

# 결 과 보 고 서

과제명: 시각장애인 버스 탑승 도우미

팀 명:

전남대학교 IDEC 2023 스마트전자회로설계 챌린지

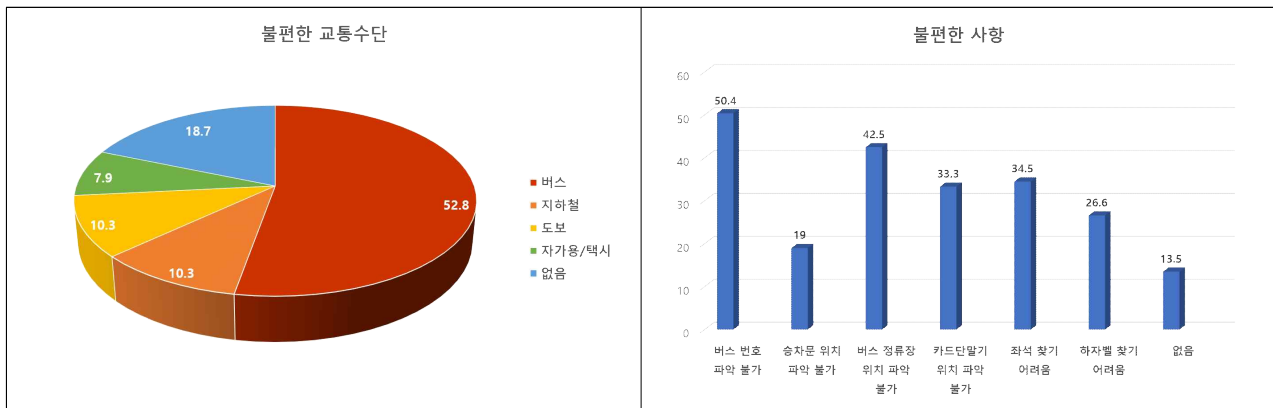
# 목 차

1. 과제 개요
2. 과제 소개
3. 과제 진행
4. 과제 결과
5. 결론 및 기대효과

## 1. 과제 개요

대중교통의 사전적 정의는 대중이 이용할 수 있는 교통 서비스로 모든 교통시설 및 수단을 포함한다. 출퇴근 및 등하교 시 흔히 이용하는 버스도 대중교통 중 하나이다. 그러나 "시각장애인에게도 버스가 대중교통일까?"라는 의문을 가지게 된다. 시각장애인은 버스에 탑승하는 과정에서 다양한 어려움에 직면한다.

2006년 교통약자 이동편의 증진법을 시행함으로써 교통약자가 안전하고 편리하게 이동할 수 있도록 교통수단 및 여객시설에 이동편의시설을 확충하고 보행환경을 개선하여 사람 중심의 교통체계를 구축하는 등 교통약자를 위한 대중교통 서비스는 지속적으로 개선되고 있다. 그럼에도 불구하고 시각장애인을 위한 서비스는 상대적으로 부족한 것이 현실이다. 디지털 시각장애인 연대가 전국 시각장애인 252명을 대상으로 조사한 결과, 52.8%가 가장 불편한 교통수단으로 버스를 지목했다. 또한, 시각적 제약으로 인한 버스 승하차 위치, 버스 번호 인식, 버스 정류장 위치 파악 등을 불편 사항으로 꼽았다. 이로써 스스로 원하는 버스에 탑승하는 것은 현실적으로 불가능에 가깝다. 심지어, 시각장애인의 탑승 의사를 확인할 방법이 없어 버스 기사가 이를 확인하고 배려할 수 없다. 더 나아가 이러한 문제점은 버스 탑승 과정에서 안전사고로 이어질 위험이 있다.



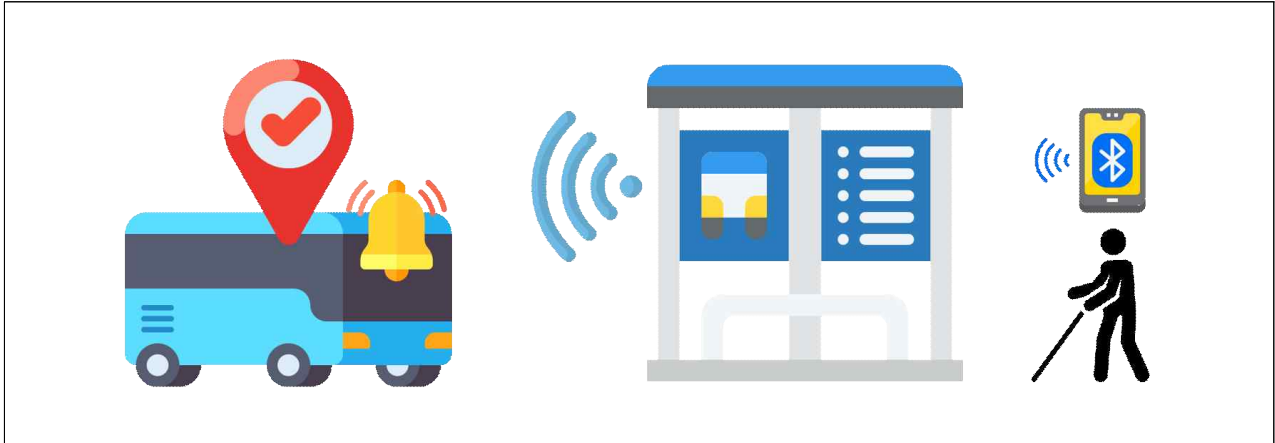
[그림 1-1] 시각장애인 대상 불편한 교통수단 통계 자료

[그림 1-2] 시각장애인 대상 버스 이용 중 불편한 사항 통계 자료

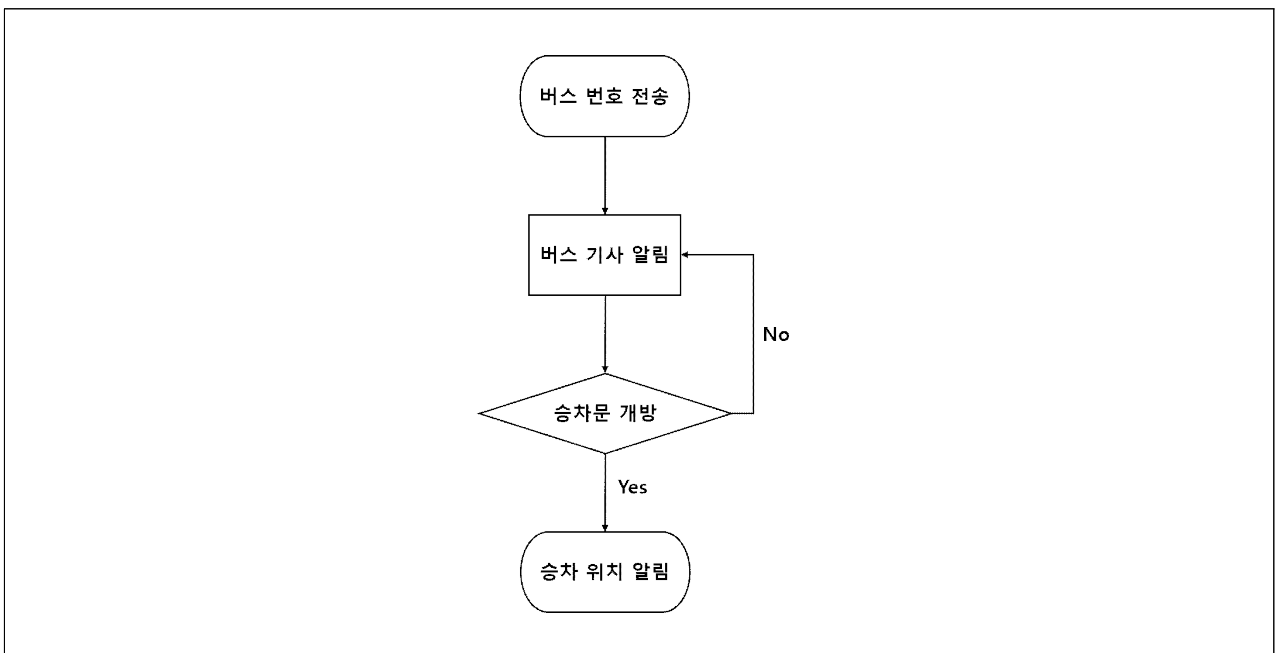
위와 같이 교통복지 사각지대에 방치된 시각장애인의 이동 편의를 개선하고 진정한 의미의 대중교통을 만들기 위해 '시각장애인 버스 탑승 도우미' 시스템을 고안하였다.

