

# 가상실험용 블루투스 통신모듈 구현

기장근\*†

## Implementation of Bluetooth Communication Module for Virtual Experiments

Jang-Geun Ki\*†

### 요 약

인터넷의 급속한 발전과 휴대용 이동 단말 장치들의 보급 확산으로 사회 전반에 걸쳐 많은 변화가 이루어져 왔으며, 교육 분야에 있어서도 전통적인 대면 수업에서 벗어나 인터넷을 이용한 온라인 교육에 대한 관심과 수요가 증가하는 추세이다. 특히 COVID-19 팬데믹에서 엔데믹으로 전환되고 있는 현 시점에서도 과거 대면 수업으로의 전면적 회귀 대신 비대면 온라인 교육의 장점을 병행하려는 패러다임의 변화가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 오프라인 접촉식 실험 실습 중심으로 수행되어 왔던 전기전자공학 분야의 마이크로컨트롤러 응용회로 학습을 비대면 비접촉 온라인 실험 실습이 가능하도록 하는 가상 실험 실습 소프트웨어 연구의 일환으로, 마이크로컨트롤러와 다른 주변장치들 사이의 블루투스 무선통신을 가능케 하는 가상실험 소자를 모델링하고 구현하였다. 개발된 블루투스 가상실험 모듈은 시뮬레이션 되고 있는 마이크로컨트롤러가 호스트 컴퓨터의 물리적 블루투스 모듈을 사용하여 외부의 다른 물리적 블루투스 장치들과 데이터를 송수신할 수 있도록 지원하며, 다양한 응용회로들을 구성하고 실험해 봄으로써 개발된 블루투스 가상실험 모듈의 기능을 검증하고 유용성을 확인하였다.

### Abstract

With the rapid development of the Internet and the proliferation of portable mobile devices, many changes have been made throughout society. Especially in the field of education, interest and demand for online study using the Internet are increasing, away from traditional face-to-face classes. In particular, even at the moment when the COVID-19 is shifting from the pandemic to the endemic, a paradigm shift is taking place to combine the advantages of untact online education instead of a full return to face-to-face classes in the past. This paper models and implements a virtual device that enables Bluetooth wireless communication between microcontrollers and other peripherals as part of a virtual experimental software study that enables non-face-to-face contactless online experimental practice. The developed Bluetooth virtual experiment module enables the simulated microcontroller to transmit and receive data to and from other external physical Bluetooth devices using the physical Bluetooth module of the host computer. Various example application circuits are configured and tested to verify the functionality and usefulness of the developed Bluetooth virtual experiment module.

**한글키워드 :** 블루투스, 마이크로컨트롤러, 가상실험, 비동기 직렬통신, 공학교육

**keywords :** Bluetooth, microcontroller, virtual experiment, asynchronous serial communication, engineering education

\* 공주대학교 전기전자제어공학부

접수일자: 2023.03.03. 심사완료: 2023.03.15.

† 교신저자: 기장근(email: kjpg@kongju.ac.kr)

게재확정: 2023.03.20.

## 1. 서론

2000년대에 들어 전 세계의 정보를 쉽게 접할 수 있게 해주는 인터넷의 급속한 발전[1]과 스마트폰과 같은 휴대용 이동 단말 장치들의 보급 확산으로 인해 사회 전반에 걸쳐 많은 변화가 이루어져 왔으며, 교육 분야에 있어서도 전통적인 대면 수업에서 벗어나 인터넷을 이용한 온라인 교육에 대한 관심이 증가하여 왔다. 특히 최근 3년간의 COVID-19 영향으로 비대면 또는 비접촉 교육에 대한 수요가 급증하였으며[2,3], 팬데믹에서 엔데믹으로 전환되고 있는 현 시점에서 다시 과거의 전통적인 대면 교육으로 회귀하는 것이 아니라 비대면 온라인 교육의 장점을 기존의 대면 교육에 접목하여 시너지 효과를 얻을 수 있는 형태의 새로운 패러다임 변화를 도모하고 있다[4,5]. 이러한 시도가 성공하기 위해서는 무엇보다도 대면 교육이 추구하는 교육 목표와 성과를 동일하게 달성할 수 있으면서도 대면 교육의 제약 사항인 시간적, 공간적, 비용적 측면의 효율성을 제고할 수 있는 다양한 교육 콘텐츠 개발이 매우 중요할 것이다.

