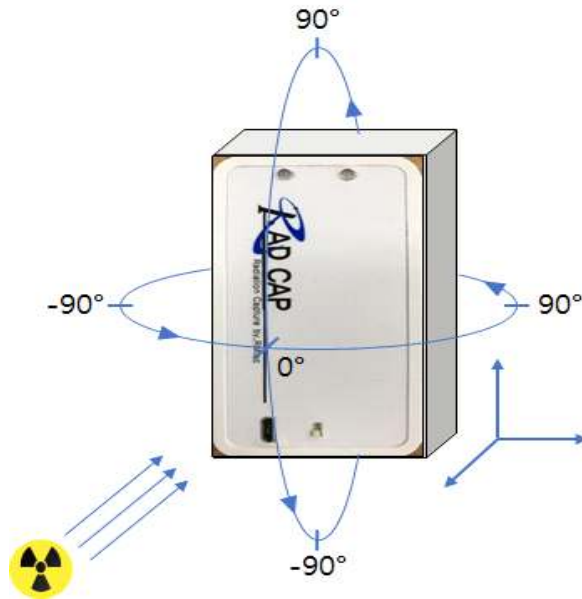
방사선 측정기	기준 선량률	지시값 평균	기준선량률에 대한 상대오차(%)	방사능핵종(^{137}Cs)에 대한 응답비
#1	10	9.925	0.75	0.993
	50	46.480	7.04	0.930
	80	73.740	7.83	0.922
	100	93.920	6.08	0.939
	130	118.330	8.98	0.910
	170	157.91	7.11	0.929
#2	10	9.778	2.22	0.978
	50	47.510	4.98	0.950
	80	74.460	6.93	0.931
	100	95.740	4.26	0.957
	130	122.970	5.41	0.946
	170	157.510	7.35	0.927
#3	10	9.878	1.22	0.988
	50	45.180	9.64	0.904
	80	72.840	8.95	0.911
	100	92.150	7.85	0.922
	130	117.910	9.30	0.907
	170	158.190	6.95	0.931
#4	10	9.390	6.10	0.939
	50	47.820	4.36	0.956
	80	72.900	8.87	0.911
	100	91.610	8.39	0.916
	130	121.580	6.48	0.935
	170	154.690	9.01	0.910
#5	10	9.148	8.52	0.915
	50	47.670	4.66	0.953
	80	73.700	7.88	0.921
	100	93.750	6.25	0.938
	130	120.460	7.34	0.927
	170	156.840	7.74	0.923
상대오차(%) 및 응답비의 평균			6.62	0.934

다. 측정 방향의존성

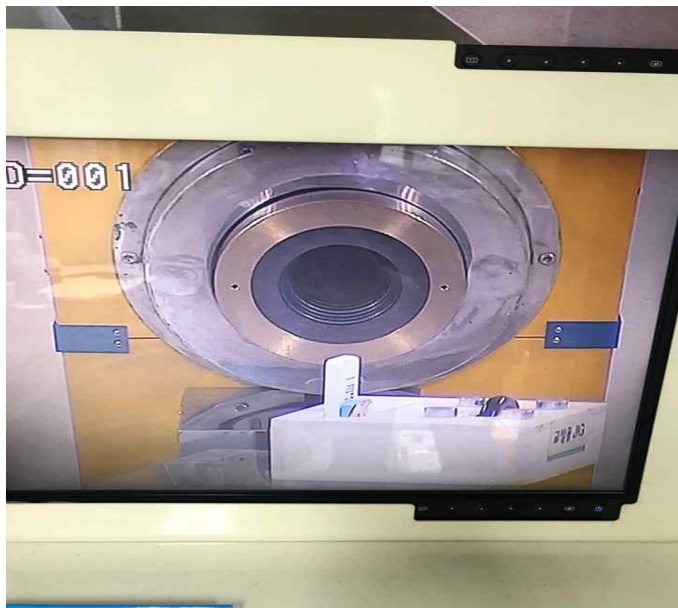
방사선조사장치에서 조사되는 기준 방사선의 조사 각도를 좌우 및 상하 각도에 대해 측정값을 비교하였다.[14]

방사선 조사 방향 0°를 기준 방향으로 하고, 수평 및 수직의 2 평면에 대하여 좌우 및 상하 각각 30°, 60°, 90° 방향에서 방사선을 조사하여 측정하였다.[표 7] [표 8] 방사선측정기 5대 모두 대부분 기준 방향에 대한 백분율의 허용범위 $\pm 20\%$ 미만이었지만, 특정 각도에서 허용범위를 넘어서는 결과를 얻었다.