## 2. 과제 설명

‘시각장애인 버스 탑승 도우미’ 시스템은 스마트폰의 Bluetooth 통신과 버스 정보 시스템(BIS)을 활용하여 시각장애인의 안전한 버스 탑승을 돕는 시스템이다. 이를 통해 시각장애인의 버스 탑승 의사를 기사에게 알리고, 시각장애인에게는 승차 문의 위치를 알림으로써 시각장애인의 대중교통 이동 편의를 증진하고자 하였다.



[그림 2-1] 과제 구상도



[그림 2-2] 동작 순서도

시스템의 동작 순서는 다음과 같다. 먼저 시각장애인은 스마트폰을 사용하여 Bluetooth 통신을 통해 탑승하고자 하는 버스의 번호를 정류장 표지판에 전송한다. 이 신호는 버스 정보 시스템에 연동된 정류장 표지판에서 해당 버스로 전송되어 버스 기사에게 탑승 의사를 알린다. 버스가 정차하고 승차 문이 열리면, 탑승 의사 신호와 문 열림 신호를 통해 출입문의 위치를 알리는 오디오 신호가 발생한다. 시각장애인은 이 신호음을 통해 출입문의 위치를 정확하게 인식할 수 있다.

### 3. 과제 진행

#### 3-1. 회로 구성 및 설계 방법

##### (1) 스마트폰-정류장 표지판 통신

텍스트를 음성으로 읽어주는 Text To Speech 기술, 음성 인식 기술의 발전으로 시각장애인의 스마트폰 사용이 가능하게 되었다. 이러한 시각장애인의 유연한 스마트폰 사용과 UART 통신을 기반으로 스마트폰의 Bluetooth 통신을 활용하여 스마트폰과 정류장 표지판 간의 통신을 구성하였다. 이를 통해 시각장애인이 타고자 하는 버스의 번호를 정류장 표지판으로 전송하는 회로를 설계하였다.



[그림3-1] 스마트폰-정류장 통신

##### (2) 정류장 표지판-버스 통신

버스 정보 시스템은 각 버스의 실시간 위치 정보를 GPS와 LTE 통신을 기반으로 센터에 전송하고 이를 활용하여 버스 도착 예정 시간을 실시간으로 승객들에게 제공한다. 앞서 전송받은 시각장애인의 탑승 의사를 버스 정보 시스템(BIS)을 통해 버스 기사에게 전송하는 정류장 표지판과 버스 간의 통신을 구상하였다. BIS를 대체하기 위해 UART 통신 모듈과 RF 통신 모듈, 그리고 FPGA로 정류장 표지판으로부터 버스에 탑승 의사 신호를 전송하는 회로를 구성하였다.



[그림3-2] 정류장 표지판-버스 통신

##### (3) 승차 문 위치 알림 신호

버스 정보 시스템을 통해 수신된 시각장애인의 탑승 의사와 버스의 문 열림 신호를 확인하여 출입문의 위치를 알리는 신호를 생성하였다. 555 타이머 IC를 사용하여 저항과 커패시터의 충전방전을 통한 구형파 신호를 생성하여 오디오 신호가 주기성을 가지고 출력되도록 하였다.

시각장애인의 탑승 의사 신호와 문 열림 신호가 동시에 1로 올라가면 스피커 신호가 발생하고, 이를 555 타이머 IC를 통해 1과 0을 반복하여 오디오 신호를 생성한다. 스피커를 버스의 승차 문에 배치하여 시각장애인에게 버스 승차 문의 위치를 알린다.



[그림3-3] 승차 문 위치 알림 신호

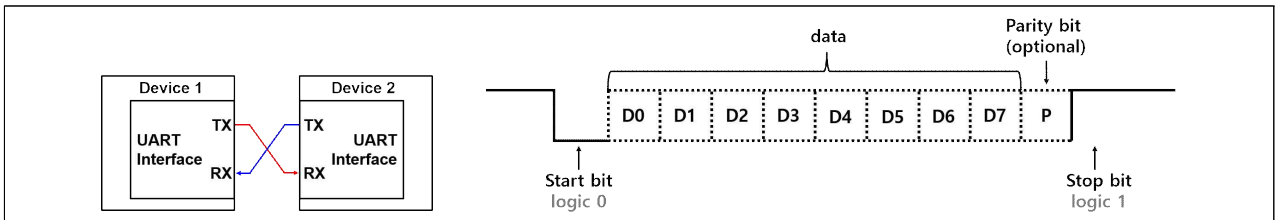
### 3-2. 회로 구현

전체적인 회로는 크게, UART 통신 모듈을 사용하여 Bluetooth 통신으로 전송받은 신호를 처리하여 버스로 전송하는 표지판과, 처리된 신호를 표지판으로부터 전송받아 출입문의 위치를 알리기 위한 오디오 신호를 생성하는 버스 두 부분으로 구성하였다.

Verilog HDL로 UART 통신 모듈을 설계하고 이를 전반적인 시스템 통신에 사용하였고, Xilinx사의 XC7A15T 기반 FPGA 보드를 이용하여 프로토타입을 제작하였다.

#### (1) UART 통신 모듈 설계

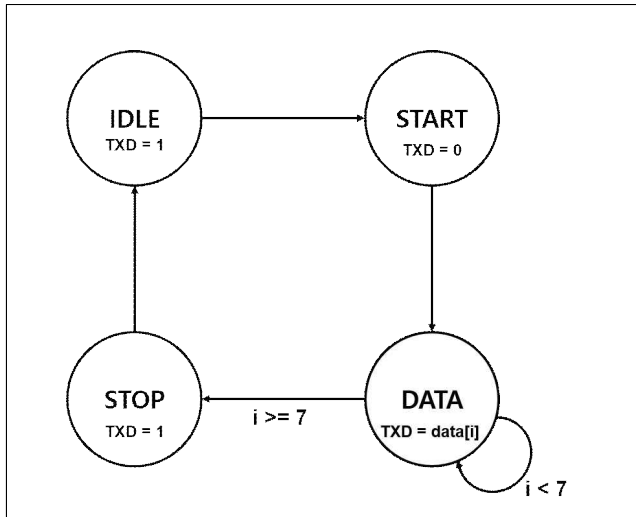
UART(Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)통신은 컴퓨터와 주변장치 사이의 시리얼 데이터 전송을 위한 표준 통신 프로토콜이다. UART는 데이터 비트를 start 비트로 구분하고, 그 후에 데이터 비트들을 일정한 시간 간격으로 연속적으로 전송하는 비동기식 통신 방식이다. Start 비트 다음에는 데이터 비트들이 차례로 전송되고, 마지막으로 stop 비트가 전송되며 오류를 검출하기 위한 패리티비트를 선택적으로 데이터 프레임에 추가할 수 있다.



