

---

# **스마트 지하터널**

## **교통 안전 관리 시스템**

---

**한양대학교 ERICA**

임베디드시스템설계

IC-PBL 프로젝트

학 과 : 스마트융합공학부 로봇융합전공

이 름 : 김민경, 오민석, 손건우

담당 교수 : 고병진

# 목 차

<b>1. 서론</b> .....	3
1.1 프로젝트 배경 .....	3
1.2 프로젝트 목적 .....	3
1.3 시나리오 설정 .....	4
<b>2. 시스템 구성</b> .....	4
2.1 하드웨어 구성 .....	4
2.1.1 회로 설계.....	5
2.2 소프트웨어 구성 .....	6
2.2.1 라즈베리파이 소프트웨어 .....	6
2.2.2 아두이노 소프트웨어 .....	7
2.2.3 보드 간 통신 프로토콜 .....	8
2.3 주요 기능 구현.....	9
2.4 시스템 동작 흐름 .....	10
<b>3. 결론</b> .....	11
3.1 프로젝트 성과 .....	11
3.2 기대 효과.....	11
3.3 향후 개선 방향 .....	12
<b>4. 소감</b> .....	12

## 1. 서론

### 1.1 프로젝트 배경



Figure 1. 청주 궁평2지하차도 침수 사고 (출처 : 연합뉴스)

최근 기후변화로 인한 집중호우 및 도시 침수 피해가 빈번하게 발생하고 있으며, 특히 지하 차도와 터널 지역에서의 차량 침수 사고가 사회적 문제로 대두되고 있다. 2023년 청주 지하 차도 침수 사건으로 17대가 고립되고 많은 사상자가 발생한 재해 상황에서 실시간 모니터링과 신속한 대응 시스템의 필요성이 강조되었다.

또한, 도시화가 진행됨에 따라 교통량이 증가하고 있으며, 효율적인 교통 흐름 관리와 보행자 안전 확보를 위한 지능형 교통시스템의 도입이 필수적인 상황이다.

### 1.2 프로젝트 목적

본 프로젝트는 도로교통관리공단의 연구원 입장에서 도로 교통 흐름 원활화 및 보행자 안전 개선을 목표로 하는 지능형 교통시스템의 아이디어를 제안하고, 라즈베리파이 기반 임베디드시스템을 통해 테스트베드 구축 및 이를 검증하는 것을 목적으로 한다.

본 시스템의 구체적인 목표는 다음과 같다:

1. 지하터널 침수 상황 실시간 감지 및 자동 경보 시스템 구현
2. 교통량에 따른 적응형 신호등 제어 시스템 개발
3. 보행자 안전을 위한 횡단보도 감지 시스템 구축
4. 실시간 도로 상황 표시 시스템 구현

### 1.3 시나리오 설정

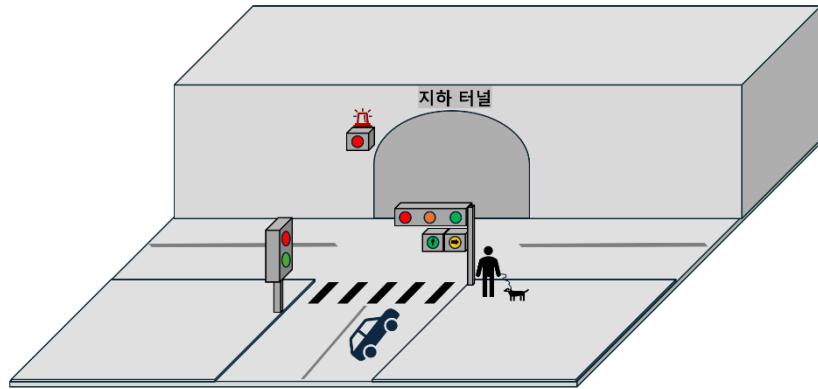


Figure 2. 본 프로젝트 시나리오 설정 (환경 구성 예시)

본 프로젝트의 시나리오는 지하터널 입구 근처의 교차로 환경을 가정하였다. 해당 지역에는 차량 신호등, 보행자 신호등, 침수 감지 센서, 그리고 보행자 상태 표시등이 설치되어 있으며, 평상시에는 교통량에 따른 적응형 신호 제어가 이루어지고, 침수 발생 시에는 모든 차량 진입을 차단하는 비상 모드로 전환된다.

