

NB-IoT를 활용한 발열 제어 시스템 구현

신동근*, 김형진**

Implementation of Heat Control System using NB-IoT

DongKeun Shin*, HyungJin Kim**

요약 사물인터넷이 활성화 되면서 많은 센서 디바이스들이 늘어나고 있다. 센서들은 네트워크 유선망을 설치하여 사용하거나 이동통신망을 사용할 수 있다. 이동통신망은 전송률 관점에서 볼 때 크게 고속 통신과 저속통신 두 가지로 분류할 수 있다. 이동통신망에서 수억 개의 센서들의 경우 고속 통신을 사용하기에는 자원 낭비가 심하게 발생하게 된다. 이러한 자원을 낭비하지 않고 전송 속도를 줄이고 자원을 적절히 할당하여 이용할 수 있는 통신이 필요하다. 최근 이동통신에서 저전력 기술 중 하나인 협대역 인터넷(NB-IoT)이 여러 기업에서 각광받고 있다. 현재 NB-IoT 또는 기타 저전력 통신들만이 빠르게 늘어나는 센서 디바이스들을 인터넷에 연결시킬 수 있는 가능성을 가지고 있다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 화웨이 NB-IoT 통신 모듈을 이용한 히터 제어 장치, 제어 장치의 정보를 수집하는 서버, 장치에 기본 설정을 할 수 있는 응용프로그램을 설계 및 구현하였다. 이 시스템의 주요 기능은 온도 및 히터 상태 수집하여 서버에 주기 보고, 서버에서의 히터 제어, 히터가 자동으로 동작하기 위한 파라미터 설정이 있다. 본 시스템은 히터뿐만 아니라 도로 정보, 스마트 농업, 소규모 저수지 등 유선 통신이 구축되지 않은 곳에 응용할 수 있다.

Abstract Internet of thing becomes more active, many sensor devices are increasing. Sensors can use network wired network or use mobile communication network. From the viewpoint of the transmission rate, the mobile communication network can be roughly divided into two types of high-speed communication and low-speed communication. In the case of hundreds of millions of sensors in the mobile communication network, resources are wasted to use high-speed communication. Communication is required to reduce the transmission rate and appropriately allocate resources without wasting such resources. As the Internet of Thing has been activated, Narrowband Internet of Thing(NB-IoT), which is one of the low-power technologies in recent mobile communications, is in the spotlight from various companies. Currently, it can be seen that only NB-IoT or other low power consumption communication has the potential to be able to connect to the Internet with rapidly increasing sensor devices. In this paper, we designed and implemented a heater controller using Huawei NB-IoT communication Module, a server that collects controller information, and an application that allows default settings for devices. The main function of this system is to collect temperature and heater status and give it to the server, control the heater from the server, and set parameters for the heater to operate automatically. The system can be applied to places where wired communication is not established, such as road information, smart agriculture, and small reservoirs as well as heaters.

Key Words : 3GPP, Communication, Controller , NB-IoT, STM32, Transmission, UDP

1. 서론

사물인터넷은 각종 사물에 센서와 통신 기능을

내장하여 인터넷에 연결하는 기술을 의미한다. 지난 20년 동안 사물인터넷은 급속도로 발전했고,

*Department of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

**Corresponding Author : Department of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University(kim@jbnu.ac.kr)

Received March 29, 2019

Revised April 05, 2019

Accepted April 09, 2019

다양한 분야에 적용되었다.[1] 2009년까지 사물인터넷 기술을 사용하는 사물의 개수는 9억개에서 2020년까지 30배인 260억 개에 이를 것으로 예상된다. [2] 건물 내부의 실내의 센서들은 블루투스 및 WiFi 등으로 네트워크를 형성 할 수 있지만 실외에서 사용되는 센서들은 네트워크 유선망을 설치하여 사용하거나 이동통신망을 사용할 수 있다. 이동통신망은 전송률 관점에서 볼 때 크게 고속 통신과 저속통신 두 가지로 분류 할 수 있다.[3] 이동 통신망에서 수억 개의 센서들의 경우 고속 통신을 사용하기에는 자원 낭비가 심하게 발생하게 된다. 이러한 자원을 낭비하지 않고 전송 속도를 줄이고 자원을 적절히 할당하여 이용할 수 있는 통신이 필요하다. 이러한 통신에는 대표적으로 LoRa통신과 NB-IoT통신이 있다.