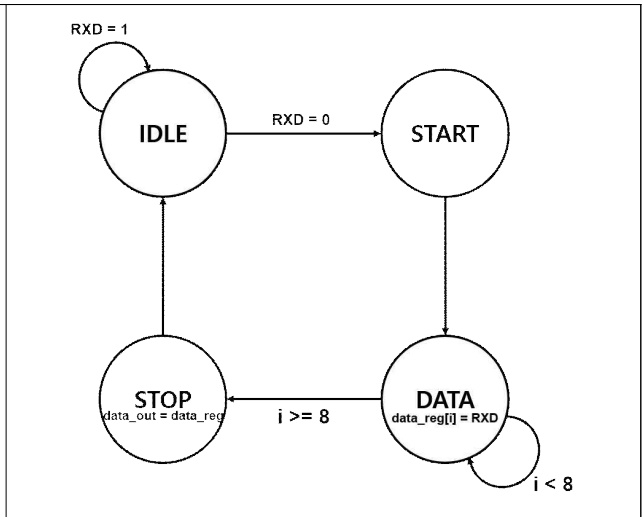
[그림3-4] UART 통신 데이터 프레임

설계한 UART 통신 모듈의 TX 동작 순서는 [그림3-5]과 같다. 1bit output TXD는 IDLE 상태에서 항상 1을 유지하다가 start bit인 0을 전송하면서 데이터 전송의 시작을 알린다. 바로 다음 clk cycle부터 8bit data의 LSB부터 순서대로 전송한다. 마지막 MSB까지 전송을 마치면 stop bit인 1을 전송하고 데이터 전송의 끝을 알린다. 마찬가지로 RX 동작 순서는 [그림3-6]과 같다. 1bit input RXD가 항상 1이다가 0을 입력받으면 start bit로 인식하고 다음 clk cycle부터 LSB부터 차례로 8bit의 data bit를 입력받는다. 이후 아홉 번째 데이터 bit로 1이 들어오면 stop bit로 인식하고 전송을 끝마친다. 설계한 UART 통신 모듈에서는 RX 하위 모듈로 받은 8bit data를 TX 하위 모듈로 시리얼 전송한다. [그림3-7]은 설계한 UART 통신 모듈의 블록 다이어그램이다. UART 컨트롤러 레지스터 모듈을 통해 통신속도를 결정하는 UBRR값을 입력받아 분주된 clk을 생성하며 이를 TX 및 RX 동작의 clk으로 사용한다. System clk 50MHz의 통신속도

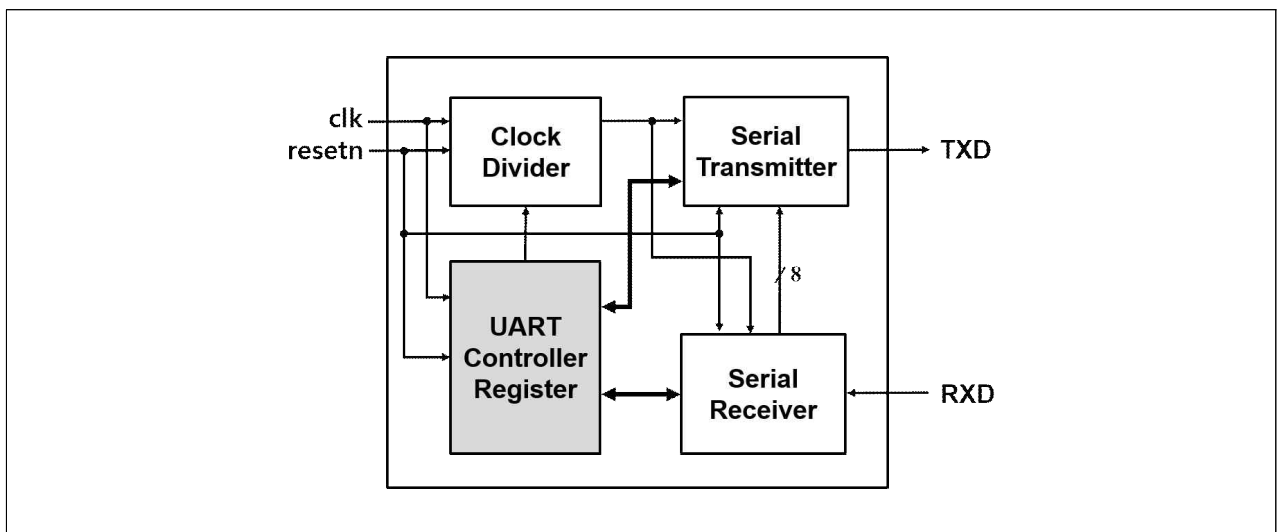
9600 baud rate로 설정하고 식  $UBRR = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1$ 을 사용하여 UBRR값 324를 계산하였다.



