Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 23, No. 2 pp. 547-553, 2022

https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.2.547
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

이동물체의 위치기반 데이터로거용 무선단말장치에 관한 연구

김상재, 송영진*
건양대학교 의공학부

A Study on Wireless Terminal Device for Location-based Data Logger of Moving Objects

Sang-Jae Kim, Young-Jin Song*
Division of Biomedical Engineering, Konyang University

요 약 코로나 팬데믹현상으로 인한 의약품 보관 및 운송, 생체시료나 온도에 민감한 특수물류의 경우 이송중의 온도이력을 확보하기 위한 데이터로거를 개발하였다. 또한 이송물품의 위치를 파악하고 웹기반의 지도서비스가 요구되기에 측정된 온도와 GPS기반의 위치신호를 웹서버로 전송하기 위한 무선단말장치를 동시에 개발하였다. 통신모뎀은 거리 제한없이 국내의 전지역을 대상으로 무선통신이 가능한 LTE망을 사용하기 위하여 Cat.M1 RF모듈을 사용하였으며 위치파악을 위한 GPS수신모듈을 무선단말장치에 장착하였다. 데이터로거는 온도데이터를 최소 30일 이상의 데이터저장용량이 가능하도록 설계하였으며, 콜드체인 특성상 데이터로거만 필요로 하는 경우와 위치기반 모니터링이 동시에 필요로 하는 경우가 있기 때문에 2개의 장치를 나누어 개발하고 일체형으로 탈부착이 가능하도록 하였다. 각각의 장치는 MCU로 STM32L152CCT6를 사용하였으며 주요연구 내용으로는 정확한 온도측정용 회로설계, 동작 알고리즘개발, 통신프로토콜 설계, 펌웨어개발, TCP통신 데이터포맷 설계, 탈부착이 가능한 외장형 모듈의 설계와 제작에 관한 내용이다. 개발된 단말장치의 성능과 신뢰성 확보를 위하여 공인시험인증기관에 의뢰하여 주요 성능지표 달성도를 검증하였다. 본 논문에서는 데이터로거를 중심으로 서술하고자 한다.

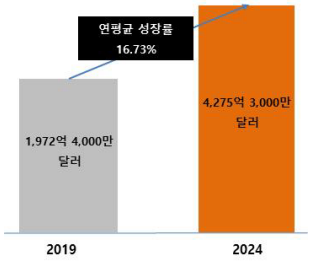
Abstract This study developed a data logger to record the temperature history during the storage and transportation of medicines for the corona pandemic and in special logistics sensitive to biological samples or temperature. In addition, since the location of transported goods and web-based map services are necessary, a wireless terminal device was also developed. This device transmits the measured temperature and GPS-based location signal to the webserver. The communication modem used Cat.M1 RF module to utilize the LTE network that enables wireless communication in all regions of Korea without distance restrictions. Moreover, a GPS receiving module for positioning was installed in the wireless terminal device. The data logger is designed to store temperature data for at least 30 days and was made detachable. Each device used STM32L152CCT6 as MCU. The main topics of this research include circuit design for accurate temperature measurement, operation algorithm development, communication protocol design, firmware development, TCP communication data format design, and design and production of detachable external modules. Finally, the degree of achievement of key performance indicators was verified by an accredited testing and certification agency to establish the performance and reliability levels of the developed terminal device.

Keywords : Thermometry, Data Logger, Cold Chain, GPS, LTE Network, Web-Based Monitoring

본 논문은 2020학년도 하반기 건양대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것임.
*Corresponding Author : Young-Jin Song(Konyang Univ.)
email: songjin@konyang.ac.kr
Received November 8, 2021 Revised December 20, 2021
Accepted February 4, 2022 Published February 28, 2022

1. 서론

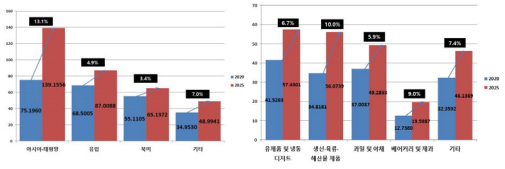
콜드체인은 원하는 저온 범위를 유지하는 물류로 육류, 해산물, 신선한 농산물, 냉동 식품 및 의약품과 같은 제품의 유통을 효율적으로 하기 위한 방법으로 사용되어 왔으나 최근 코로나팬더믹으로 인한 수요는 폭발적으로 증가하고 있다. 전 세계 콜드체인 시장은 2020년 1,972억 4,000만 달러에서 연평균 성장률 16.73%로 증가하여, 2024년에는 4,275억 3,000만 달러에 이를 것으로 전망된다. 국내 콜드체인시장은 2016년 기준 3조~5조원 규모인데, 매년 8~10%대의 고성장을 거듭하고 있다. 앞으로도 콜드체인 기술의 고도화로 콜드체인시장은 지속적으로 성장할 것이다[1]. Fig. 1는 전 세계 콜드체인 시장규모이다.