본 논문에서는 대학의 전기전자공학 분야에서 전통적으로 수행되어온 대면 오프라인 실험 실습 중심의 교육을 비대면 비접촉 온라인 실험 실습이 가능하도록 하는 가상 실험 실습 소프트웨어 개발 연구의 일환으로, 기존에 개발된 마이크로컨트롤러 시뮬레이터[6]의 기능을 확장하기 위해 마이크로컨트롤러와 다른 주변장치들 사이의 블루투스 무선통신을 가능케 하는 가상실험 소자를 모델링하고 구현하였다. 개발된 블루투스 가상실험 모듈은 시뮬레이터가 실행되는 호스트 컴퓨터의 물리적 블루투스 모듈을 사용하여 시뮬레이터 내 가상 마이크로컨트롤러와 호스트 컴퓨터의 외부에 위치한 다른 물리적 블루투스 장치 사이에 데이터를 송수신할 수 있는 인터페이스 기능을

제공한다.

본 논문은 다음과 같이 구성하였다. 1장 서론에 이어 2장에서는 본 논문에서 개발된 블루투스 가상실험 시뮬레이터 모듈의 특징 및 구현에 관해 기술하고, 이어서 3장에서는 개발된 시뮬레이터 모듈의 유용성 검증을 위해 예제 회로에의 적용 예를 보이고, 4장에서는 결론 및 앞으로의 기대효과를 기술한다.

## 2. 블루투스 가상실험 소자 모델링

### 2.1 블루투스 개요

블루투스(Bluetooth)[7,8]는 개인통신망(PAN : Personal Area Network) 구성에 널리 사용되고 있는 IEEE 802.15.1 단거리 무선 기술 표준이며, 일반적으로 2.5 mW 송신 전력, 10미터 이내의 전송 거리, 2.4GHz대 주파수 사용 등의 특징을 가지고 있으며, 휴대폰을 비롯한 대부분의 이동통신 단말기들이 기본적으로 블루투스 기능을 내장하고 있어 사용빈도가 급증하고 있다.

JSR(Java Specification Request)-82[9]는 본 연구에서 디지털 가상 실험 소프트웨어를 개발하기 위해 사용된 JAVA 언어에서 Bluetooth 기능을 구현하기 위해 사용할 수 있는 API 들에 대한 규정이다. 현재 JSR-82 규격을 구현한 라이브러리는 BlueCove[10]가 대표적이다.

JSR-82가 제공하는 기능은 아래와 같이 크게 3개의 카테고리로 분류할 수 있다.

- ① 찾기(Discovery)
- ② 통신(Communication)
- ③ 디바이스 관리(Device Management)

찾기(Discovery) 기능은 디바이스 찾기, 서비스 찾기, 서비스 등록 기능 등을 포함하고 있다. 통신(Communication)은 디바이스들 사이에 연결

을 설정하고 이를 이용해 응용 프로그램 사이에 블루투스 통신을 지원하는 기능을 말하며, 디바이스 관리(Device Management)는 블루투스 디바이스들 사이의 연결들을 관리하고 제어하는 기능이다.

### 2.1.1 찾기(Discovery) 기능

Device Discovery는 영역내에 있는 블루투스 장치를 찾는 프로세스로서, 로컬 디바이스가 질의 요구(inquiry request)를 브로드캐스트하고 주변에 있는 블루투스 장치가 응답하기를 기다린다.

블루투스 규격에는 2가지 질의 타입(general, limited)과 3가지의 찾기(응답)모드(general, limited, not-discoverable)가 규정되어 있다.