## 2. 시스템 구성

### 2.1 하드웨어 구성

본 시스템은 라즈베리파이를 U-Boot 환경에서 신호등 제어로 사용하며, 하위 동작은 아두이노 우노를 사용하여 다양한 센서를 통해 지능형 교통시스템을 구현하였다.

구성요소	용도 및 설명
라즈베리파이	메인 컨트롤러, 신호등 처리 및 상위 제어
아두이노 우노	센서 처리 및 상태 표시
수분 수위 센서	지하터널 침수 수위 감지
택트 스위치	보행자 횡단보도 버튼, 차량 추가 및 제거
LED (빨강, 노랑, 초록)	차량 신호등 및 보행자 상태 표시
8×8 도트 매트릭스	도로 교통 상황 표시 (원활/혼잡)
7세그먼트	동작 상태 표시(위험 경보 상태, 보행자 상태)
74HC595	핀 확장
부저	침수 경보 알림

### 2.1.1 회로 설계

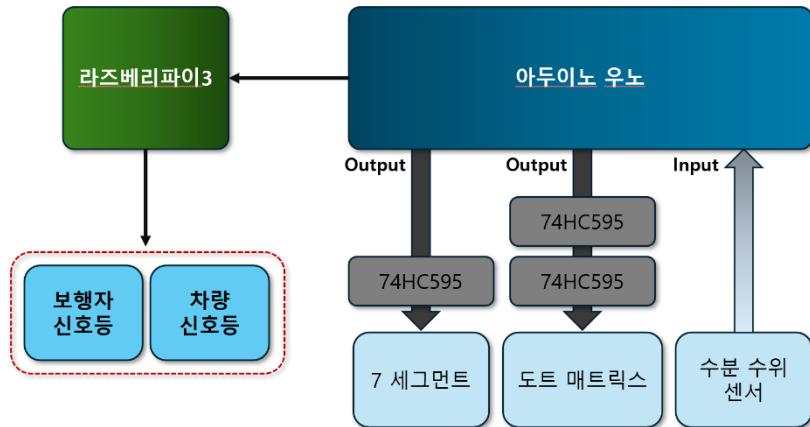


Figure 3. 시스템 다이어그램

여러 상태 표시를 위해서는 여러 IO 핀의 사용이 필요하나 아두이노 우노의 경우에 제한된 18 개의 IO 핀을 가지고 있으며,

이 경우에도 UART0 핀을 비롯한 내부적으로 사용중인 핀을 제외하게 된다면 사용 가능한 핀의 개수가 현저히 적어진다는 단점이 있다.

그렇기에 이러한 디지털 핀의 확장을 위하여 Shift Register IC의 종류 중 하나인 74HC595 IC를 사용하였다.