Marketsandmarkets, Cold Chain Market, 2020[1]

Fig. 1. Cold Chain Market

Fig. 2는 전 세계 콜드체인 시장의 제품별로 구분한 규모에 관한 분포도이다.



Marketsandmarkets, Cold Chain Market, 2020[1]

Fig. 2. Ratio of cold chain logistics products

콜드체인을 위한 기술은 냉장창고와 냉장운송으로 구분된다. 냉장 운송은 위치파악, 냉장온도 모니터링용 데이터로거기능등이 필요하다.

그중에서도 의약품의 경우 보다 엄격하고 보수적인 규제(Regulation) 기준을 가지고 있으며 온도 유지가 중요한 요소로 데이터로거와 GPS 기반의 지도서비스기능이 가능한 웹기반 시스템 구축이 필요하다.

본 연구에서는 배송물류 상자에 부착하여 일정 시간 간격으로 온도를 측정하고 30일 이상 분량의 데이터저장이 가능한 장치와 GPS수신신호와 LTE통신망을 활용하여 웹서버로 전송이 가능한 통신모뎀을 개발하고자 한다. 기존에 콜드체인업체에서 사용하는 장치는 업체마다 구축한 웹서버와의 데이터 전송프로토콜이 특성화되어 있기 때문에 적용하기 어렵고, 이송물류 종류에 따라서 차별화되어 있기 때문에 새로운 제품을 개발하게 되었다. 프로토타입으로 제작된 데이터로거와 통신모뎀의 동작 성능시험과 전자기파 내성시험을 통하여 개발된 장치의 상업적 제품으로서의 활용 가능성을 제시하였다.

2. 본론

2.1 데이터로거

데이터로거는 단독으로 동작하거나 통신모뎀과연결하여 측정온도를 전송할 수 있도록 하였다.

기능 설정은 PC와 USB로 연결하거나 전용앱을 통한 불루투스통신으로 설정이 가능하도록 하였다. 측정주기, 알람설정기능, 동작모드 구분기능으로 START, STOP 및 STAND BY모드가 있다

2.1.1 블럭도 및 회로설계

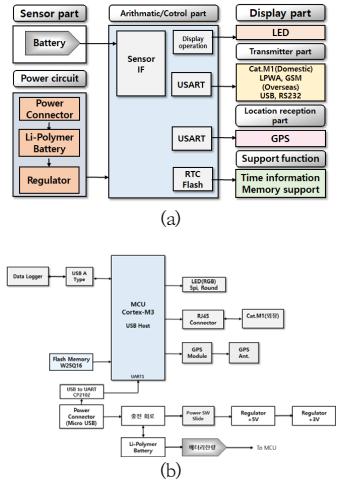


Fig. 3. Functional Blockdiagram.(a)Data logger (b) Modem

MCU는 STM32L152CCT6[2]를 사용하였고, 온도센서는 PT100 RTD이며 3선식 Tefron 1.5Meter이고 배터리는 AAA 알카라인 건전지를 사용하였다. BLE는 불루투스5.0버젼이며 PC와는 USB으로 연결한다. 메모리는 296KB이며 24x18 graphic LCD로 통신연결상태, 배터리잔량표시, 기기 동작모드, 측정온도, 데이터저장 작동기능표시, BLE연결, 반복동작등을 아이콘으로 표시하도록 설계하였다.

Fig. 3은 데이터로거와 통신모뎀의 기능별 블럭도이다. 데이터로거와 통신모뎀의 데이터전송은 USB케이블을 사용하여 측정된 값을 전송하고 통신모뎀은 Cat.M1 모듈을 통하여 LTE망에 접속한다.