이는 방사선측정 센서가 방사선측정기 위쪽에 편향되어 있기 때문으로 예상된다. 방사선측정기 아래 방향에서 조사되는 각도인 수직 90°에 대한 측정값은 낮은 민감도로 인해 낮게 측정된 것으로 판단되며, 향후 성능개선 필요하다.



[그림 54] 방향 의존성 테스트 회전 각도



[그림 55] 방사선 조사 방향 의존성 테스트

[표 7] 방사선 조사 방향 의존성 측정결과 (방향 : 좌·우)

방사선측정기	방향	지시값 평균 ($\mu\text{Sv/h}$)	기준선량률에 대한 상대오차(%)	비고
#1	-90°	82.12	13.8	
	-60°	88.08	7.5	
	-30°	94.05	1.3	
	0°	95.25	-	기준값
	30°	94.76	0.5	
	60°	89.64	5.9	
	90°	85.81	9.9	
#2	-90°	80.37	15.9	
	-60°	86.61	9.3	
	-30°	93.51	2.1	
	0°	95.54	-	기준값
	30°	93.71	1.9	
	60°	89.63	6.2	
	90°	89.30	6.5	
#3	-90°	81.27	14.9	
	-60°	85.50	10.4	
	-30°	94.80	0.7	
	0°	95.46	-	기준값
	30°	91.350	4.1	
	60°	86.94	8.9	
	90°	86.64	9.2	
#4	-90°	80.79	15.6	
	-60°	86.60	9.5	
	-30°	93.77	2.0	
	0°	95.73	-	기준값
	30°	94.84	0.9	
	60°	87.24	8.9	
	90°	85.44	10.7	
#5	-90°	82.75	14.0	
	-60°	87.86	8.7	
	-30°	94.43	1.9	
	0°	96.22	-	기준값
	30°	95.58	0.7	
	60°	89.50	7.0	
	90°	87.27	9.3	

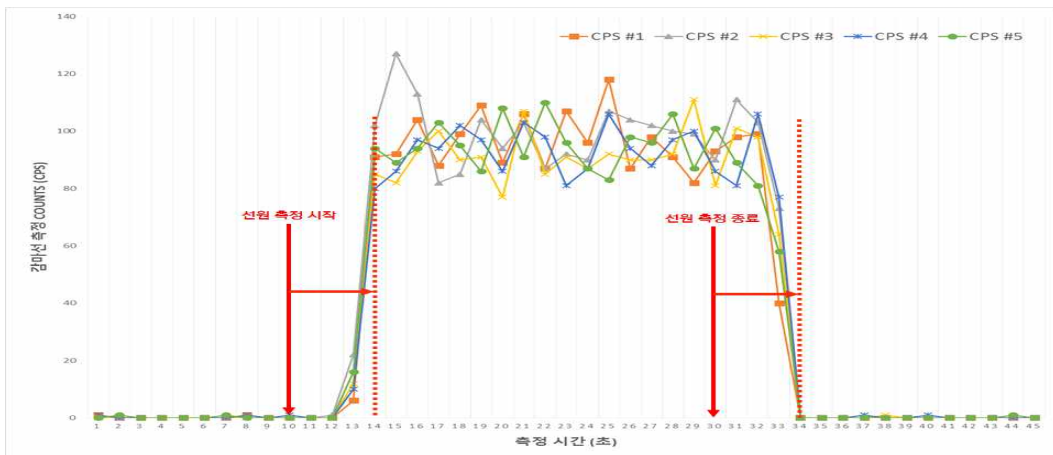
[표 8] 방사선 조사 방향 의존성 측정결과 (방향 : 상·하)

