

사물인터넷을 활용한 자동 방지턱 시스템

진준형¹, 김지현¹, 김태건¹, 김태국^{2*}

¹국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 학생, ²국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 교수

Automatic Speed Bump System Using the Internet of Things (IoT)

Jun-Hyeong Jin¹, Ji-Heon Kim¹, Tae-Gun Kim¹, Tae-Kook Kim^{2*}

¹Student, School of Computer and Artificial Intelligence Engineering, Pukyong National University

²Professor, School of Computer and Artificial Intelligence Engineering, Pukyong National University

요약 본 논문에서는 사물인터넷(IoT) 기술을 접목한 지능형 자동 과속방지턱 시스템의 설계 및 구현을 제안한다. 기존 고정식 과속방지턱은 규격 미준수, 저속 주행 차량에 대한 불필요한 충격, 긴급 차량의 주행 지연 등 도로 안전과 차량 보호 측면에서 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 Jetson Nano와 Arduino Uno를 기반으로 CSI 카메라, 로드셀, 마이크로웨이브 모션 센서(TRM-121A)를 연동한 자동 방지턱 시스템을 구현하였다. 제안 시스템은 로드셀을 이용한 구간 속도와 모션 센서를 이용한 순간 속도를 병행 측정하여 차량의 과속 여부를 판단하고, 경량화된 YOLO 알고리즘을 통해 일반 차량과 구급차, 경찰차 등 긴급 공무 수행 차량을 식별한다. 긴급 차량이 감지될 경우 방지턱을 평면 상태로 유지하여 신속한 통행을 지원하며, 일반 차량이 제한 속도를 초과할 경우 액추에이터를 제어하여 방지턱 기능을 수행한다. 또한 Flask 및 AWS 기반의 웹 관제 시스템을 구축하여 도로 상황의 실시간 모니터링, 과속 임계값 조절, 방지턱 수동 제어가 가능하도록 하였다. 데모 실험을 통해 정상 주행 차량의 불필요한 충격을 줄이고 긴급 차량의 골든타임 확보를 지원할 수 있는 지능형 자동 방지턱 시스템의 구현 가능성을 확인하였으며, 향후 스마트 시티 환경에 적합한 도로 안전 인프라 구축 가능성을 제시한다.

주제어 : 사물인터넷, 자동 방지턱, 젯슨 나노, YOLO(You Only Look Once), 실시간 모니터링, 인공지능

Abstract This paper proposes the design and implementation of an intelligent automatic speed bump system incorporating Internet of Things (IoT) technology. Conventional fixed speed bumps have limitations in terms of road safety and vehicle protection, including noncompliance with installation standards, unnecessary impact on low-speed vehicles, and delays in the movement of emergency vehicles. To address these issues, this study implemented an automatic speed bump system that integrates a CSI camera, load cells, and a microwave motion sensor (TRM-121A) based on Jetson Nano and Arduino Uno. The proposed system determines whether a vehicle is speeding by simultaneously measuring section speed using load cells and instantaneous speed using the motion sensor. It also identifies general vehicles and emergency public service vehicles, such as ambulances and police cars, using a lightweight YOLO algorithm. When an emergency vehicle is detected, the bump remains flat to support rapid passage. When a general vehicle exceeds the speed limit, the actuator is controlled to activate the speed bump function. In addition, a web-based monitoring system using Flask and AWS was developed to enable real-time road condition monitoring, speed threshold adjustment, and manual control of the speed bump.

Key Words : Internet of Things, Automatic Speed Bump, Jetson Nano, YOLO(You Only Look Once), Real-time monitoring, Artificial intelligence (AI)

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00242528).

*교신저자 : 김태국(king@pknu.ac.kr)

접수일 2025년 12월 22일 수정일 2026년 06월 25일 심사완료일 2026년 08월 19일

1. 서론

차량 과속으로 인한 교통사고를 예방하기 위해 생활도로, 아파트 단지, 어린이보호구역 등 다양한 도로 환경에서 과속방지턱의 설치가 지속적으로 증가하고 있다. 과속방지턱은 차량의 감속을 유도하여 보행자와 운전자의 안전을 확보하는 데 효과적인 교통안전 시설물이다. 그러나 일부 과속방지턱은 설치 규격을 준수하지 않거나 관리가 미흡하여 본래의 목적과 달리 차량 손상 및 2차 사고를 유발하는 원인이 되고 있다. 특히 높이, 폭, 경사도, 도색 상태 등이 기준에 부합하지 않는 방지턱은 차량 하부 손상뿐만 아니라 운전자의 주행 안정성을 저해하여 도로 안전 측면에서 새로운 문제를 발생시킨다.