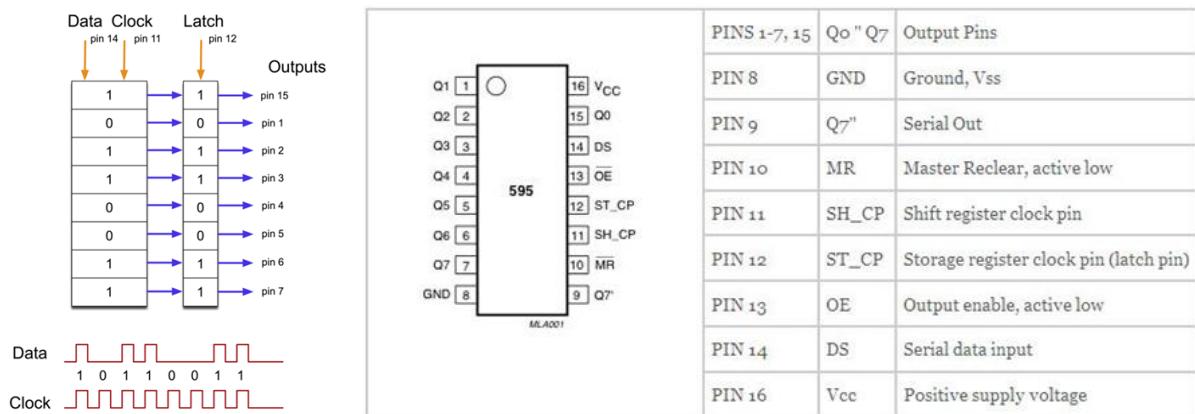


Figure 4. Serial To Parallel Convert / 내부 핀맵

해당 구조를 통하여 한 개의 핀 입력 그리고 각 데이터의 구분을 위한 Clock, 데이터의 입력을 알리기위한 Latch 총 3 개의 핀으로 최대 8 개의 출력이 가능하다.

해당 기능을 사용하여 7 세그먼트와 8x8 도트매트릭스를 구현하였다.

## 2.2 소프트웨어 구성

본 시스템은 라즈베리파이3와 아두이노를 사용한 구조를 사용하여 설계 되어있으며 두 보드는 GPIO 핀을 통해 상호 통신하며 실시간으로 시스템 상태를 공유한다.

### 2.2.1 라즈베리파이 소프트웨어

라즈베리파이는 U-Boot 환경에서 'ITS' 명령어 입력 시 신호등 제어 프로그램이 실행되며 BCM2837 프로세서의 프로세서의 GPIO 레지스터를 직접 조작하여 LED를 제어한다.

#### (1) GPIO 핀 배치

구분	GPIO 핀	기능
차량 신호등	GPIO 5	초록 LED (CAR_G)
	GPIO 16	노랑 LED (CAR_Y)
	GPIO 20	빨강 LED (CAR_R)
보행자 신호등	GPIO 6	초록 LED (PED_G)
	GPIO 12	빨강 LED (PED_R)
입력 핀	GPIO 23	긴급 정지 신호 (ALL_RED_PIN) ← 아두이노 D7
	GPIO 24	혼잡 모드 신호 (MODE_PIN) ← 아두이노 D6

[표 1] 라즈베리파이 GPIO 핀 배치

#### (2) 신호등 동작 모드

MODE\_PIN(GPIO24)의 상태에 따라 기본 모드와 혼잡 모드로 구분되며, 각 모드별 신호 점등 시간은 다음과 같다.

모드	차량 초록	차량 노랑	차량 빨강	보행자 초록	보행자 빨강
기본 모드	20초	2초	20초	17초	25초 (20+2+3)
혼잡 모드	30초	2초	10초	5초	37초 (30+2+5)

[표 2] 모드별 신호등 점등 시간

보행자 초록불 이후 약간의 공통 빨간불 시간(차량, 보행자)을 주어 미처 지나가지 못한 보행자에 대한 안전 마진 요소를 추가하였다.

(일반인 표준 보행 속도 1m/s, 교통약자 표준 보행 속도 0.8m/s – 서울시 교통운영과)

### (3) 핵심 제어 로직

프로그램의 핵심은 *delay\_check()* 함수로, 매 1ms마다 ALL\_RED\_PIN(GPIO23)을 확인한다.

해당핀이 HIGH일 경우 현재 신호 상태와 무관하게 즉시 모든 신호등을 빨간불로 전환하고 시간 카운트를 정지시킨다. 이를 통해 침수 상황 발생 시 즉각적인 긴급 정지가 가능하게 구현하였다.

메인 루프는 *state\_car\_green()* → *state\_car\_yellow()* → *state\_car\_red\_ped\_green()* 순서로 반복되며, 각 상태 함수 내에서 MODE\_PIN을 확인하여 현재 모드에 맞는 점등 시간을 적용하게 된다.

#### 2.2.2 아두이노 펌웨어

아두이노는 각종 센서 입력을 처리하고, 상태 표시 장치를 제어하며, 라즈베리파이에 제어 신호를 전달하는 역할을 담당한다.