방사선측정기	방향	지시값 평균 ($\mu\text{Sv/h}$)	기준선량률에 대한 상대오차(%)	비고
#1	-90°	89.92	12.3	
	-60°	94.56	7.8	
	-30°	102.25	0.3	
	0°	102.56	-	기준값
	30°	99.15	3.3	
	60°	94.42	7.9	
	90°	50.71	50.6	목표치 미달
#2	-90°	91.46	10.1	
	-60°	95.46	6.2	
	-30°	99.48	2.2	
	0°	101.73	-	기준값
	30°	99.87	1.8	
	60°	94.03	7.6	
	90°	41.62	59.1	목표치 미달
#3	-90°	91.71	9.0	
	-60°	94.95	5.8	
	-30°	99.60	1.2	
	0°	100.78	-	기준값
	30°	98.41	2.4	
	60°	94.42	6.3	
	90°	50.16	50.2	목표치 미달
#4	-90°	91.91	9.9	
	-60°	94.76	7.1	
	-30°	99.44	2.5	
	0°	102.02	-	기준값
	30°	98.88	3.1	
	60°	92.79	9.0	
	90°	48.95	52.0	목표치 미달
#5	-90°	91.90	10.6	
	-60°	95.34	7.2	
	-30°	100.32	2.4	
	0°	102.79	-	기준값
	30°	98.46	4.2	
	60°	92.87	9.7	
	90°	47.71	53.6	목표치 미달

라. 응답시간

방사선측정기에 측정되는 방사선량의 순간 변화에 따른 응답시간 측정하였다. 방사선측정기 5개를 대상으로 ^{137}Cs (방사능핵종) 시험선원(Check source)을 이용하여 순간 변화하는 방사선량 측정하였으며, 측정 결과, 시험선원 측정 후 4~5초 이후에 순간 변화하는 값을 확인하였다.[그림 59]

이는 목표치인 응답시간 30초 이내에 적합한 시간으로 만족스러운 결과이다.



[그림 56] 방사선 측정 응답시간

마. 온도·습도 테스트

방사선측정기의 환경적인 영향 성능을 테스트하기 위해서 해당 조건의 온도 및 습도로 환경을 설정하고, 기준 방사선량과 비교하였다.

온도 20℃에서의 지시값을 기준으로 하며, 주위 온도 -5℃, 5℃, 20℃, 35℃ 및 45℃의 각각의 환경 아래에 방사선측정기를 동작 상태로 하여 1분 이상 방치하고 지시값을 기준값과 비교하였으며, 습도 65%에서의 지시값을 기준으로 하고, 주위 온도를 35℃로 하고 상대 습도 65% 및 90%의 각각의 환경 아래에 서베이미터를 동작 상태로 하여 1시간 이상 방치하고 지시값을 기준값과 비교하였다.

환경영향에 대한 내습성은 최대 ±10%, 온도 의존성은 최대 ±20%로 목표 설정하였

으며, 방사선측정기 5대 모두 목표 수준을 만족하였으며, 결과는 다음 [표 9]와 같다.