실제로 2021년 대구 달서구의 한 아파트 단지에서는 부적합하게 설치된 다수의 과속방지턱으로 인해 차량 하부가 파손된 사례가 보고되었으며, 2023년에는 도색 미비 및 규격 미달 방지턱을 통과하던 이륜차 운전자가 사망하는 사고가 발생하였다. 또한 최근 전기차 보급이 확대됨에 따라 차량 하부에 위치한 배터리 보호판의 경미한 손상만으로도 차량 가격의 상당 부분에 달하는 수리비가 청구되는 사례가 발생하는 등 과속방지턱으로 인한 경제적 손실 문제도 함께 대두되고 있다.

기존 고정식 과속방지턱의 또 다른 한계는 차량의 주행 속도나 차량 종류와 관계없이 항상 동일한 물리적 저항을 제공한다는 점이다. 이로 인해 제한 속도를 준수하는 정상 주행 차량도 불필요한 충격을 받게 되며, 응급차량이나 경찰차와 같이 긴급 출동이 필요한 공무 수행 차량 또한 방지턱으로 인해 주행 속도가 저하될 수 있다. 이는 긴급구조 골든타임 확보에 부정적인 영향을 미칠 뿐만 아니라, 응급 환자나 탑승자에게 추가적인 신체적 충격을 가하는 요인이 될 수 있다[1-3].

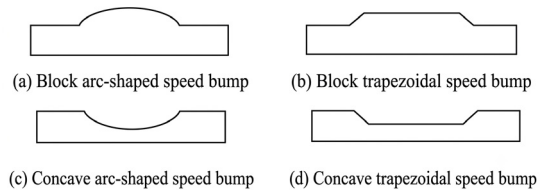
이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 차량의 주행 속도와 종류에 따라 선택적으로 동작하는 사물인터넷(IoT) 기반 지능형 자동 방지턱 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 로드셀과 마이크로웨이브 모션 센서를 이용하여 차량의 속도를 실시간으로 측정하고, 카메라와 객체 인식 알고리즘을 통해 일반 차량과 긴급 공무 수행 차량을 구분한다. 이를 통해 정상 주행 차량과 긴급 차량에는 평면 도로와 같은 주행 환경을 제공하고, 제한 속도를 초과한 일반 차량에 대해서만 방지턱 기능을 수행하도록 설계하였다. 또한 웹 기반 관제 시스템을 구축하여 도로 상황을 실시간으로 모니터링하고, 과속 임계값 조절 및 방지턱 수동 제어가 가능하도록 함으로써 스마트 시티

환경에 적합한 효율적인 도로 안전 관리 모델을 제시하고자 한다.

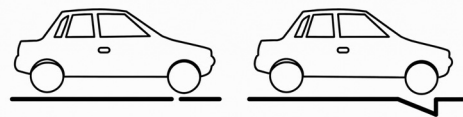
2. 설계 방안

2.1 자동 방지턱 설계 방안

국내 도로안전시설 설치 및 관리지침에 따르면 과속방지턱은 차량의 주행 속도를 저감시키고 보행자 안전을 확보하기 위한 도로 안전시설로, 표준 형상은 [Fig. 1]과 같은 볼록 원호형(Circular Arc)을 기본으로 한다[1]. 그러나 기존 고정식 과속방지턱은 차량의 주행 속도나 차량 종류와 관계없이 항상 동일한 물리적 저항을 제공하므로, 제한 속도를 준수하는 차량에도 불필요한 충격을 유발할 수 있다. 또한 긴급 차량의 신속한 통행을 방해할 수 있다는 한계가 있다.



[Fig. 1] Types of speed bumps

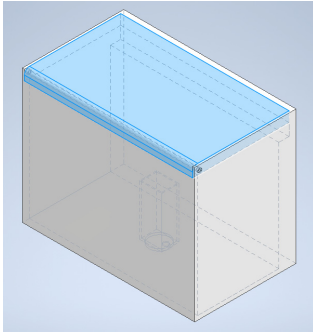


[Fig. 2] Changed speed bump function

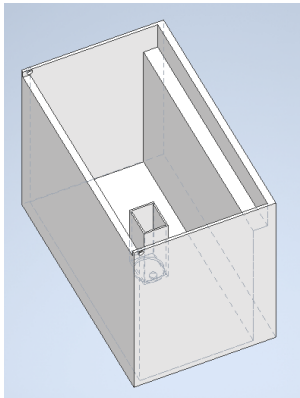
본 연구에서는 이러한 고정식 과속방지턱의 한계를 보완하기 위해, 평상시에는 노면과 수평을 유지하고 필요시에만 단차를 형성하는 가변형 자동 방지턱 구조를 제안한다. 제안하는 자동 방지턱은 차량의 속도 측정 결과와 차량 종류 인식 결과를 기반으로 동작 여부를 결정하며, 정상 주행 차량과 긴급 공무 수행 차량에는 평탄한 주행 환경을 제공하고, 제한 속도를 초과한 일반 차량에 대해서만 방지턱 기능을 수행하도록 설계하였다. [Fig. 2]는 제안 시스템의 기본 동작 메커니즘을 나타낸다.