#### (1) 핀 배치 및 기능

구분	핀 번호	기능 설명
센서 입력	A0	수위 센서 (아날로그 값 600 이상 시 침수 감지)
	A2	차량 추가 버튼 (carCount +1, MAX = 5)
	A3	차량 감소 버튼 (carCount -1, MIN = 0)
	D2	보행자 버튼 (보행자 존재 알림)
표시 장치	D3	보행자 상태 LED (초록) - 평상시 ON
	D4	보행자 상태 LED (노랑) - 버튼 누를 때 ON (보행자 존재)
	D5	부저 - 수위 감지 시 경고음 출력
	D8~D13	7세그먼트(FND) 및 도트 매트릭스 제어 (시프트 레지스터)
RPi 연동	D6	혼잡 알림 신호 → 라즈베리파이 GPIO24
	D7	긴급 정지 신호 → 라즈베리파이 GPIO23

[표 3] 아두이노 핀 배치 및 기능

## (2) 상태 표시 위치

### 7세그먼트(FND) 표시:

- 수위 감지 시: "1" 표시
- 보행자 버튼 누름 시: "2" 표시
- 정상 상태: 꺼짐

### 도트 매트릭스 표시:

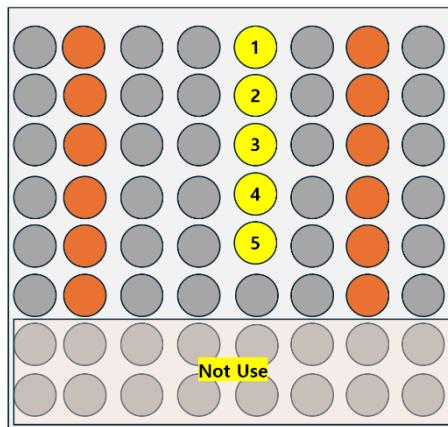


Figure 5. 차량 대수 표현 (8x8 도트)

$8 \times 8$  도트 매트릭스에 도로 형태(양쪽 차선)를 표시하고, 중앙에 현재 차량 대수(carCount)만큼 점을 표시하여 교통 혼잡도를 시각적으로 나타낸다.

### 2.2.3 보드 간 통신 프로토콜

아두이노와 라즈베리파이 간의 통신은 디지털 신호 방식으로 구현되었다.

신호 종류	아두이노 출력	라즈베리파이 입력	트리거 조건
긴급 정지	D7	GPIO23	수위 $\geq 600$
혼잡 모드	D6	GPIO24	carCount $\geq 4$

[표 4] 보드 간 통신 연결

이러한 이중 컨트롤러 구조(라즈베리파이, 아두이노)를 통해 센서 처리와 신호등 제어를 분리함으로써 시스템의 안정성을 높이고, 각 보드의 역할을 명확히 하여 유지보수성을 향상 시킬 수 있었다.

## 2.3 주요 기능 구현

### 기능 1: 침수 감지 및 비상 경보 시스템

수위 감지 센서를 통해 지하터널의 침수 상황을 실시간으로 모니터링한다. 일정 수위 이상으로 물이 차오르면 모든 신호등을 빨간불로 전환하여 차량 진입을 차단하고, 부저를 통해 경고음을 발생시킨다.

### 기능 2: 적응형 신호등 제어 시스템

임의의 상황 부여를 위하여 차량 증가/감소 버튼을 통해 도로의 차량 대수를 카운팅하고 이를 기반으로 신호등 점등 시간을 동적으로 조절한다.

**시내도로**

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
국가교통정보센터	정체	서행								원활
도시교통정보센터	지체	서행								원활
네이버	정체	서행								원활
카카오	정체	지체	서행							원활
SKT	정체	서행								원활

Figure 6. 기관별 교통 상황 결정 기준 (2020 / 한국교통안전공단)

각 기관 별 교통 상황 결정 기준은 상이하며 해당 시내도로 속도 기준 중 현재 설정한 시내도로로 가정하여 공공기관(국가교통정보센터, 도시교통정보센터) 기준에 맞춰 도로 상태 기준을 선정하였다.