[그림 57] 방사선측정기 온·습도 성능시험

[표 9] 방사선측정기 온·습도 성능시험

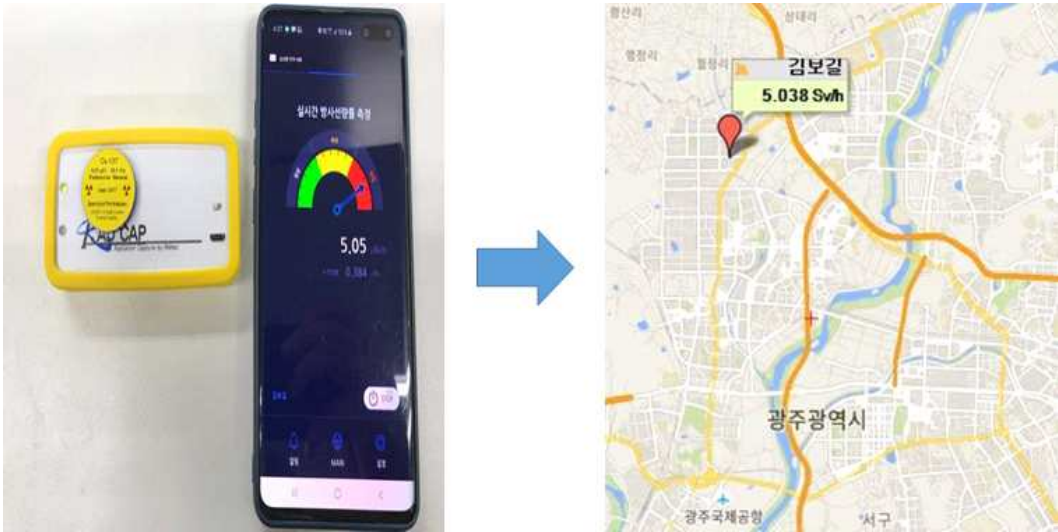
구분	방사선측정기	온도 / 습도	측정결과 ($\mu\text{Sv/h}$)
온도특성시험	#1	20℃	10.5
		5℃	10.2
		-5℃	10.4
		35℃	10.7
		45℃	10.5
습도시험	#1	35℃, 65% R.H.	10.4
		35℃, 90% R.H.	10.5
온도특성시험	#2	20℃	9.74
		5℃	9.60
		-5℃	9.97
		35℃	9.87
		45℃	10.0
습도시험	#2	35℃, 65% R.H.	9.98
		35℃, 90% R.H.	9.88
온도특성시험	#3	20℃	9.72
		5℃	9.87
		-5℃	9.34
		35℃	9.80
		45℃	9.88
습도시험	#3	35℃, 65% R.H.	9.56
		35℃, 90% R.H.	9.75
온도특성시험	#4	20℃	9.86
		5℃	9.79
		-5℃	9.97
		35℃	9.94
		45℃	10.3
습도시험	#4	35℃, 65% R.H.	9.85
		35℃, 90% R.H.	9.79
온도특성시험	#5	20℃	9.77
		5℃	9.91
		-5℃	9.94
		35℃	9.72
		45℃	9.47
습도시험	#5	35℃, 65% R.H.	9.73
		35℃, 90% R.H.	9.71

2. 방사선측정기와 서버 프로그램 간 양방향 통신

가. 양방향 통신 구현

(1) 방사선측정기와 어플리케이션에서 서버프로그램으로 데이터전송

방사선측정기에서 측정되어 어플리케이션에서 표출되는 방사선량값은 스마트기기 인터넷 통신으로 서버프로그램으로 전달되었으며, 서버프로그램에서 수 초 이내에 어플리케이션과 동일한 방사선량 값이 표출되었다. 또한, 스마트기기의 GPS정보를 활용하여 방사선측정기의 사용자 위치가 함께 표시되었으며, 이를 활용하여 사용자위치에 대한 방사선모니터링 기능이 구현되었다.



[그림 58] 서버프로그램에서 수신된 데이터 표출

(2) 서버프로그램에서 사용자 어플리케이션으로 데이터전송

위험 수준의 방사선량이 측정되어 서버프로그램으로 전송한 방사선측정기 사용자에게 서버프로그램에서 위험경고 메시지를 해당 사용자에서 전송하였다. 메시지를 전송하면 수 초 이내에 사용자 어플리케이션에 메시지가 수신되었다.

이는 본 연구개발의 핵심적인 방법으로, 이를 토대로 원자력시설 사고 시 위험 지역에 위치한 방재요원에게 해당지역 이탈 및 안전지역으로 이동 명령 등 현장

맞춤형 지시를 통한 신속한 방재활동으로 방재요원의 피폭 저감화 달성 및 대피 주민들을 방사능으로부터 보호할 수 있을 것이다.



[그림 59] 사용자 어플리케이션에서 수신된 긴급메시지

제 3장 결론

PIN 다이오드 센서를 활용한 소형화된 휴대용 방사선측정기와 스마트기기(스마트폰, 태블릿 PC 등)와 연동할 수 있는 어플리케이션을 제작하여 사물인터넷 기반의 방사선 측정기를 개발하였다. 또한, 이 측정시스템과 양방향통신이 가능한 서버 프로그램을 개발함으로써 스마트한 방재시스템을 구현하였다.

방사선측정기에서 측정된 감마선 카운트는 선형성 테스트를 통해 방사선량으로 환산하였다. PIN 다이오드의 불안정한 출력값은 개발된 알고리즘을 통해 평활화하여 안정되고, 복잡한 알고리즘을 통해 빠른 반응도로 출력하였다. 목표했던 방사선측정기 성능지표에 대부분 부합한 결과를 얻었으나, 다만 방사선측정 중 방향의존성 테스트에서 특정 각도(90°)에서 목표치를 벗어나는 결과를 얻었다. 이는 PIN 다이오드 센서가 매우 얇을 뿐 아니라, 센서의 위치가 방사선측정기의 특정한 쪽에 편향되어 있기 때문으로 판단되며, 향후 추가 실험 및 기술개발을 통해 개선이 필요한 부분이다.