장치가 general 질의 요구를 보내면 general과 limited 찾기(응답)모드에 있는 모든 장치들이 응답한다. 만일 limited 질의를 보내면 limited 찾기(응답)모드로 설정되어 있는 장치만이 응답을 보낸다. not-discoverable 찾기(응답)모드에 있는 장치는 어떠한 질의 요구에도 응답하지 않는다.

JSR-82에서 LocalDevice 클래스 객체의 setDiscoverable(int mode) 메소드를 이용해 장치의 찾기(응답)모드를 설정할 수 있다. JSR-82에서 블루투스 장치 찾기 동작을 위한 메인 클래스는 DiscoveryAgent 클래스이며, 이 클래스는 startInquiry() 와 retrieveDevices() 메소드를 가지고 있다.

startInquiry(int accessCode, DiscoveryListener listener) 메소드는 non-blocking 호출 방식(질의가 실제로 끝나기 전에 바로 리턴됨)으로 동작되며, 매개변수 accessCode는 general 또는 limited 값을 가지고, 매개변수 listener는 질의 절차가 완료되었을때 자동으로 호출되어 실행되는 inquiryCompleted() 메소드를 갖는 DiscoveryListener 객체이다. DiscoveryListener 객체는 원격(remote) 블루투스 장치가 발견될 때

호출되는 deviceDiscovered(RemoteDevice btDevice, DeviceClass cod) 메소드를 가지고 있다. RemoteDevice 클래스는 원격장치의 블루투스 주소나 이름 등의 정보를 제공한다.

### 2.1.2 통신(Communication) : RFCOMM(직렬포트 에뮬레이션) 기능

RFCOMM 프로토콜은 2개의 블루투스 장치 사이에서 RS-232 직렬포트 에뮬레이션 기능을 제공한다. 모든 연결은 Connector.open(String name) 으로 시작되고 매개변수로 넘겨지는 스트링 name은 어떤 프로토콜(RFCOMM 스킴 사용 경우 btsp)을 사용해 어떤 장치와 연결하는지를 나타내는데, 크게 서버 연결 스트링과 클라이언트 연결 스트링 2가지 형태로 구별된다.

서버 연결 스트링의 경우 btsp://localhost:<UUID> 형태를 가지며, 이때 Connector.open() 메소드는 StreamConnectionNotifier 객체를 리턴하는데, 이 객체의 acceptAndOpen() 메소드를 호출하여 클라이언트가 서버로 접속하기를 기다릴 수 있다. 클라이언트가 서버에 접속하게 되면 acceptAndOpen() 메소드는 StreamConnection 객체를 리턴하게 되고, 이 객체를 이용해 클라이언트와 데이터를 주고받기 위한 입출력 스트림을 얻어낼 수 있다.

클라이언트 연결 스트링의 경우 btsp://<Bluetooth\_address>:<service\_channel\_ID> 형태를 가지며, 이때는 StreamConnection 객체가 리턴되고, 이 객체를 이용해 서버와 데이터를 주고받기 위한 입출력 스트림을 얻어낼 수 있다.

### 2.1.3 디바이스 관리 기능

블루투스 통신을 위한 두 장치 LocalDevice 와 RemoteDevice 클래스를 규정하며, 이 디바이스들의 이름과 블루투스 주소 등을 얻어내는 메소드, LocalDevice의 상태관리(찾기 가능

(discoverable) 상태 설정) 메소드 등을 제공한다.

## 2.2 블루투스 모듈 모델링 및 구현

일반적으로 블루투스 모듈은 크게 직렬포트 패스스루(serial port pass-through) 모듈과 오디오 모듈로 구별할 수 있다.