[그림3-5] TX FSM



[그림3-6] RX FSM



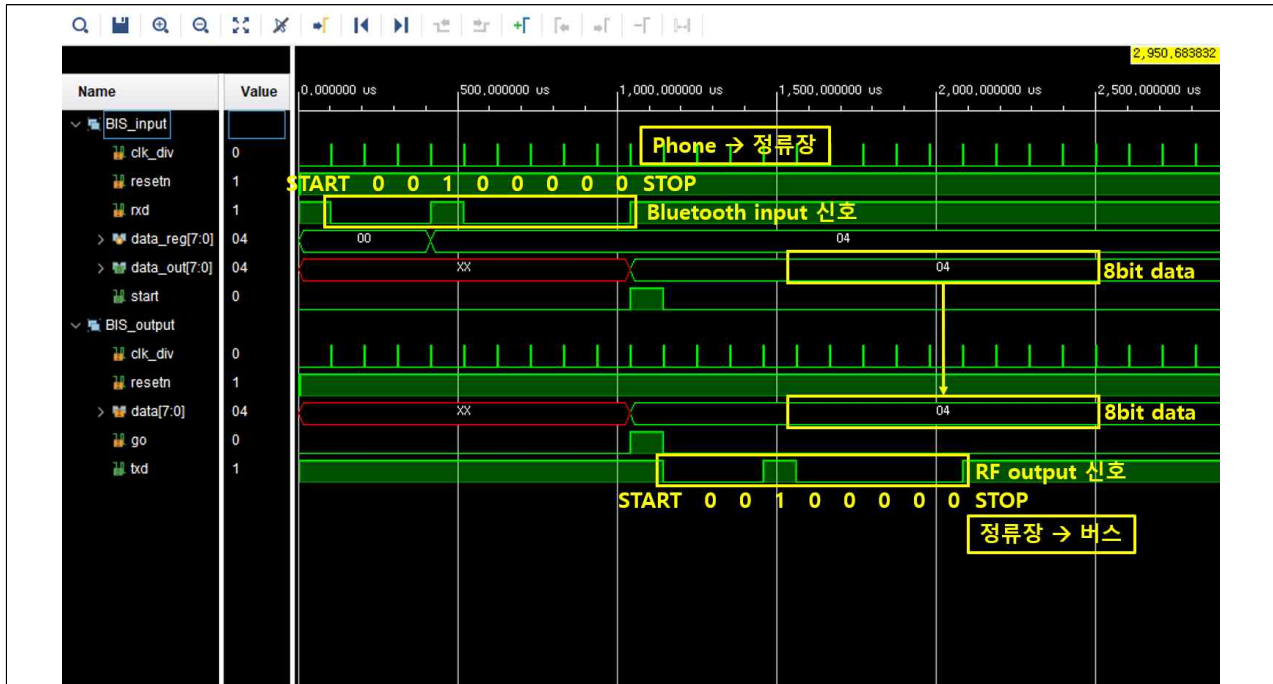
[그림3-7] UART Block diagram

## (2) 정류장 표지판

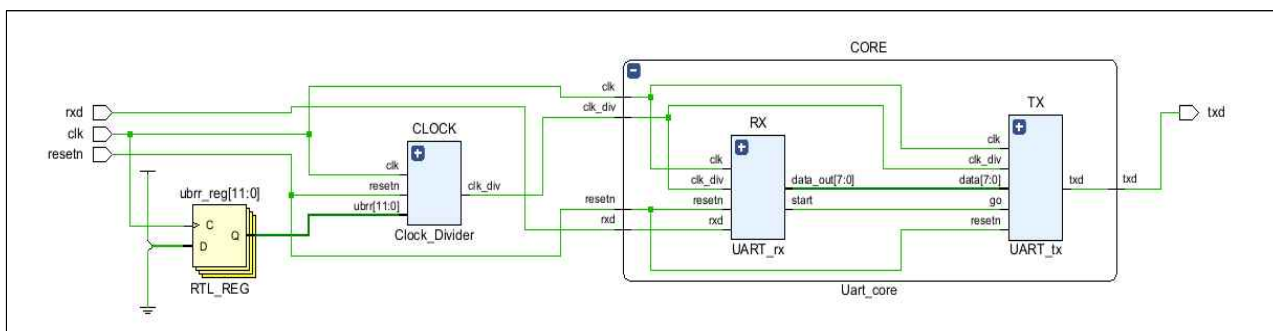
설계한 UART 통신 모듈과 FPGA 보드, Bluetooth 통신 모듈, 8개의 LED 그리고 RF 통신 모듈로 정류장 표지판 회로를 구성하였다.

Bluetooth 통신 모듈과 UART 통신 모듈을 통해 시각장애인이 타고자 하는 버스의 번호를 8bit data로 수신받고, 이를 RF 송신 모듈로 해당 버스에 송신함과 동시에 8개의 LED로 버스 번호를 나타내도록 설계하였다. FPGA 보드의 schematic을 보고 pin mapping을 진행하였다.

[그림3-8]은 설계한 정류장 표시판 회로의 Vivado simulation 결과이고, [그림3-9]는 설계한 모듈의 합성 후 schematic이다. Test bench를 통해 예상 동작 시나리오와 같이 작동하는 것을 확인하였다.



[그림3-8] 정류장 표지판 회로 Vivado RTL simulation



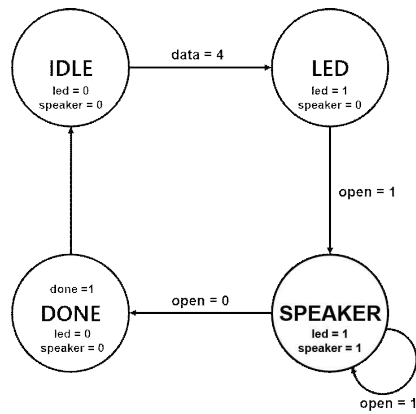
[그림3-9] 정류장 표지판 회로 Vivado implementation

### (3) 버스

설계한 UART 통신 모듈과 FPGA 보드, RF 통신 모듈, LED, 토글스위치, 피에조 스피커, 555 타이머 IC, 저항, 커패시터로 버스 회로를 구성하였다.

Verilog HDL를 이용해 버스 기사에게 시각장애인의 탑승 의사를 알리고 승차 문의 위치를 알리는 회로를 설계하였다. 설계한 버스의 번호는 04번으로 설정하였으며 동작 순서는 [그림3-10]과 같다. RF 통신 모듈로 수신받은 버스 번호가 해당 버스의 번호인 4와 일치하면 버스 기사에게 탑승 의사를 알리기 위한 LED가 켜진다. LED가 켜져 있는 상태에서 문 열림 스위치인 토글스위치가 켜지면 피에조 스피커를 통해 승차 문의 위치를 알리는 오디오 신호가 발생한다.