방사선측정기에서 측정된 방사선량은 개발 어플리케이션을 통해 스마트기기 디스플레이에 표출되며, 설정한 위험 수준의 방사선량값이 측정되면, 스마트기기에서 경고음과 함께 진동이 동반되게 하였다. 방사선량값과 GPS 위치정보 등 사용자 정보가 일괄적으로 서버프로그램에 전송되도록 구현하였다.

서버프로그램에서 수신된 현장 측정 정보들을 바탕으로 데이터베이스를 구축하였으며, 이를 토대로, 측정 위치에 대한 방사선량값을 지도에 표시하는 방사선모니터링시스템을 구현하였다. 모니터링 시 위험수준의 방사선량이 측정되는 사용자에게 경고 및 현장대응 메시지를 발송할 수 있는 양방향통신 체계를 구축하였다.

안드로이드 기반의 어플리케이션을 제작함으로써 방사선측정기를 연동할 수만 있다면 누구나 쉽게 방사선측정이 가능할 것이다.

개발된 방사선측정기와 양방향통신의 방재시스템은 비상시에 신속·정확한 정보전달로 사전예측을 토대로 주민보호조치가 가능할 것이고, 사물인터넷을 기반으로 실시간 모니터링이 가능하고 복수의 휴대용 단말기들과 네트워크를 형성이 가능할 것이다.

4차 산업혁명이 도래한 현 시대에 적합한 방재시스템으로 원자력시설의 방사능 재난을 대비한 최적의 스마트 방재시스템으로 활용을 기대한다.

【참고문헌】

- [1] 원자력안전위원회 법률 제16574호, “원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법”
- [2] 한국원자력연구원, “지방자치단체의 방사능방재 대응기술 향상방안 연구”, 2006
- [3] 주정민, 나형진, “사물인터넷(IoT)에 관한 국내 연구 동향 분석”, 정보화정책 리뷰논문, 제 22권 제3호, pp. 3~15, 2015
- [4] 한국과학기술기획평가원, “사물인터넷 분야 정부투자 우선순위 설정에 관한 연구”, 2017
- [5] 특허청 보도자료, “휴대용 방사능 측정 기술 특허출원 증가세”, 2016
- [6] 권영만, “국내·외 방사선 센서 기술 및 동향”, 전북테크노파크 Issue&Tech VOL. 35, 2014
- [7] 오재균, 이석재, 김영길, “디지털 휴대용 방사능 검출 시스템”, 한국정보통신학회논문지, VOL. 19, No. 6, 1436~1442, 2015
- [8] 이주현, 이승호, “방사선 측정장치의 저준위 방사선 측정과 방사선량의 급격한 변화에 따른 장치의 반응 속도개선에 관한 연구”, J.inst.Korean.electron.eng. VOL. 18, No. 4, 544~551, 2014
- [9] Global Industry Analysts, Inc, “RADIATION DETECTION, MONITORING AND SAFETY, A Global strategic Business Report”, 2015
- [10] 이봉재, 김봉환, 장시영, 김종수, “실리콘 PIN 다이오드 검출기를 이용한 전자선량계 개발”, 한국원자력연구원, 2000
- [11] Young-Seok Hwang, “Development of an Embedded DAQ System for Radiation Monitoring”, Kyungpook National University, 2008
- [12] 이광, “무선 이동통신 단말에 응용 가능한 집적 필터회로 설계”, 한국통신학회논문지 (J-KICS), VOL. 38A, No. 12, pp. 991-997, 2013
- [13] 김진영, 김주찬, 손관익, 김성원, “신호 검출을 위한 DSP 알고리즘 개발에 관한 연구”, 광운대학교, 2004
- [14] 최길용, 원성호, 김정호, 하석호, 이철영, 김현문, 이민기, “방사선 방호용 계측기 성능평가 기술 개발 및 국제표준”, JOURNAL OF RADIATION PROTECTION VOL. 33, NO. 1, 2008