LoRa는 저전력 장거리 통신 기술로 적은 기지국으로 넓은 커버리지를 갖는 비면허 대역인 ISM 주파수를 사용한다.[4] NB-IoT는 기존에 설치된 LTE망의 좁은 대역을 이용해 사용하고 3GPP에서 제안한 대규모 저전력 WAN 기술이다. 일반적으로 스마트 계량 및 지능형 환경 모니터링에 주로 이용된다.[5][6]

본 논문에서는 NB-IoT통신 방식을 이용한 히터 제어 및 센서 수집을 할 수 있는 컨트롤러를 구현 하였고, 컨트롤러 설정 응용프로그램 및 서버를 구현하였다. NB-IoT 컨트롤러는 화웨이의 TPB22-3 모듈을 사용하여 히터 상태 및 온도를 측정하여 주기적으로 서버로 전송하고, 서버는 수신된 히터 상태 및 온도를 표시하도록 하였다.

2. 관련 연구

장거리 IoT 무선 통신 표준에는 전력을 효율화한 셀룰러 IoT와 성능을 맞춤형 IoT에 근접하도록 진행되고 있는 3GPP의 NB-IoT 통신 표준, 그리고 저전력, 저비용, 저감쇠, 대용량을 만족할 수 있는 LPWAN IoT 네트워크 표준기술 기술인 Weightless, LoRa, SigFox 및 1 GHz이하 대역을 사용하는 IEEE 802.11ah가 대표적인 장거리

IoT 통신으로 볼 수 있다. 3 GPP에서 그동안 추진해 왔던 IoT 통신 표준을 비교분석하였으며, 최종적으로 2016년 6월에 NB-IoT로 표준이 확정되었다. NB-IoT는 LTE 대역을 사용하지만 LTE와는 호환이 안 되며, 데이터 속도도 저속인 200 kbps 정도로서 일종의 맞춤형 IoT이다. [7]

3. 시스템 구성

본 시스템 구성은 통신부와 컨트롤러부로 구성되었다. 통신부는 화웨이 모듈 TPB22-3이 포함되었고, 컨트롤러의 MCU가 AT Command를 이용해 통신 모듈을 제어하게 된다. 컨트롤러부는 센서값을 읽어 들이고 센서의 온도 값과 설정된 온도 값에 따라 출력을 ON/OFF 하여 온도를 유지하고 또 다른 방법으로는 PWM 출력으로 PID제어를 진행 하여 발열체의 온도를 설정 값으로 유지하도록 하였다.

3.1 시스템 블록도

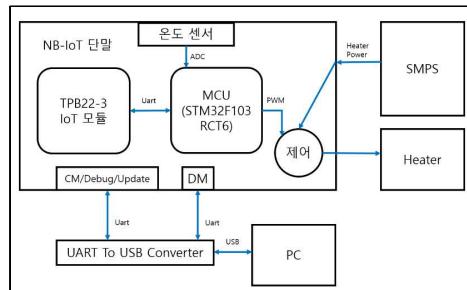


그림 1. 시스템 블록도
Fig. 1. System Block Diagram

그림 1은 시스템 블록도로 STM32F103 MCU와 TPB22-3 NB-IoT 통신 모듈을 활용하여 구성하였다. MCU에서 AT_CMD를 이용하여 통신 모듈에 명령을 내려 상용 NB-IoT 통신망에 연결 될 수 있도록 하고, 온도 센서를 MCU의 ADC를 이용해 값을 읽어서 조건에 맞게 히터를 제어 하게 된다. 히터제어는 SMPS의 전원 24V를 입력 받아 제어 회로를

통해 MCU에서 PWM으로 제어하거나 ON/OFF 제어를 하면 Heater로 제어 출력이 나가게 된다. 또한 PC를 이용해 시스템의 파라미터를 설정, 제어 상태, 통신 상태를 CM/Debug 단자를 통해 확인 할 수 있고, NB-IoT의 통신 상태를 DM(Diagnostic Monitoring)단자를 통해 확인 할 수 있다.