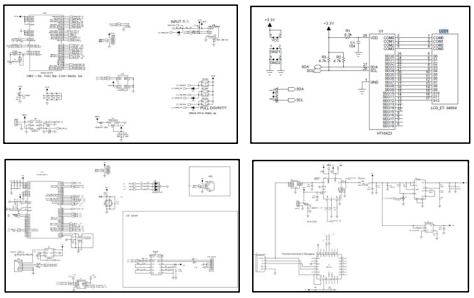


Fig. 4. MCU & interface circuit

Fig. 4는 데이터로거와 통신모뎀의 회로도이다. 두개의 장치는 모두 독립적으로 제어기능을 가지고 있어여 하며 온도센서와 GPS센서로 부터 신호를 획득하고 주변장치를 구동시키기 위하여 각각의 MCU를 사용하였으며 장치간의 통신 프로토콜과 LTE망에 접속하여 웹서버로의 데이터 전송을 위한 프로토콜 포맷을 설계하였다.

2.1.2 PT100 RTD온도센서

의료, 계측, HVAC 및 자동차 응용 분야, 사물 인터넷(IoT), 온도 등은 실제로 가장 널리 사용되는 백금기반 센서(RTD)이다. 사용된 RTD는 0 ℃에서 임피던스 100 Ω인 Pt100 3선식으로 전압분배회로를 구성하여 측정한다. 하지만 온도에 따라서 25Ω(-200ºC) ~ 약 +375Ω (+800ºC)로 저항값이 비선형적이기 때문에 온도계수를 고려한 선형화가 필요하다. 정확한 선형화를 위해서는 Callendar-Van Dusen 방정식[3]을 이용한다.

$$R(T) = R_0(1 + AT + BT^2 + (T-100)CT^3) \quad (1)$$

where, T is temperature(℃), R0 denotes resistance at 0 ℃ and A, B, C are the coefficient of RTD

Pt100의 표준선형계수(α)가 0.00385055인 경우 특정상수 A,B,C는 다음과 같다.

A = 3.90830 x 10^{-3}, B = -5.77500 x $10^{-7,}$ C = -4.18301 x 10^{-12}(-200°C ~ 0°C) 및 C = 0(0°C ~ +850°C)이다.

따라서, 회로를 구성할 경우 RTD와 임피던스가 동일하고 안정적인 기준저항(R_{REF})을 추가하여 정확도를 높인다.

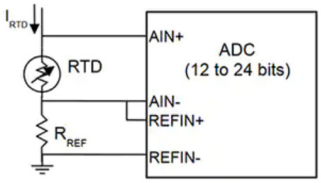


Fig. 5. Simple RTD circuit

그러나 Fig. 5의 회로는 소스 전압 변경, 레퍼런스저항기 온도 계수, 연결 리드 전류 저항(IR) 강하, 구리 연결 리드 온도 계수(약 +0.4%/℃)등의 함수로 작용하기 때문에 휘트스톤 브리지를 주로 사용한다. 본 논문에서는 내부 오프셋 및 이득교정기능이 구현된 22비트 델타-시스마 A/D컨버터인 MCP3551소자[4]를 사용하였으며 동작 프로그램을 통하여 온도계수 보정기능을 포함하였으며 안정적인 전원공급이 가능하도록 별도의 전원회로를 추가하였다. Fig. 6은 전압과 센서연결용 회로도이다.

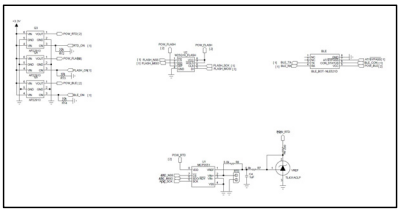


Fig. 6. Voltage & Sensor interface circuit

2.1.3 펌웨어 동작알고리즘

MCU를 통한 입출력장치제어, 유무선통신제어, 동작모드설정 및 변경, 데이터전송, 전원제어등 기본 동작을 위한 알고리즘을 순서도로 Fig. 7에 표기하였다.

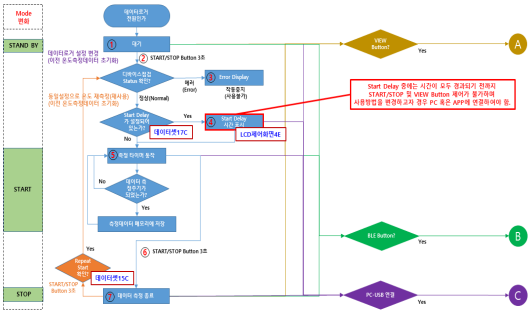


Fig. 7. Basic Functional Flowchart

전원인가 후 버튼을 3초간 누르면 디바이스점검, 동작모드설정, 데이터 측정 및 저장,디스플레이 동작, BLE연결, PC USB연결등이 순서대로 작동하도록 설계하였다.