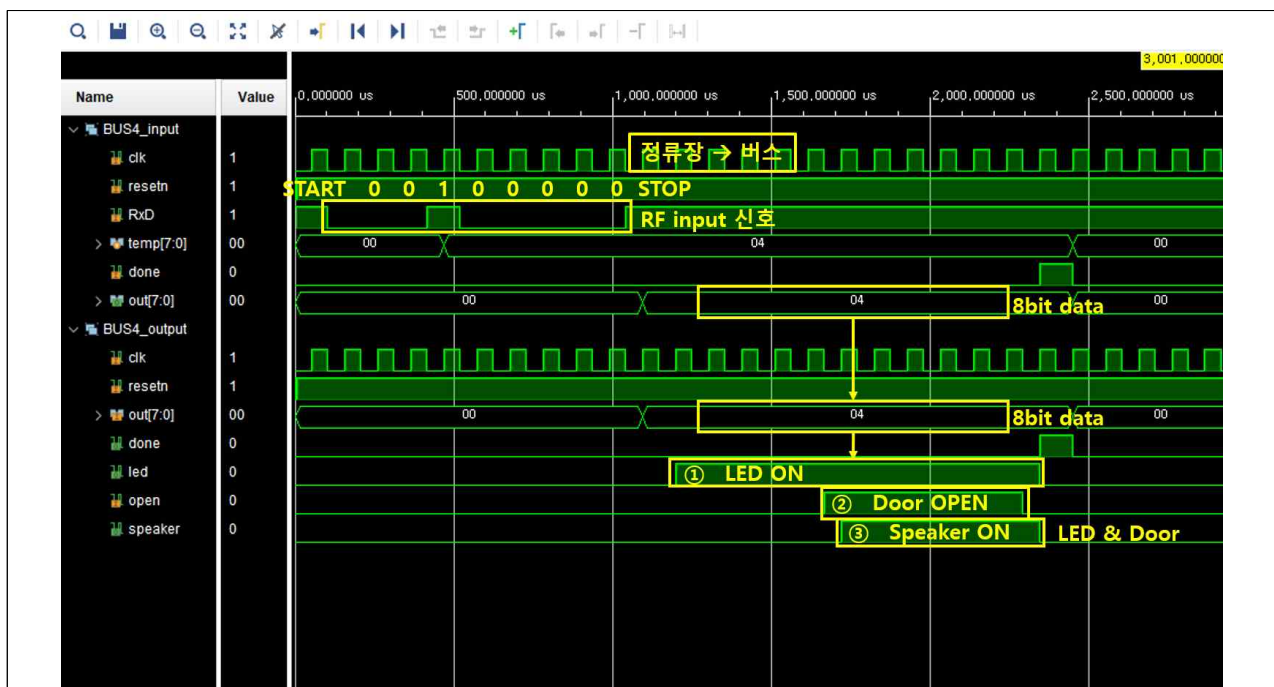




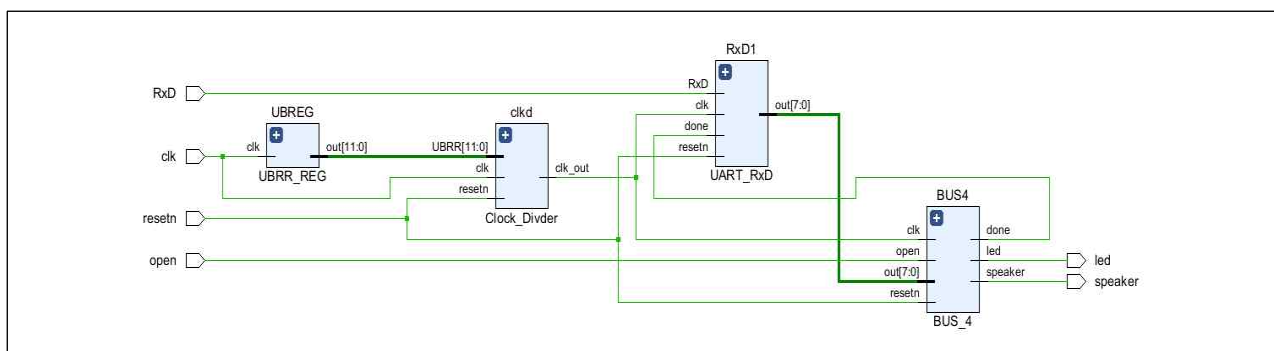
[그림3-10] BUS4 FSM

[그림3-11]은 설계한 버스 모듈의 Vivado simulation 결과이고, [그림3-12]는 설계한 모듈의 합성 후 schematic이다. Test bench를 통해 예상 동작 시나리오와 같이 작동하는 것을 확인하였다.

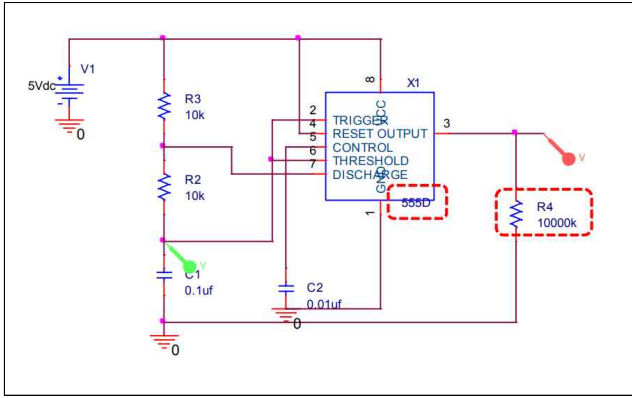
[그림3-13]과 같이 555 타이머 소자와 저항, 커패시터로 구성된 구형파 발생기 회로를 피에조 스피커의 +단자와 연결하여, 단순 신호음이 아닌 주기성을 가지고 ON/OFF를 반복하도록 하였다. 출력 구형파의 주기는 식  $T = 0.69(R_A + 2R_B)C_X$ 을 통해 결정하였다.



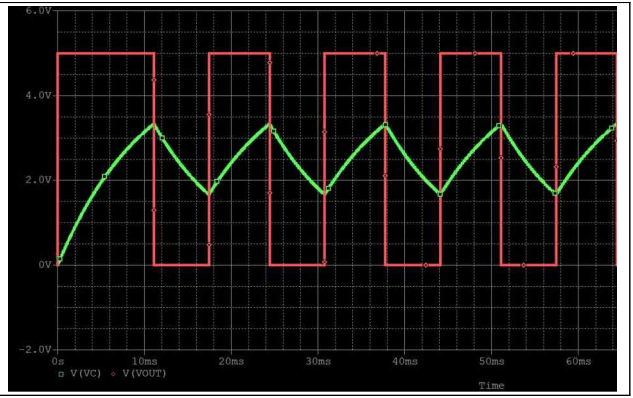
[그림3-11] 버스 회로 Vivado RTL simulation



[그림3-12] 버스 회로 Vivado implementation

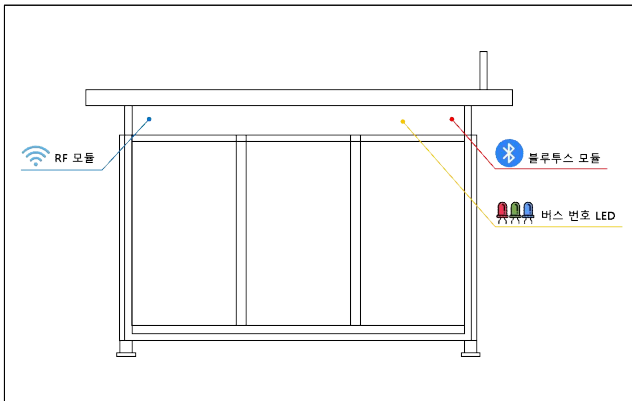


[그림3-13] LM555 타이머 구성파 발생 회로

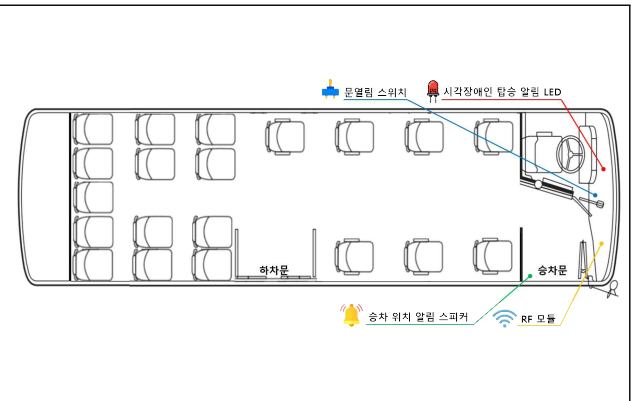


[그림3-14] PSpice Simulation 결과

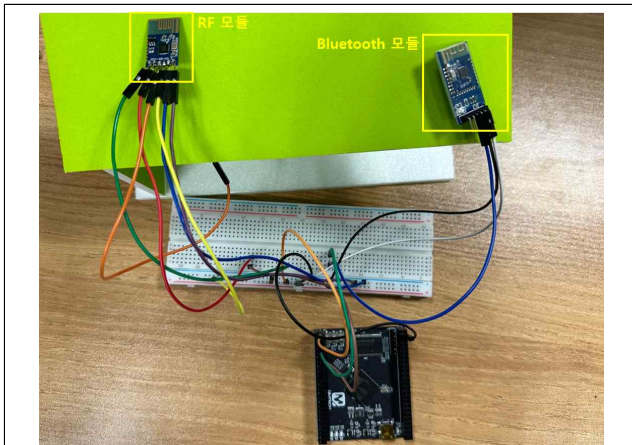
[그림3-15]와 [그림3-16]은 설계한 회로로 구성된 버스 정류장 모형과 버스 모형의 도면이고, [그림3-17]과 [그림3-18]은 각각을 브레드보드로 구현한 모습이다.