3.2 AT Command 설명

표 1은 주로 사용되는 AT CMD이며 특수한 경우가 아니라면 “AT+NRB”를 이용하여 통신 Chip을 Reset하면 특정 통신망을 설정하지 않아도 자동으로 최적의 통신망을 찾아 접속하게 된다. 통신망의 접속 상태는 “AT+CREG?” 명령을 이용하여 상태를 확인 할 수 있다. 상태는 다음과 같이 크게 4가지로 분류 할 수 있다.

- 1) 0, 미인증 단말 (USIM 미인식)
- 2) 1, 정상적으로 통신이 되는 상태
- 3) 2, 연결이 원활하지 않음(출력 이상)
- 4) 3. 미개통 USIM 장착

표 1. 주요 AT CMD
Table 1. Primary AT CMD

AT+CMD	Function
AT+NRB	Neul Reboot
AT+CGSN=1	Request Product Serial Number
AT+CGDCONT=1,"IP"	Define PDP Context
AT+CFUN=1	Change device functionality
AT+COPS=1,2,"45004"	PLMN selection
AT+CPSMS=0,,00101100,00100010	Power Saving Mode Disable
AT+CREG?	registration status
AT+CCLK?	Return current date & time
AT+NSOCR=DGRAM,17,[port],1	Create Socket
AT+NSORF=[sock],[length]	Receive Command
AT+NSOST=[sock],[ip],[port],[length],[data]	Send To Command

상태가 1이면 접속이 성공 한 것이므로 “AT+NSOCR” 명령을 이용하여 UDP 소켓을 생성하고, “AT+NSOST” 명령으로 서버에 데이터를 전송할 수 있다.

4. 하드웨어 구현

4.1 통신 모듈 회로 구성

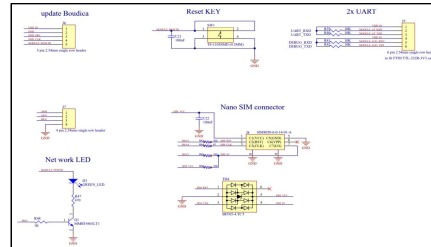


그림 2. USIM 및 기타 장치 회로도
Fig. 2. USIM and Other Device Schematic

그림 2는 USIM 및 기타 주변 장치 회로이다. Update Boudica는 펌웨어 업데이트를 할 수 있는 포트가 있고, Reset Key는 통신 모듈을 리셋하는 버튼이 있다.

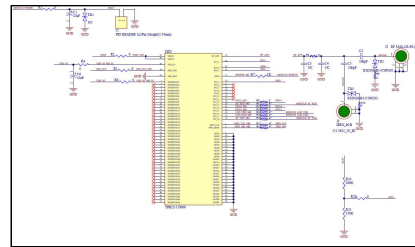


그림 3. NB-IoT 모듈 부 회로도
Fig. 3. NB-IoT Module Part Schematic

그림 3은 통신 모듈의 통신 칩부분과 안테나 회로가 구성되어 있다.

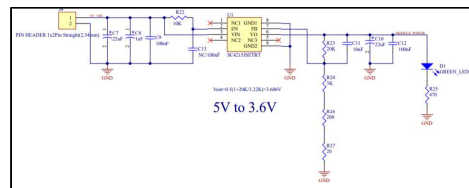


그림 4. 통신 모듈 전원부 회로도
Fig. 4. Power Part Schematic

그림 4는 통신 전원부로 5V에서 3.6V로 바뀌는 레귤레이터와 전압 안정 회로로 구성되어 있다.