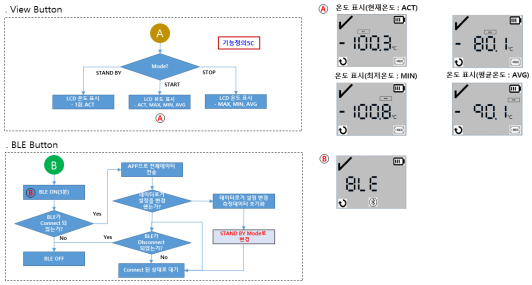


Fig. 8. Operational Flowchart of Dispaly unit

Fig. 8은 view버튼을 통하여 LCD에 표시할 메뉴를 지정하며 BLE버튼은 불루투스연결을 통한 설정기능을 LCD에 표시하기 위함이다.

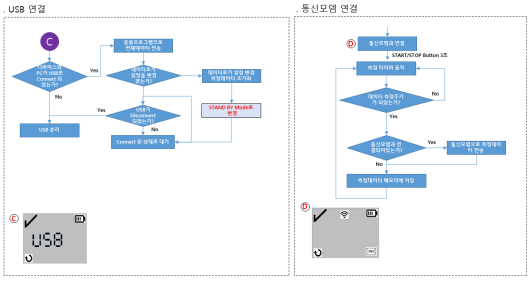


Fig. 9. USB & Modem Functional Flowchart

Fig. 9는 USB를 통한 PC와의 연결하고 데이터로거를 설정하고 실행시키기 위한 것으로 LCD에 USB라는 아이콘으로 표시한다. 통신모뎀과의 연결상태를 표시하고 데이터를 전송한다.

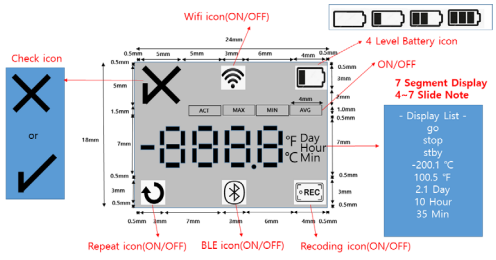


Fig. 10. Functional view design of Graphic LCD

Fig. 10은 24x18 graphic LCD[5]에 데이터로거의 동작상태를 표시하기 위하여 아이콘형태와 문자로 표시하기 위한 설계도형이다. 측정온도, 유무선통신연결상태, 전원잔량, 시간표시, 데이터저장중, 반복동작표시등이 나타나도록 하여 현재의 기기의 상태를 직관적으로 확인이 가능하다.

2.1.4 통신프로토콜

데이터로거의 설정, 동작, 모뎀단말기로의 데이터 전송 등을 위한 프로토콜 중에서 몇 가지의 데이터포맷을 나타내었다. Fig. 11은 PC와의 USB나 BLE방식의 연결을 통하여 데이터로거의 설정과 제어를 위한 동작시나리오이다.

Fig. 11. Operational scenario of Data logger

Fig. 12는 주변장치의 설정과 설정된 내용을 송수신하기 위한 데이터포맷이다.

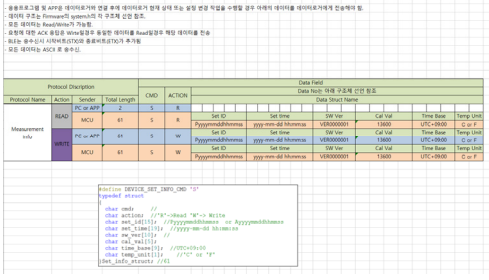


Fig. 12. Device Set & Alram Data format

Fig. 13은 온도와 전송을 위한 데이터포맷이다.