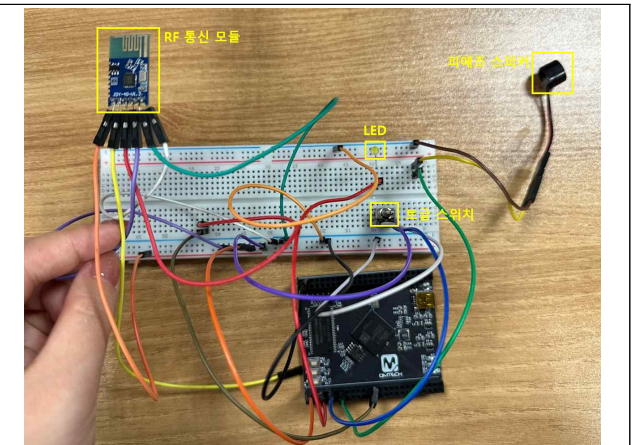
[그림3-15] 버스 정류장 도면



[그림3-16] 버스 내부 도면



[그림3-17] 버스 정류장 브레드보드 구현



[그림3-18] 버스 내부 브레드보드 구현

3-3. 시행착오

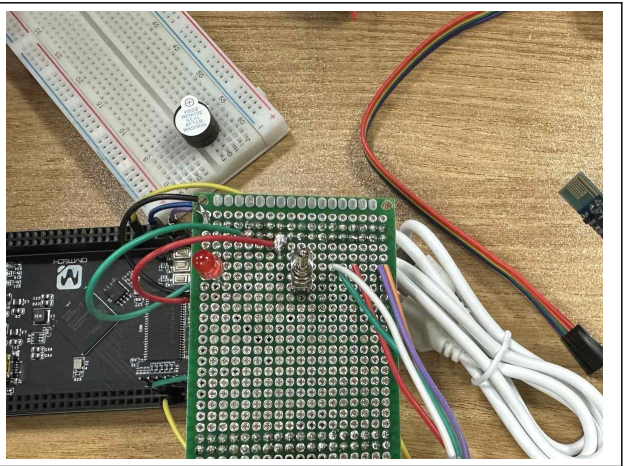
(1) 납땜 불량

**문제 :** 버스 정류장으로부터 탑승 의사 신호를 받고 있음에도 버스 기사에게 탑승 의사를 알리는 LED가 켜지지 않았다.

**해결 방법 :** 멀티미터기로 확인한 결과 LED 소자의 +단자로 power가 제대로 전달되지 않는 것을 확인하였다. 납땜 불량으로 인한 문제로 판단하고 제대로 연결되지 않거나 합선 가능성이 있는 부분을 다시 납땜하였다. 멀티미터기로 다시 전압을 측정하여 탑승 의사 신호를 받으면 약 3.3V의 전압이 LED의 +단자로 제대로 전달되는 것을 확인하였다.



[그림3-19] 납땜 불량

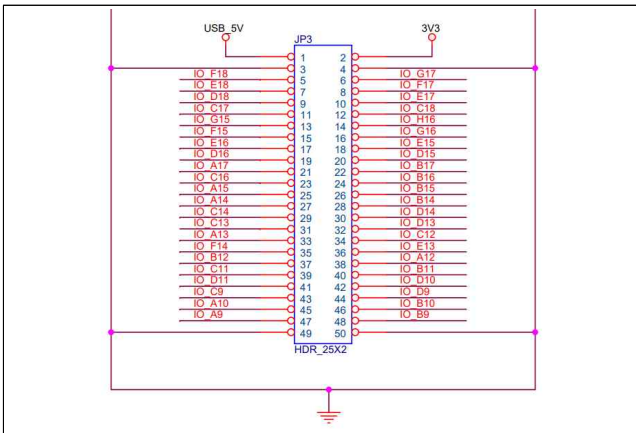


[그림3-20] 정상적으로 납땜 된 모습

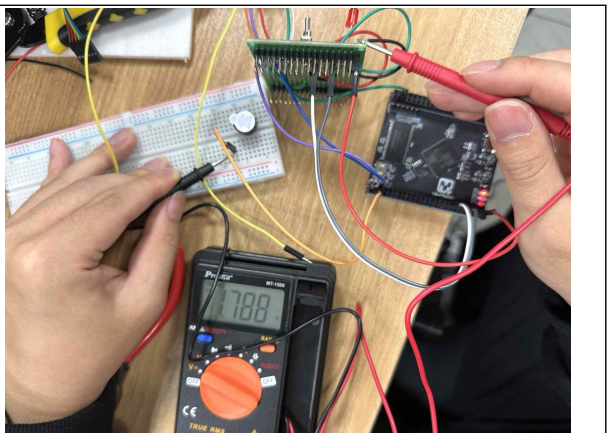
(2) FPGA보드 이슈

**문제 :** 납땜을 다시 하고 LED의 +단자에도 power가 제대로 전달되는데 여전히 LED가 켜지지 않았다.

**해결 방법 :** 디지털 멀티미터를 사용하여 GND와 연결된 LED의 -단자를 확인한 결과 [그림 3-]과 같이 약 1.7V의 전압이 발생하는 것을 확인하였다. 해당 도선과 연결된 FPGA 보드의 GND pin을 확인한 결과 마찬가지로 약 1.7V의 전압이 발생하는 것을 확인하였다. FPGA 보드의 schematic을 확인한 뒤 GND를 사용하였으나 보드의 설계 오류로 이해 사용할 수 없다고 판단하여 다른 GND pin을 연결하였다. 동일한 FPGA 보드들을 확인한 결과 해당 보드만 이러한 오류가 발생하는 것을 확인하였다. 이후 다른 GND pin을 연결하자 LED가 켜지는 것을 확인하였다.