4.2 컨트롤러 회로 구성

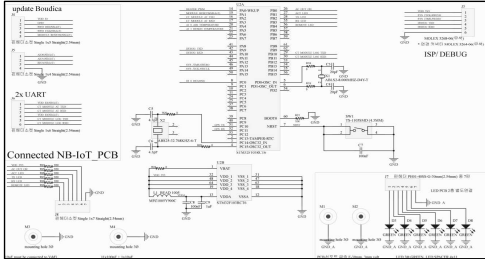


그림 5. MCU 부분 회로도
Fig. 5. MCU Part Schematic

그림 5는 STM32F103MCU 부분으로 펌웨어를 업데이트 할 수 있는 ISP/DEBUG포트, NB-IoT 통신 모듈과 인터페이스 할 수 있는 포트가 있다. MCU에는 RTC를 이용하기 위한 32,768Hz의 크리스탈과 MCU에 공급되는 8Mhz의 크리스탈을 장착하였다.

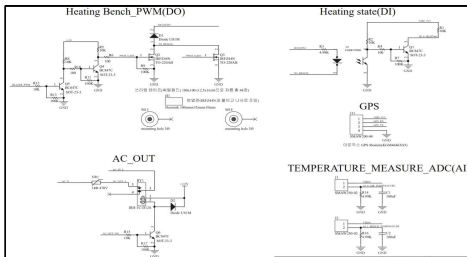


그림 6. 출력 부분 회로도
Fig. 6. Out Part Schematic

그림 6은 출력 부분 회로로 히터에 공급되는 전원을 컨트롤 할 수 있도록 IRFZ44N MOSFET을 이용하였고 히터에 전원이 공급되면 값을 읽어 드릴 수 있는 DI 부분도 구성하였다. AC OUT은 히터의 메인 전원을 ON/OFF 할 수 있는 Relay 구동부와 NTC 5K 온도 센서를 읽어 들일 수 있는 회로를 구성하였다.

4.3 PCB 제작

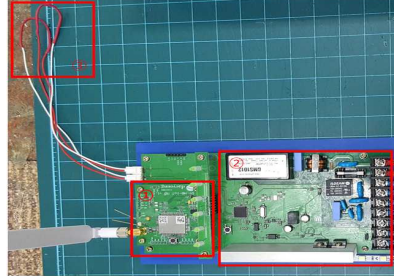


그림 7. PCB 제작
Fig. 7. PCB Product

그림 7은 완성된 PCB로 구성은 센서부, 통신부, 컨트롤러부로 구성 된다.

- 1) 통신부 : NB-IoT 모듈이 내장되고, 외부와 통신 할 수 있도록 한다.
- 2) 컨트롤러부 : MCU, DC/DC 컨버터, 릴레이, MOSFET등으로 구성되며 현재 온도값, 설정 온도값, 히터 상태 값을 통신부를 통해 서버로 전달하고 서버로부터 온도 값 설정 변경 명령 수신 시 단말의 설정 온도 값을 변경하고 저장한다.
- 3) 센서부 : 온도 센서를 통해 대기 온도 및 히터 온도를 측정한다.

5. 펌웨어 구현

5.1 통신 펌웨어 순서도

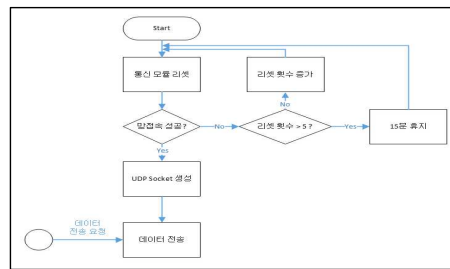


그림 8. 펌웨어 순서도
Fig. 8. Firmware Flowchart

그림 8은 펌웨어 순서도이다. 장치는 시작하면서 AT+NRB 명령으로 통신 모듈을 리셋하게 되고

리셋 후 AT+CEREG 명령을 주어 리턴 값이 1이면 정상적으로 망에 접속한 상태이고, 1이 아닌 다른 값을 리턴 했을 때 에는 ERROR 발생으로 망 접속에 실패한 경우이며 접속에 실패했을 때에는 다시 통신 모듈을 리셋하게 된다. 모듈 리셋을 시도하고 다시 망 접속 상태를 확인 한다. 망 접속에 5회 실패하면 망에 문제가 있으므로 15분간 휴지기를 가지고 다시 똑같은 루틴이 반복된다.