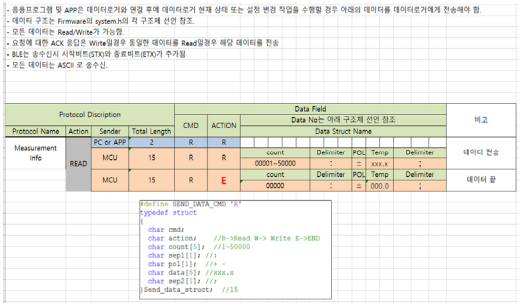


Fig. 13. Data Structure & Transmission format

2.1.5 PCB artwork

프로토타입으로 제작을 위하여 개발된 회로도를 기반으로 Fig. 14와 같이 PCB artwork을 하였다.

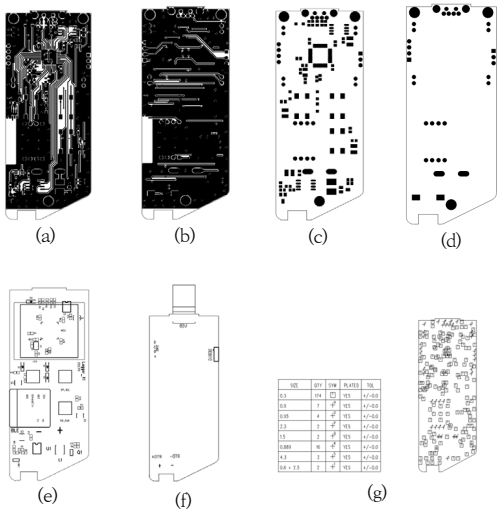


Fig. 14. PCB Artwork Gerber Data. (A)Top Route, (B)Bottom Route, (C)Top Solder, (D)Bottom Solder, (E)Top Silk, (F)Bottom Silk, (G)Drill Drawing Data

2.1.6 원형 제작

제작된 PCB, 부품 및 커넥터등을 사용하여 Fig. 15와 같이 데이터로거용 보드를 제작하였다.

Fig. 16은 데이터로거보드를 실장하기 위한 케이스설계도이고 Fig. 17은 제작된 3D프린터로 제작한 목업이다.

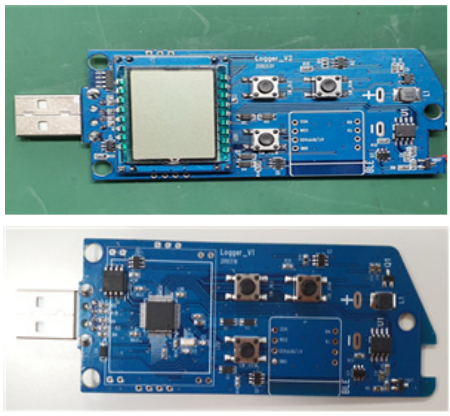


Fig. 15. PCB Board .Top View(upper) & Bottom View

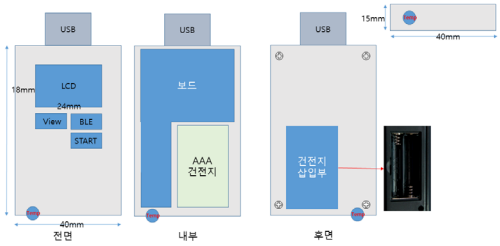


Fig. 16. Case Design

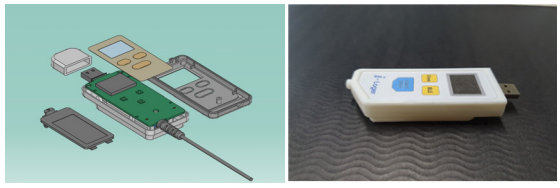


Fig. 17. Case Rendering & Mockup

Fig. 18은 실물형태로 제작된 데이터로거장치이다.