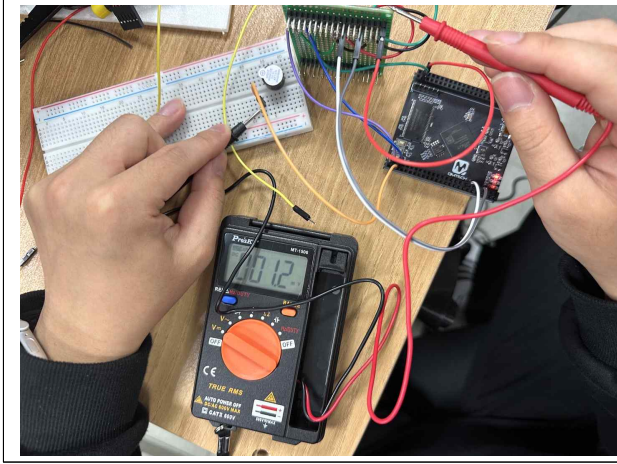


[그림3-21] FPGA 보드의 회로도

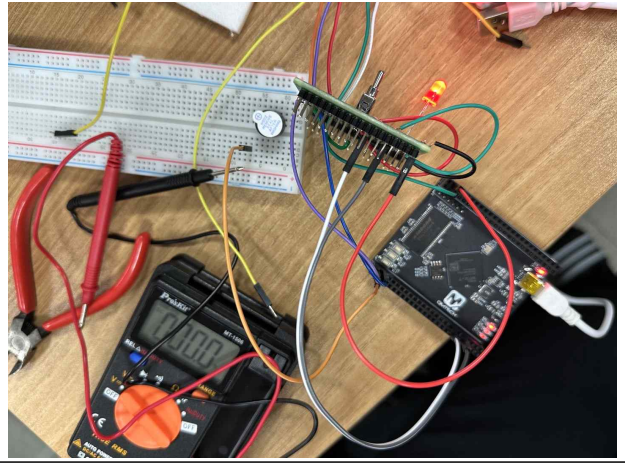


[그림3-22] GND pin 변경 전





[그림3-23] GND pin 변경 후

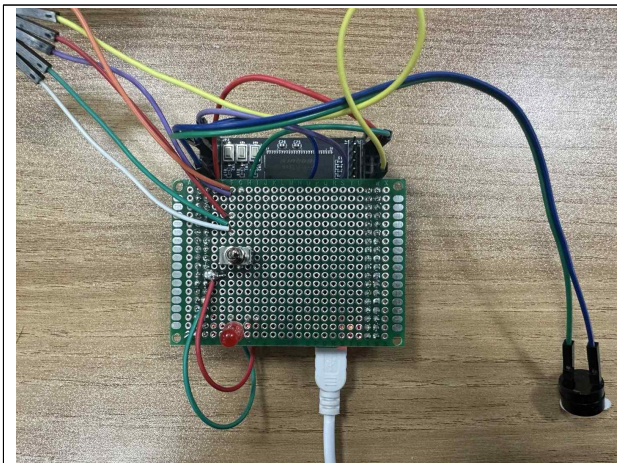


[그림3-24] LED 켜짐

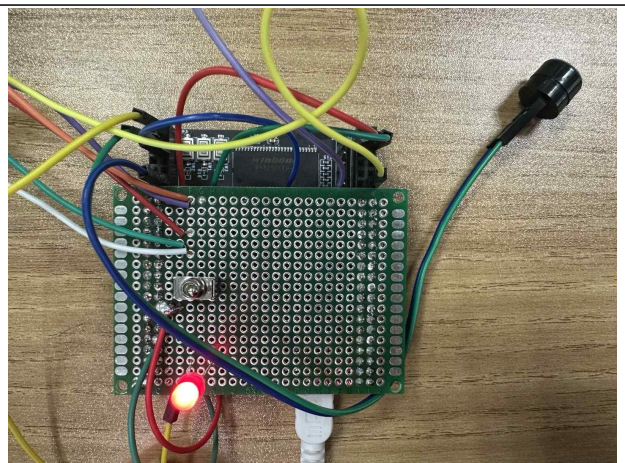
### (3) 토글스위치 불안정

**문제 :** 문 열림 신호를 발생시키기 위해 토글스위치를 켜면 [그림3-25]와 같이 스피커 신호가 발생하지 않고 LED가 꺼져버렸다.

**해결 방법 :** Verilog를 이용하여 회로를 설계할 때 다음 State로 넘어가는 조건이 불안정한 오류가 있었다. 문 열림을 의미하는 토글스위치가 0에서 1로 스위칭 되는 과정에서 불안정한 신호가 발생 되어 버스 내부신호 모듈의 State가 IDLE 상태로 돌아가는 것으로 판단하였다. 다음 State로 넘어가는 조건을 수정하고 else 문을 추가하여 현재 상태를 유지하고 안정적으로 작동하도록 코드를 수정하였다. 이후, 토글스위치를 작동하여 정상적으로 스피커 신호가 발생하고, 다시 토글스위치를 끄면 LED와 스피커 신호가 모두 꺼지는 것을 확인하였다.