5.2 통신 펌웨어 순서도

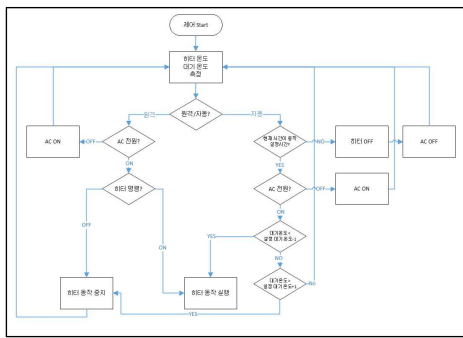


그림 9. 히터 시스템 순서도
Fig. 9. Heater System Flow Chart

그림 9는 히터 제어 순서도이다. 히터 제어는 원격제어모드와 자동제어모드 2가지로 이루어진다. 원격 모드는 사용자가 직접 히터를 동작 또는 정지시키며, 자동모드는 현재 날씨가 설정 날짜에 포함되고 대기 온도가 설정 대기온도보다 낮으면 히터를 동작하게 된다.

5.3 데이터 패킷 구조

표 2. 데이터 패킷 구조
Table 2. Data Packet Structure

항목	STX	CMD	ID	LENGTH	DATA	ETX	CRC
크기 (byte)	2	1	4	2	500 (max)	2	1

- (1) STX : 패킷 시작 Flag
- (2) CMD : 설정, 설정 완료, 전송, 전송 완료, 수신, 수신 완료 패킷 인지 구분
- (3) ID : 장치 시리얼 번호

- (4) LENGTH : 데이터 길이
- (5) DATA : 데이터는 500byte로 제한되고 데이터에는 센서 정보, 설정 정보, 상태 정보가 포함되고 총 40바이트를 할당 하였다.(HW Spec : 최대 전송 가능 바이트는 512byte 이다)
- (6) ETX : 패킷 종료 Flag
- (7) CRC : 패킷 검증

패킷은 총 52바이트의 소용량으로 30분 단위로 주기적으로 전송하게 하였고, 발열체가 꺼지거나 켜졌을 때는 이벤트 발생으로 즉시 전송 하도록 하였다. 관제 서버에서의 설정 값 변경 및 제어 신호는 장치에서 관제 서버로 데이터를 전송 하는 시간에만 줄 수 있도록 되어 있다.

5.4 응용 프로그램

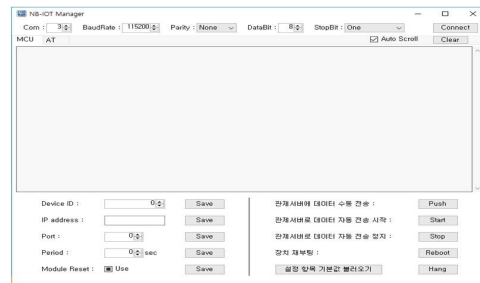


그림 10. 통신 설정 프로그램
Fig. 10. Communication Settings Program

그림 10은 PC 응용 프로그램으로 시리얼 통신을 통해 장치와 연결하여 장치의 환경 설정 및 간단한 테스트를 할 수 있도록 하였다. PC프로그램과 단말과의 프로토콜은 AT Command와 유사하게 APP+[CMD]=[VAL] 형태로 작성 하였다. 단말 ID, Server IP, Server Port, 전송 주기 설정 및 테스트 데이터를 전송 할 수 있다. 각 설명은 아래와 같다.

- (1) Device ID : 장치 ID를 설정
(APP+ID=[ID Value])
- (2) IP address : 서버 IP의 주소 설정
(APP+IP=[IP String])
- (3) Port : 서버 Port 설정
(APP+PORT=[PORT Value])

- (4) Period : 데이터 전송 주기를 설정 (15분 이상 (APP+PERIOD=[Period Value])
- (5) Module Reset : 문제 발생 시 통신 리셋 사용 여부 설정 (APP+RESET)

5.5 관제 시스템

관제 시스템에서는 시스템에 등록된 모든 NB-IoT 단말이 UDP를 통해 보내오는 데이터를 갱신하게 된다. 데이터 갱신은 단말로부터 받은 데이터를 파싱 하고 ID 및 데이터를 구분하여 각 항목에 맞게 데이터를 그림 11과 같이 화면에 보여준다.