최근 마이크로컨트롤러 응용분야 교육에서 많이 쓰이고 있는 아두이노[11] 실험실습에서 블루투스 사용을 위해 많이 사용되고 있는 모듈로는 HC-05, HC-06 등[12,13] 이 있으며, 이들은 직렬포트 패스스루 모듈의 일종이다. 본 연구에서는 HC-05 모듈의 기능을 중심으로 가상실험 소프트웨어에서 블루투스 기능을 지원하는 소자를 모델링하고 프로그램하였다. 개발된 블루투스 모듈은 그림 1에 나타낸 것과 같이 마이크로컨트롤러와 USART 직렬전송 기능의 송수신 라인을 통해 비동기식으로 데이터를 주고 받으며, 주고 받는 데이터를 바이트 단위로 블루투스를 통해 무선전송한다.

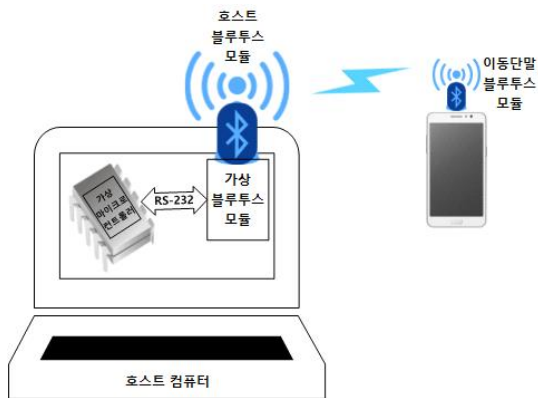


그림 1. 가상 블루투스 모듈 구성도  
Fig. 1. Virtual bluetooth module structure

본 논문에서 개발된 BluetoothHC05 블루투스 모듈의 기능을 보다 상세히 기술하면 다음과 같다. 먼저 마이크로컨트롤러가 USART TX 핀을 이용해 비동기 방식으로 송신한 직렬 비트들을

BluetoothHC05 모듈이 차례로 수신하여 바이트 단위로 조립하고, 이 바이트 데이터를 호스트 컴퓨터에 장착되어 있는 실제 물리적 Bluetooth를 통해 송신한다. 물론 이와 같은 데이터 전송이 이루어지기 전에 마이크로컨트롤러와 데이터를 주고받을 이동단말 디바이스(예를 들어 휴대폰)는 먼저 호스트 컴퓨터와 블루투스 페어링(pairing)이 되어 있어야 하며, 이는 호스트 컴퓨터의 운영체제에서 지원하는 기능을 이용해 간단히 페어링 관계를 설정할 수 있다. 이동단말 디바이스(휴대폰)가 블루투스를 통해 송신한 데이터는 호스트 컴퓨터의 물리적 블루투스 모듈을 통해 가상실험용 BluetoothHC05 모듈이 수신하게 되고 이 데이터를 RS-232 비동기 직렬방식으로 마이크로컨트롤러의 USART RX 핀을 통해 전달하게 된다.

결과적으로 본 논문에서 개발된 BluetoothHC05 블루투스 모듈은 가상실험 소프트웨어에서 사용되는 마이크로컨트롤러에 비동기 직렬전송 방식으로 연결하여 사용할 수 있는 블루투스 소자 기능을 제공하며, 실제 가상실험 소프트웨어가 실행되는 호스트 컴퓨터의 물리적 블루투스를 이용해 외부에 있는 이동단말 장치와 데이터를 교환할 수 있는 인터페이스 역할을 수행한다. 따라서 스마트폰과 같은 이동단말의 블루투스 앱을 통해 호스트 컴퓨터에서 가상실험되고 있는 마이크로컨트롤러와 바이트 단위로 데이터를 주고 받을 수 있어 시뮬레이션 되고 있는 마이크로컨트롤러나 연결된 주변 센서 등의 상태 정보들을 확인하고, 이들을 제어하는 신호 등을 마이크로컨트롤러로 보낼 수 있다.

## 3. 실험 및 기능 검증

본 절에서는 본 논문에서 구현한 가상실험용

블루투스 모듈의 기능 검증에 관해 기술한다.