[그림3-25] 토글스위치 ON / LED, 스피커 OFF

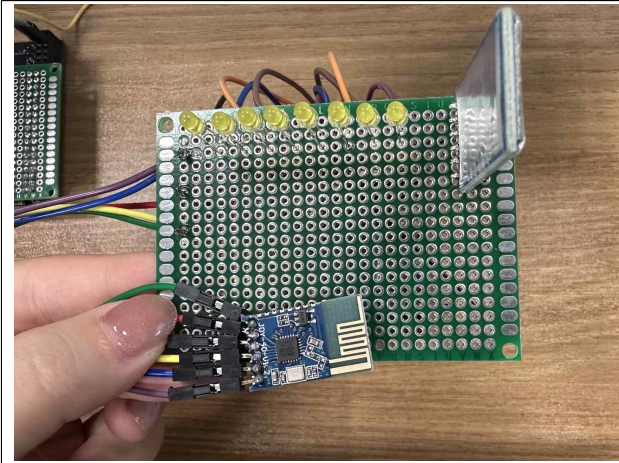


[그림3-26] 토글스위치 ON / LED, 스피커 ON

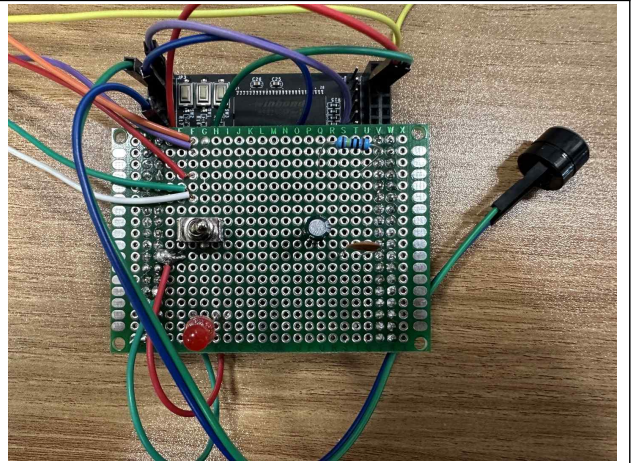


## 4. 과제 결과

### 4-1. 만능기판에 납땜한 회로

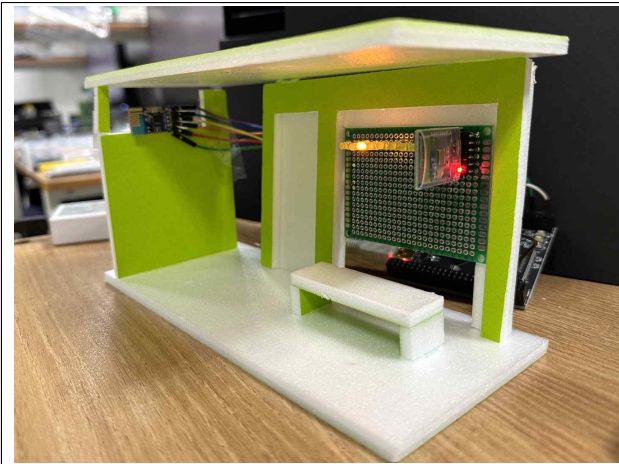


[그림4-1] 정류장 표지판

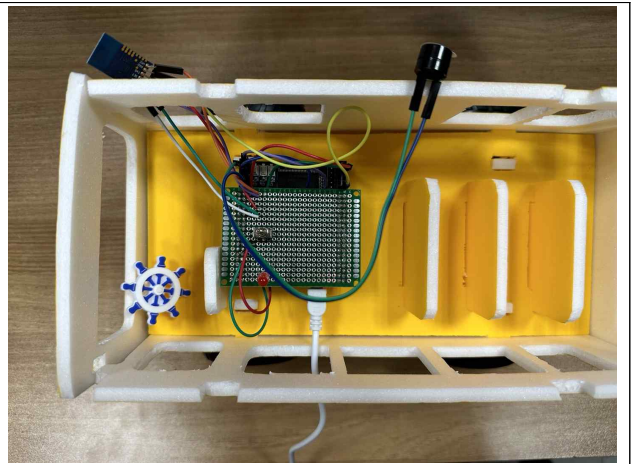


[그림4-2] 버스

### 4-2. 전체 시스템 구조



[그림4-3] 버스 정류장



[그림4-4] 버스 내부



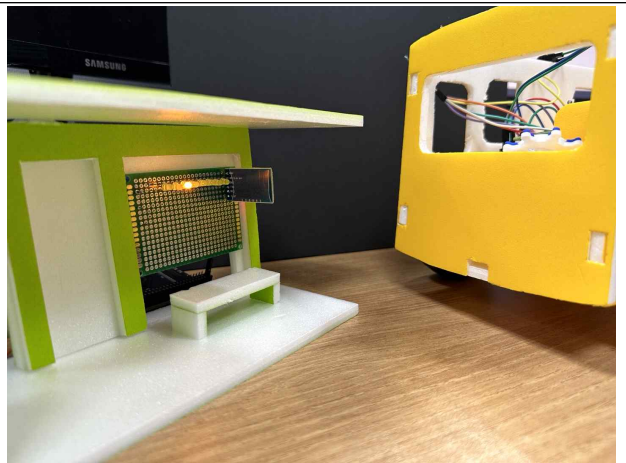
[그림4-5] 버스 기사 시야



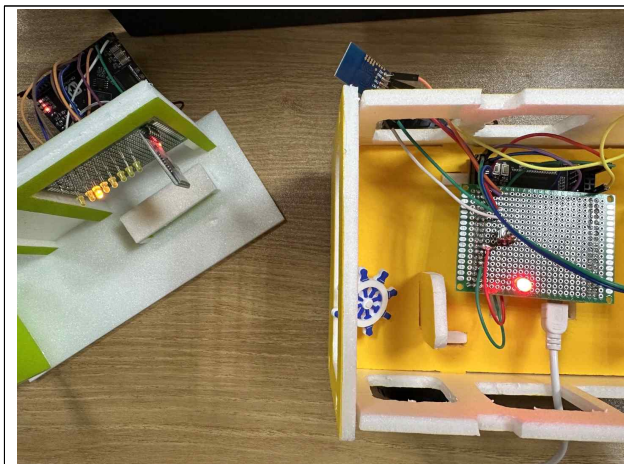
#### 4-3. 최종 시스템 동작 과정



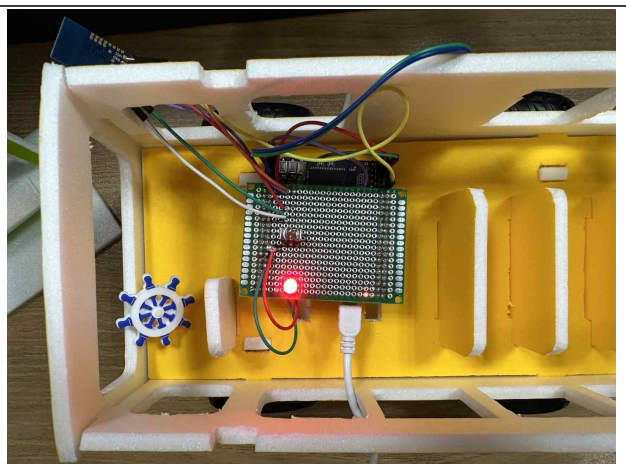
① 스마트폰으로 버스 번호 전송



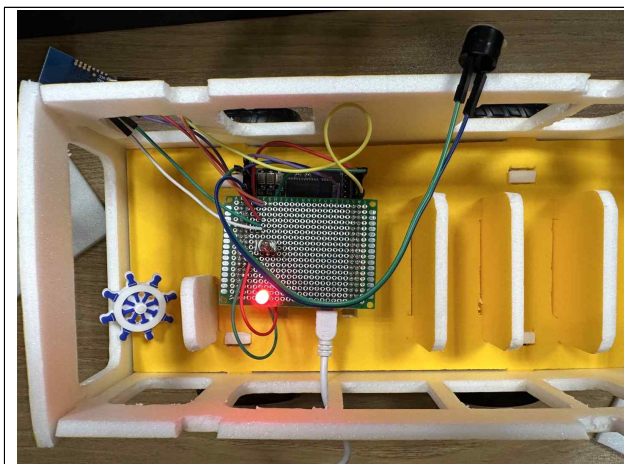
② Bluetooth 모듈로 신호 수신



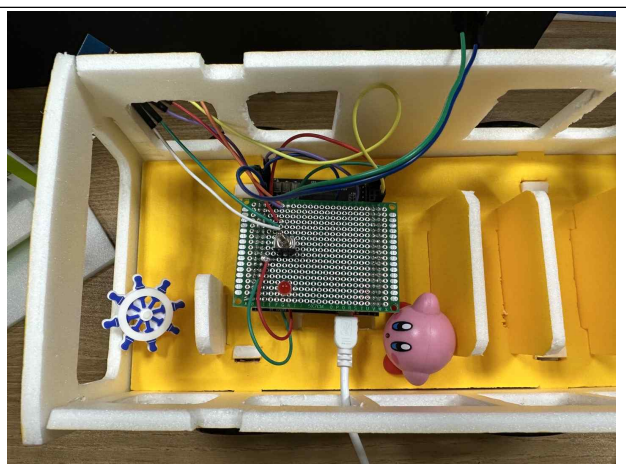
③ 수신신호를 RF 모듈로 버스에 전송  
해당 버스 LED ON



④ 토글스위치 ON => 문 열림



⑤ 출입문 위치 알림 신호 발생



⑥ 승객 탑승 후, 문 닫히면 LED와 스피커 OFF

## 5. 결론 및 기대효과

‘시각장애인 버스 탑승 도우미’ 시스템은 설계한 회로를 통해 시각장애인의 탑승 의사를 버스 기사에게 알림으로써 시각장애인과 버스기사 간의 원활한 의사소통을 지원한다. 또한, 출입문 상단에 위치한 스피커를 통해 출입문의 위치를 시각장애인에게 출입문의 위치를 알림으로써 시각장애인이 편리하고 안전한 대중교통 탑승을 가능하게 한다. 이는 시각장애인의 생활권 확장으로 이어져 다양한 활동과 문화생활에 참여할 수 있는 기회를 제공할 수 있을 것이다. 더 나아가 이러한 이동권 보장은 시각장애인의 활발한 사회적 진출로 이어지고 취업과 교육 등에도 긍정적인 영향을 줄 것으로 기대된다.

이번 2023 스마트전자회로설계챌린지에 참여하면서 PSpice와 Verilog를 사용하여 디지털 및 아날로그 회로 설계 및 모델링에 대해 공부하고 이를 직접 설계하였다. 회로를 설계하는 과정에서 문제에 대한 새로운 접근법을 고민하고 구상할 수 있는 능력을 키워가며 성공적으로 회로를 설계할 수 있었다. 또한, 설계하는 과정에서 디지털과 아날로그 회로의 동작을 시뮬레이션함으로써 설계의 안정성과 성능을 미리 평가하고 개선하는 검증 및 분석 과정의 중요성을 깨달았다. 이를 통해, 회로를 분석한 뒤 설계하는 과정을 거쳐 시행착오를 줄일 수 있었다. 회로 보드 제작과 프로토타입 제작을 통해 회로 설계에 대한 이해와 실제 회로를 구현하는 경험을 쌓을 수 있었고, 실무에서의 능력을 향상시키는 데 큰 도움이 되었다.