- 원활 (차량 3 대 미만): 통행 속도 25km/h 이상 → 초록불 기본 시간
- 혼잡 (차량 4 대 이상): 통행 속도 15km/h 미만 → 초록불 시간 연장

### 기능 3: 보행자 안전 시스템

택트 스위치를 보행자 횡단 버튼으로 활용하여 보행자 존재 여부를 감지한다. 보행자 안전 LED는 신호등 제어와 독립적으로 작동하며 다음과 같이 동작한다:

- 초록 LED: 보행자 없음 (안전 상태, 기본값)
- 노랑 LED: 보행자 있음 (주의 필요, 차량 서행 권고)

#### 기능 4: 도로 상황 표시 시스템

8×8 도트 매트릭스를 활용하여 현재 도로의 교통 상황을 시각적으로 표시한다. 해당 표시의 경우 중앙 관제 시 해당 도로의 상황을 파악 할 수 있을 뿐 아니라 도로에 배치할 경우 운전자가 터널 진입 전에 내부 교통 상황을 미리 파악할 수 있도록 하여 안전 운행을 유도 또한 가능하다.

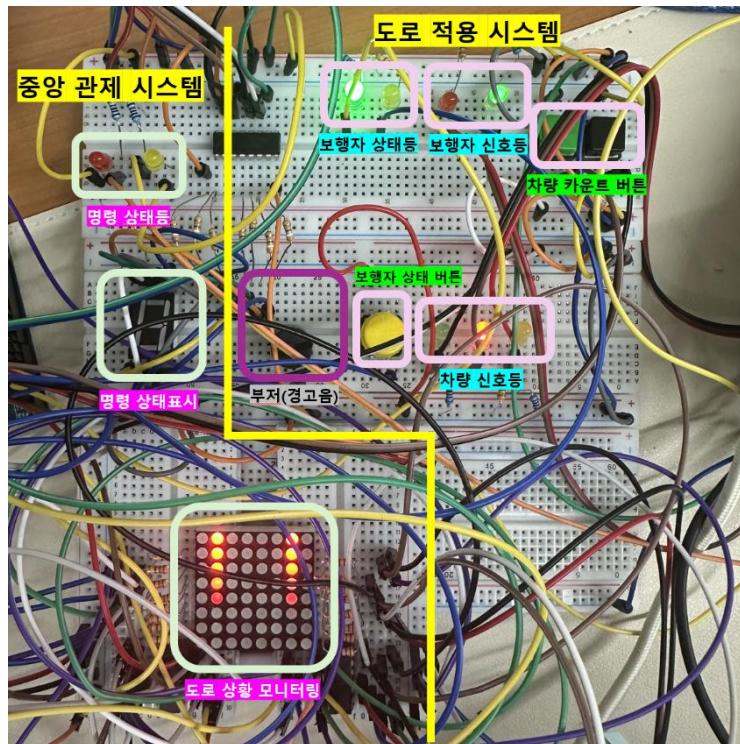


Figure 7. 실제 구현된 배치별 기능 구현(중앙 관제/도로 적용 시스템)

실제 기판으로 구현한 배치별 동작 기능은 위 Figure 7와 같다.

#### 2.4 시스템 동작 흐름

시스템의 전체 동작 흐름은 다음과 같다.

1. U-boot에서 'ITS' 명령어 입력 시 시스템 초기화 및 시작
2. 수위 센서 모니터링 (최우선 명령)
3. 침수 감지 시 → 비상 모드 진입 (모든 신호 빨간불 + 경고음)
4. 정상 상태 시 → 차량 카운팅 및 적응형 신호 제어
5. 보행자 버튼 입력 처리 및 안전 LED 제어
6. 도트 매트릭스 교통 상황 표시 갱신