그림 2에 블루투스 소자 기능 검증을 위한 예제 회로도를 나타내었다. 이 회로도는 그림 1의 호스트 컴퓨터에서 실행되는 가상실험 소프트웨어에서 설계한 회로도이며, 그림 좌측에 마이크로컨트롤러(PIC690)가 위치하고 있고, 우측에 RS232/TTL Tx/Rx 선으로 연결된 블루투스 HC05 가상소자가 있다. 그림 중앙의 tracer 소자는 마이크로컨트롤러와 블루투스 HC05 모듈 사이에 전송되는 RS232 데이터 비트 값을 보여주는 측정기이다. 회로에 사용된 마이크로컨트롤러(PIC690)는 USART Rx 기능을 수행하는 12번 핀을 통해 비동기 직렬 방식으로 비트들을 입력 받으며, 한 바이트를 수신할 때마다 LED에 수신 값을 표시한 후, 수신한 데이터와 똑같은 값을 에코우 방식으로 USART Tx 핀(10번핀)을 통해 되돌려 주도록 프로그램 되었다. 따라서 호스트 컴퓨터 외부에 위치한 이동단말 등이 블루투스 방식을 이용해 그림 2의 회로가 시뮬레이션 되고 있는 호스트 컴퓨터에 접속한 후 임의의 데이터를 전송하면, 이 데이터는 호스트 컴퓨터의 물리적 블루투스 모듈을 통해 그림 2의 BluetoothHC05 가상소자로 전달되고 이 가상소자는 수신한 데이터를 RS232 비동기 직렬방식으로 PIC690 마이크로컨트롤러로 전달하게 된다. 마이크로컨트롤러는 매 바이트를 수신할 때마다 이에 대한 응답으로 수신한 값과 동일한 데이터 바이트를 BluetoothHC05 가상소자로 RS232 연결을 통해 보내고, 다시 BluetoothHC05 가상소자는 호스트 컴퓨터의 물리적 블루투스 모듈을 통해 외부의 이동단말로 데이터를 보내게 된다.

그림 3은 이동단말이 호스트 컴퓨터에 블루투스 연결을 통해 접속하는 초기 화면부터 가상실험 소프트웨어에서 설계된 회로내의 마이크로컨트롤러로 데이터를 보내고 이에 대한 응답을 받을 때까지의 화면들을 차례로 보여주고 있다.

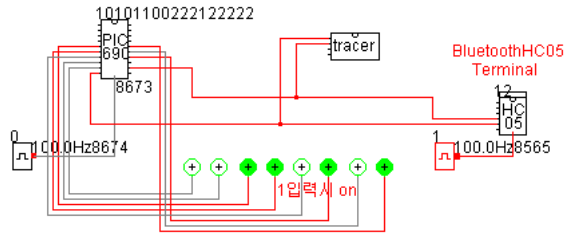
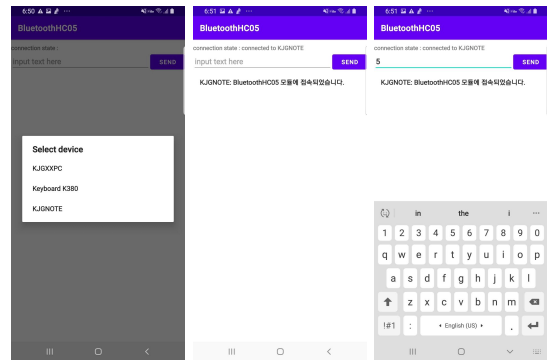
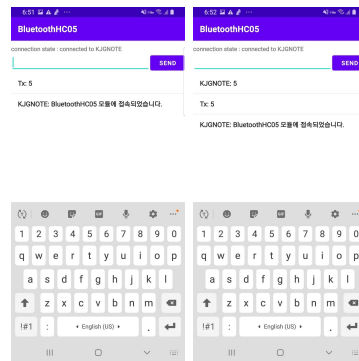


그림 2. 블루투스 소자 기능 검증을 위한 회로도  
Fig. 2. Circuit for verifying BluetoothHC05 functions