항목	지동/원격	대기온도	장치온도	실행 대기온도	실행 장치온도	시작날짜	종료날짜	시작시간	종료시간
장치온도	원격	14.5	24.1	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분
장치온도	원격	14.3	24.4	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분
장치온도	원격	15.7	24.9	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분
장치온도	자동	15.8	24.5	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분
장치온도	자동	14.4	25	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분
장치온도	원격	14.5	24.6	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분
장치온도	원격	14.5	24.6	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분
장치온도	원격	14.5	24.6	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분
장치온도	원격	14.5	24.6	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분
장치온도	원격	14.5	24.6	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분
장치온도	자동	14.6	24.2	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분
장치온도	원격	14.3	24.4	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분
장치온도	자동	15.8	24.5	14.2	14.2	1월 20일	1월 20일	0시 0분	24시 0분

그림 11. 관제 시스템
Fig. 11. Monitoring System

각 항목에 대한 설명은 다음과 같다.

- (1) 상태 : 히터가 켜져있는지 꺼져있는지에 대한 상태 표시
- (2) 자동/원격 : 단말이 조건에 맞게 자동으로 운전 할 수 있도록 하거나, 자동이 아닌 원격으로 ON/OFF를 할 것인지에 대한 설정 값
- (3) 대기 온도, 장치 온도 : 현재의 대기 온도 및 장치 온도를 나타냄
- (4) 실행 대기온도, 실행 장치 온도 : 이 값은 설정 할 수 있는 값으로 실행 대기 온도보다 낮았을 때 히터를 켤 수 있도록 하고, 히터를 켜었을 때 실행 장치 온도 만큼을 유지 함
- (5) 날짜 및 시간 : 히터를 자동으로 동작 시켰을 때 켜지는 날짜와 시간을 설정 하기위한 설정 값

6. 테스트

6.1 통신 테스트

```

Mon Feb 12 13:55:46.080 2018 |-----Send Message-----
Mon Feb 12 13:55:46.088 2018 |2018-02-12 13:55:42
Mon Feb 12 13:55:46.077 2018 |IP : 220.80.108.185
Mon Feb 12 13:55:46.078 2018 |Now Time Sec : 1518443741
Mon Feb 12 13:55:46.078 2018 |Seq Number : 1
Mon Feb 12 13:55:46.078 2018 |controls the presentation of an unsolicited result code211 -> 1
Mon Feb 12 13:55:46.117 2018 |OK
Mon Feb 12 13:55:47.115 2018 |CE STATUS -> 1
Mon Feb 12 13:55:47.118 2018 |Save count -> 0
Mon Feb 12 13:55:47.120 2018 |Data Send 52 byte
Mon Feb 12 13:55:47.208 2018 |OK
Mon Feb 12 13:55:48.897 2018 |*****Receive Message*****
Mon Feb 12 13:55:48.888 2018 |2018-02-12 13:55:44
Mon Feb 12 13:55:48.897 2018 |ip : 220.80.108.185
Mon Feb 12 13:55:48.897 2018 |port : 8080
Mon Feb 12 13:55:48.897 2018 |length : 20
Mon Feb 12 13:55:48.897 2018 |CRC OK
Mon Feb 12 13:55:48.897 2018 |AK Sequence Same
    
```

그림 12. MCU 통신 로그
Fig. 12. MCU Communication Log

그림 12은 컨트롤러의 시리얼 출력 화면으로 데이터를 보낸 후 2초 이내로 서버로부터 Ack Message를 받은 것을 확인 할 수 있다.