Fig. 18. Manufactured Data Logger

2.1.7 성능 검증

원형으로 제작된 데이터로거의 온도측정범위, 온도측정 정확도, 동작범위 적정온도, RF모듈의 수신감도, 전송출력효율 및 정전기 방전 내성시험등을 국가공인 시험센터에 의뢰하여 신뢰도 검증을 측정하여 적합함을 확인하였다. 이송물체의 온도측정 정확성과 데이터로거의 정상적인 동작환경을 시험하기 위한 기준은 다음과 같다. 최저온도 측정은 -196 ℃의 액체 질소탱크에 5개의 온도센서를 넣고 10분간 상태유지를 한후 데이터로거에서 측정한 온도값과 평가기관이 소유한 온도측정장비에서 측정된 온도와의 비교과정을 3회 반복하여 비교평가하였다. 측정온도의 정확도를 확인하기 위하여 항온항습기에 데이터로거의 센서 5개를 넣고 각각의 기준온도인 -30 ℃, 0 ℃ , 20 ℃로 설정하여 10분간 상태유지후 비교측정하였다. 데이터로거의 동작환경을 확인하기 위한 조건은 -10℃와 +40℃에서 동작 시작과 정지버튼으로 조작하여 반복수행하였다. 통신모듈의 수신감도와 전송효율은 차폐실과 스펙트럼아날라이저를 사용하였고, 정전기 방전내성시험은 전기용품안전기준인 KN61000-4-2[6]에 의하여 시험하였다. Table 1은 각 성능시험 결과로써 KC인증과 CE인증 목표에 적합함을 통하여 개발된 제품의 성능우수성을 검증하였다.

Table 1. Functional Test Spec.

Spec.		Range	Respondents
Temp. Mesure	Min.	-196℃	good
	Max.	+100℃	good
	Error	±0.3℃@ -30, 0, +20℃	good
Oper. Temp	Range	-10 ~ 40℃	good
RF Module	Receiver Sensitivity	↓ -95dBm	good
	Tx Max Output Power	↑ 19dBm	good
Data Logger	Electromagnetic Compatibility	KC61000-4-2 @±4kV ,±9kV	good

3. 결론

콜드체인을 위한 이송물체의 온도를 측정하고 30일 이상분의 데이터로깅이 가능한 데이터로거를 개발하였다. 온도센서로는 PT100 RTD을 사용하였고 높은 안정성, 반복성 및 정확성을 위하여 AFE(Analog Front End)회로를 사용하여 온도계수를 고려한 보정회로를 사용하였다. 의약품 및 식음료 이송에 주로 적용하기 위하여 -196 ℃ ~100 ℃ 범위에서 동작하는 것에 중점을 두었으며, BLE와 USB를 이용하여 제어 및 데이터전송이 가능하다. 또한 GPS센서와 LTE망 접속용 Cat.M1모듈이 장착된 모뎀단말장치와 결합하여 모니터링용 웹서버로의 측정데이터를 전송이 가능하도록 일체형으로 개발하였다. 개발된 데이터로거는 배터리를 사용하고 소형이기에 이송용 상자에 부착하여 제품의 온도이송 이력을 관리하기 위한 장치로의 활용이 가능하다.

References

[1] INNOPOLIS, "Cold Chain Market",Global Market Trend Report, pp. 6-10, Apr. 2021. https://www.innopolis.or.kr/fileDownload?titleId=177474&fileId=1&fileDownType=C&paramMenuId=MENU00999

[2] STM_MicroElectronic, "Ultra-low-power Arm Cortex-M3 MCU with 256 Kbytes of Flash memory, 32 MHz CPU, USB, 2xOp-amp", Feb. 2021.. https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32l152cc.html

[3] F. Lacy, "Developing a theoretical relationship between electrical resistivity, temperature, and film thickness for conductors", Nanoscale Research Letters, v.6 no.1, pp.636 - 636, Dec. 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1556-276X-6-636

[4] J. Horn, G. Gleason, L. Lynium, "MCP355X Sensor Application Developer's Board User's Guide", MicroChip. Feb. 2006. http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/51609a.pdf

[5] A. Skinner, "Introduction to graphics and LCD technologies", NXP. , Oct. 2017

[6] NSAI Standards, "Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-2: Testing and measurement techniq-es - Electrostatic discharge immunity test", IEC 61000-4-2:2008 ,Mar 2009 https://infostore.saiglobal.com/preview/is/en/2009/i.s.en61000-4-2-2009.pdf?sku=1123404

김 상 재(Sang-Jae Kim) [준회원]

- 2016년 2월 : 건양대학교 전자공학과 (공학사)
- 2016년 3월 ~ 2018년 9월 : ㈜동우엔지니어링 연구원
- 2020년 9월 ~ 현재 : 건양대학교 대학원 의료공학과 석사과정

〈관심분야〉
사물인터넷, 콜드체인

송 영 진(Young-Jin Song) [정회원]

- 1983년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
- 1985년 2월 : 중앙대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1993년 8월 : 중앙대학교 대학원 전자공학과 (반도체공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 의공학부 교수

〈관심분야〉
사물인터넷, 헬스케어