(a) 호스트 선택 화면 (a) host select screen  
(b) 호스트 접속 초기화면 (b) screen after connection establishment  
(c) 송신 데이터 5 입력화면 (c) Tx data 5 input screen



(d) 응답대기화면 (d) Waiting for response screen  
(e) 에코우 응답 5 수신화면 (e) echo reply 5 receiving screen

그림 3. 블루투스 소자 기능 검증을 위한 이동단말 동작 화면

Fig. 3. Mobile device screens for verification of BluetoothHC05 functions

#### 4. 결론

그림 3(a)는 이동단말에서 블루투스 앱을 실행하면 나타나는 초기화면으로 어느 호스트에 접속할지 선택하면 된다. 본 논문의 실험에서는 KJGNOTE라는 이름의 컴퓨터를 호스트로 설정하였으며, 그림 3(a)에서 KJGNOTE를 선택하면 잠시 후 그림 3(b)와 같은 화면이 나타나 호스트에 블루투스 연결이 완료되었음을 알려준다. 이제 이동단말에서 가상실험 소프트웨어의 마이크로컨트롤러로 보내고 싶은 데이터를 그림 3(c)에서와 같이 입력하고 SEND 버튼을 클릭하면 앞에서 설명한 바와 같이 이동단말 블루투스 송신기, 호스트 컴퓨터 블루투스 수신기, 가상실험 소프트웨어내 BluetoothHC05 가상소자, 마이크로컨트롤러 순서로 데이터가 보내지고, 이를 수신한 마이크로컨트롤러가 에코우 응답으로 보내는 똑같은 데이터가 역순으로 이동단말까지 전송되게 된다. 그림 3(d)는 이동단말이 마이크로컨트롤러쪽으로 데이터 5를 보낸 후 응답을 수신할 때까지 사이의 대기화면을 보여주고 있으며, 그림 3(e)는 마이크로컨트롤러로부터 에코우 응답을 수신했을 때의 화면을 나타낸다.

본 논문에서는 개발된 BluetoothHC05 가상소자의 기능 검증을 위해 마이크로컨트롤러가 단순히 수신한 데이터를 에코우해서 되돌려 주는 프로그램을 실행하는 예만을 보였지만, 실제 응용에서는 사용자가 원하는 임의의 프로그램을 작성해 실행하면 이동단말과 블루투스 무선통신을 이용해 데이터를 교환하며 동작하는 마이크로컨트롤러 응용 회로를 다양하게 구성해 실험할 수 있게 되어, 실제 실험실에서 물리적인 도구들을 사용해 실험하는 것에 비해 시간적, 공간적, 비용적 장점을 갖는 가상 실험 실습이 가능하다.

최근 컴퓨터와 정보통신 관련 기술들의 급속한 발전과 COVID-19과 같은 환경적 요인들로 인해 사회전반에 걸쳐 많은 변화가 이루어져 왔으며, 대학 교육에 있어서도 전통적인 대면 수업 대신 비접촉 온라인 학습에 대한 수요가 급증하였다. COVID-19의 팬데믹 시대에서 엔데믹 시대로 전화되고 있는 현 시점에서 다시 과거의 대면 교육 환경으로 완전히 회귀하지 않고, 그동안 발전해온 온라인 교육의 장점과 전통적인 대면 학습의 장점을 접목하는 방향으로 교육 패러다임이 발전할 것으로 예상되며, 앞으로 물리적 실험 실습 환경을 대체하는 가상 실험 실습 관련 방안들이 교육현장에 지속적으로 도입되고 발전할 것으로 예측된다.