### 3. 결론

#### 3.1 프로젝트 성과

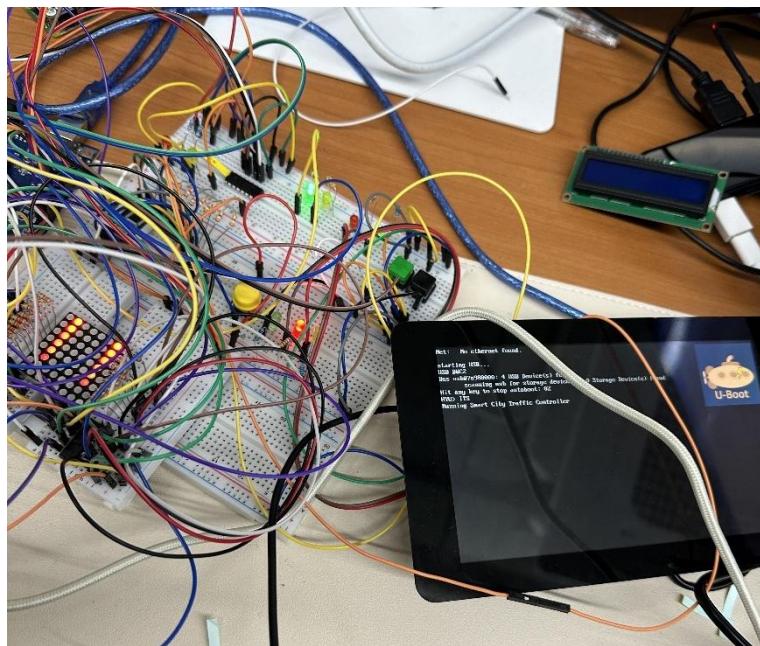


Figure 8. 프로젝트 결과

본 프로젝트를 통해 라즈베리파이 기반의 지능형 교통시스템 테스트베드를 성공적으로 구축하였다. 주어진 센서류만을 활용하여 침수 감지, 적응형 신호 제어, 보행자 안전, 도로 상황 표시 등 4가지 핵심 기능을 구현하였으며, 실제 도로 환경에 적용 가능한 시스템의 테스트베드(프로토타입)을 완성하였다.

#### 3.2 기대 효과

본 시스템이 실제 도로에 적용될 경우 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

1. 지하터널 침수 시 신속한 차량 진입 차단으로 인명피해 예방
2. 교통량 기반 적응형 신호 제어를 통한 교통 흐름 개선
3. 보행자 감지 시스템으로 횡단보도 사고 감소
4. 실시간 도로 상황 제공으로 운전자 안전 운행 유도

### 3.3 향후 개선 방향

향후 카메라 모듈을 추가하여 영상 기반 차량 인식 기능을 구현하고, 네트워크 연결을 통해 중앙 관제 센터와의 실시간 통신 기능을 추가할 수 있다. 또한, 다중 교차로 연동 제어 및 공공기관에서 제공하는 공공데이터를 활용하여 AI 기반 교통 흐름 예측 등 더욱 고도화된 지능형 교통시스템으로 발전시킬 수 있을 것이라 생각한다.

## 4. 소감

김민경 : 수위 센서 값에 따라 경보·차단기가 자동 동작하는 흐름을 구현하면서 실시간 제어의 핵심을 이해했다. 교통량을 감지해 신호 주기를 조절하고, 보행자 감지 시 안전 모드로 전환되는 로직이 가장 인상적이었다. 라즈베리파이-아두이노 연동으로 센서 입력부터 출력 제어까지 한 시스템으로 묶어 동작시키는 경험이 유익했다.

오민석 : 기존에 라디오, 핸드폰 같이 임베디드 시스템을 어떻게 만드는지에 대한 해소를 하였으며 이 프로젝트를 통해 특정 목적을 위한 임베디드 시스템을 개발할 수 있는 역량을 키우는데 많은 도움이 되었습니다.

손건우 : 이번 IC-PBL을 통해 임베디드시스템의 실제 활용 사례를 직접 설계하고 구현해볼 수 있는 경험을 할 수 있었다. 특히, 2023년 지하차도 침수 사고 사례를 떠올리며 시스템을 설계할 때, 기술이 단순한 편의 제공을 넘어 인명을 보호하는 역할을 할 수 있다는 점에서 큰 중요성을 느꼈다. 수위 센서 하나의 동작이 실제로는 수많은 생명을 구할 수 있는 중요한 기능이 될 수 있다는 것을 인식하게 되었다.