6.2 히터 동작 확인

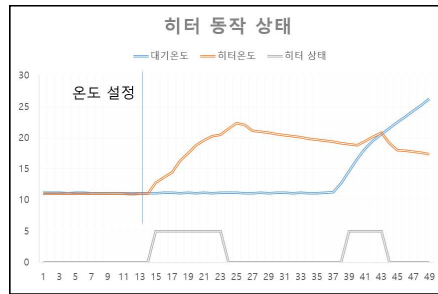


그림 13. 히터 동작 그래프
Fig. 13. Heater operation graph

그림 13은 대기온도 및 히터 온도를 20℃로 설정했을 때의 동작 그래프이다. 우선적으로 대기온도가 19℃이하일 때 히터가 동작하고 21℃이상일 때 히터가 정지하게 된다. 대기온도에 의해 히터가 동작하는 상황에서 히터의 온도가 21℃ 이상이 되면 히터는 정지하게 되고, 19℃이하로 떨어지면 다시 히터가 동작하게 된다.

7. 결론 및 향후 연구

사물 인터넷이 확산되면서 센서 디바이스들이 빠르게 늘어나고 있고, 이 디바이스들을 무선망을 이용하여 통신을 할 경우 부하를 줄일 수 있는 통

신 방법이 NB-IoT이다. 본 논문에서 화웨이의 NB-IoT 통신 모듈을 이용하여 히터를 제어하는 장치를 구현하였다. 장치는 온도, 히터 상태, 설정 정보 등을 서버로 전송하고, 서버는 수신된 데이터를 화면에 표시하도록 하였다. 또한 컨트롤러의 파라미터를 설정 할 수 있는 응용프로그램을 구현하였다. NB-IoT는 저전력과 적은 통신비용으로 데이터를 수집할 수 있는 것이 장점이다. 히터 제어 장치 외에 도로 정보, 담수 및 해수 정보 등 많은 곳에 NB-IoT 통신을 적용하여 사용 할 수 있다. 본 논문에서는 이벤트 데이터 발생으로 저전력 모드를 고려하지 않고 설계하였다. 향후 연구방향으로 저전력 모드를 고려하여 회로 및 펌웨어를 설계하고, 친환경 에너지인 태양광 패널과 함께 더욱 더 다양한 곳에 이용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] W. Dai, M. Qiu, L. Qiu, L. Chen, A. Wu, "Who moved my data? Privacy protection in smartphones", IEEE Commun. Mag., vol. 54, pp. 20-25, Jan. 2017.
- [2] Gartner, "Harness IoT innovation to generate business value share", Oct. 2016.
- [3] Y. Li, M. Chen, "Software-defined network function virtualization: A survey", IEEE Access, vol. 3, pp. 2542-2553, 2015.
- [4] Seongmin Kim, Changhan Park, Seokkyu Ko, Anthony Smith, Minsun Lee, Implementation of IoT Network and Agricultural Data Management System Using LoRa. JCSE, 1864-1865, 2018.
- [5] Cellular System Support for Ultra-Low Complexity and Low Throughput Cellular Internet of Things, 2015.
- [6] E-UTRA Physical channels and modulation—Chap.10 Narrowband IoT, 2016.
- [7] SINHA, Rashmi Sharan; WEI, Yiqiao; HWANG, Seung-Hoon. A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. Ict Express, 3.1: 14-21, 2017.
- [8] Young-Soo Kim, Duk-Kyu Park, Kyeong-Min Song, Spectrum Policy and Technologies for Promoting IoT Services, KIEES, 28(7), 528~539. Jul 2017.
- [9] Park Soo Yeol, Yoo Seung Do, Jo Gwag Hyun, NB-IoT based gas facility monitoring solution, KIGAS, 5, 87-87, 2018.

저자약력

신 동 근(Dong-Keun Shin)

[일반회원]



- 2014년 한국해양대학교 전자통신공학과(공학사)
- 2016년 - 현재 전북대학교 IT 응용시스템공학과(석사과정)
- 관심분야 : 무선 센서 네트워크, 데이터 통신

김 형 진(Hyung-Jin Kim)

[중신회원]



- 1999년 군산대학교 정보통신공학과 석사 졸업
- 2004년 군산대학교 정보통신공학과 박사 졸업
- 2004년 9월 - 2005년 3월 군산대학교 전자정보공학부 계약교수
- 2005년 4월 - 현재 전북대학교 융합기술공학부 IT응용시스템공학전공 교수
- 관심분야 : 멀티미디어 통신 시스템, 무선 센서 네트워크, 컴퓨터 통신