본 논문에서는 대학의 전기 전자 제어 공학 분야에서 사용될 수 있는 가상 실험 실습 소프트웨어 개발 연구의 일환으로 블루투스 무선통신 가상소자를 모델링하고 구현하였다. 개발된 BluetoothHC05 모듈은 마이크로컨트롤러와 비동기식 RS-232 직렬 유선통신방식으로 연결되고 호스트 컴퓨터의 물리적 블루투스 모듈과의 인터페이스 기능을 제공함으로써 가상 실험 실습을 위해 호스트 컴퓨터에서 시뮬레이션 되고 있는 마이크로컨트롤러가 물리적으로 분리되어 있는 다른 이동 단말과 블루투스 통신을 수행할 수 있도록 하는 기능을 제공한다.

본 논문에서 개발된 BluetoothHC05 블루투스 가상소자를 사용하면 마이크로컨트롤러와 블루투스 통신을 수행하는 주변장치들을 포함하는 다양한 응용회로를 구성하고 시뮬레이션해 볼 수 있어 시간적, 공간적, 비용적 장점을 얻으면서도 충분히 원하는 교육 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Ho Chan Ahn & Young Hee Kim. (2022.06). A Study on the technology trends and development plans for next generation Internet Networks. Summer Proceedings of the Korean Institute of Communication Sciences Conference, 436-437. <https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE11107773>

[2] Seung Woo Han & Boyoung Kim. (2020.10). A Study on the Response of Learners to University Online Education after Corona 19. Culture and Convergence, 42(10), 155-172. <https://doi.org/10.33645/cnc.2020.10.42.10.155>

[3] Jiwon Kim & Youngshin Park & Kyung Yee Kim & Kilseok Yang. (2021). An analysis of College Professors' and Students' Perceptions and Experiences of online classes under the COVID-19 situation. EDUCATIONAL RESEARCH, 80, 33-58. DOI : doi.org/10.17253/swueri.2021.80..002

[4] Sung Yeol Kim. (2020.11). Remote Education and University Challenges as New Paradigm of University Education. Happy Education, Ministry of Education, [https://happyedu.moe.go.kr/happy/bbs/selectHappyArticleImg.do?bbsId=BBSMSTR\\_00000000191&nttId=10069](https://happyedu.moe.go.kr/happy/bbs/selectHappyArticleImg.do?bbsId=BBSMSTR_00000000191&nttId=10069)

[5] Sangjoon Park. (2021.10). Future Education after COVID-19 2nd ed. Kyoyookbook, ISBN : 978-89-254-1621-2(03370)

[6] Jang Geun Ki & Kee Young Kwon. (2021.06). Microcontroller Modeling for Virtual Experiment in Microprocessor Education. Journal of Software Assessment and Valuation, 17(1), 93-99. ISSN 2092-8114, DOI : <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2021.06.12>

[7] Bluetooth Core Specification. (2023.01.31). [https://www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx?doc\\_id=556599](https://www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=556599)

[8] Wikipedia, Bluetooth. (2023.03). <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

[9] Motorola. (2008.07). Java APIs for Bluetooth Wireless Technology (JSR 82). <http://download.oracle.com/otn-pub/jcp/bluetooth-1.1.1-mrel2-oth-JSpec/bluetooth-1.1.1-mrel2-javadoc.zip>

[10] BlueCove. (2023). <http://www.bluecove.org/>

[11] Arduino. (2023). <https://www.arduino.cc/>

[12] HC Serial Bluetooth Products User Instructional Manual. (2023). [https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/HC06%20Bluetooth%20Module%20Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC06%20Bluetooth%20Module%20Datasheet.pdf)

[13] HC-05 - Bluetooth to Serial Port Module. (2023). [https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/HC-05%20Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC-05%20Datasheet.pdf)

저 자 소 개



기장근(Jang-Geun Ki)

1986.2 고려대학교 전자공학과 졸업  
 1988.2 고려대학교 전자공학과 석사  
 1992.2 고려대학교 전자공학과 박사  
 2002.6-2003.6, 2010.6-2011.8, 2016.8-2017.8  
 Univ. of Arizona 방문교수  
 1992.3-현재 : 공주대학교 공과대학 전기전자  
 제어공학부 교수  
 <주관심분야>통신프로토콜, 이동통신시스템