제안하는 방지턱 모델은 [Fig. 3]과 같이 외부 노면 역할을 하는 상판(Cover)과 상판의 움직임을 제어하는 내

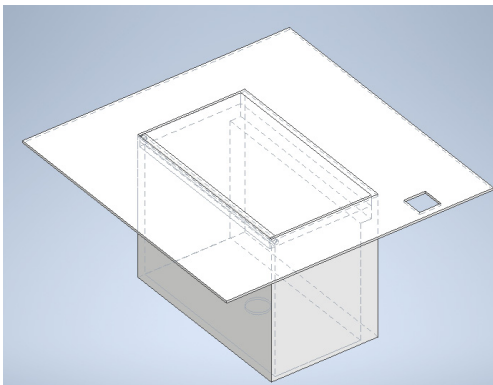
부 구동부로 구성된다. 상판은 차량 진입 방향의 한쪽 모서리를 힌지(Hinge) 구조로 고정하고, 반대쪽 모서리는 상하 이동이 가능한 자유단으로 설계하였다. 이러한 구조는 차량이 통과할 때 발생하는 하중을 안정적으로 분산시키는 동시에, 액추에이터의 동작에 따라 상판의 각도를 유연하게 조절하기 위한 것이다.



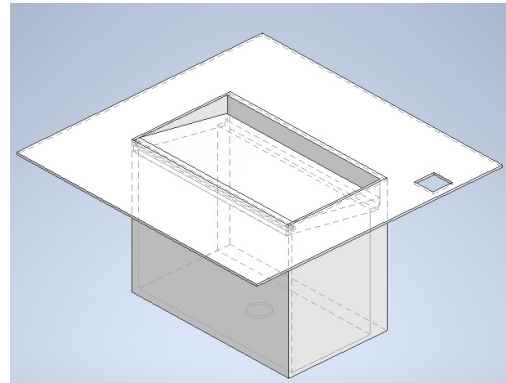
[Fig. 3] Bump model



[Fig. 4] Inside the bump



[Fig. 5] Bump model installed on the road



[Fig. 6] Appearance when a buried bump is functioning

[Fig. 4]는 자동 방지턱의 내부 상세 구조를 나타낸다. 내부에는 액추에이터의 위치를 고정하기 위한 지지 구조와 상판의 하중을 보조적으로 지탱하기 위한 지지 기둥(Support Column)을 배치하였다. 지지 기둥은 방지턱 기능이 수행될 때 상판이 과도하게 하강하거나 불안정하게 흔들리는 것을 방지하며, 차량 통과 시 발생하는 하중을 분산시켜 시스템의 구조적 안정성을 확보하는 역할을 한다.

본 시스템의 기본 구동 원리는 다음과 같다. 평상시에는 내부에 매설된 액추에이터가 상판을 상향 지지하여 도로와 수평 상태를 유지한다. 이 상태에서는 차량이 일반 도로를 주행하는 것과 유사하게 방지턱을 통과할 수 있다. 반면, 속도 측정 센서를 통해 제한 속도를 초과한 일반 차량이 감지되면 액추에이터의 지지 상태를 제어하여 상판을 사선 방향으로 하강시킨다. 이때 상판과 노면 사이에 높낮이 차이가 형성되며, 이를 통해 과속 차량에 물리적 저항을 제공하여 감속을 유도한다.

따라서 제안하는 자동 방지턱은 기존 고정식 구조와 달리 차량의 주행 조건에 따라 선택적으로 동작하는 특징을 가진다. [Fig. 5]는 도로에 매설된 평상 상태의 자동 방지턱을 나타내며, [Fig. 6]은 과속 차량 감지 시 방지턱 기능이 수행되는 모습을 나타낸다. 이를 통해 본 연구에서는 정상 주행 차량의 불필요한 충격을 줄이고, 과속 차량에 대해서만 감속 효과를 제공할 수 있는 가변형 자동 방지턱의 설계 가능성을 제시한다.

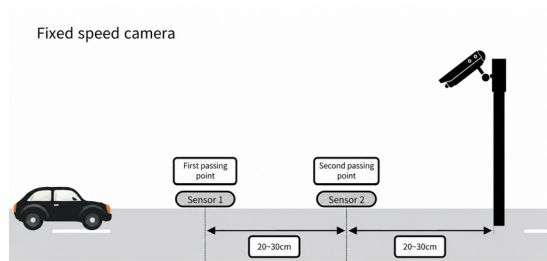
2.2 속도 측정 설계 방안

도로 위 과속 차량을 감지하기 위한 대표적인 기술은 크게 지자기 변화를 이용하는 루프 코일(Loop-coil) 방

식과 전파의 도플러 효과를 이용하는 레이더(Radar) 방식으로 구분된다. 루프 코일 방식은 도로에 매설된 센서를 통해 차량의 진입 및 통과 시점을 측정하여 구간 속도를 산출하는 방식이며, 레이더 방식은 차량에 반사되어 돌아오는 전파의 주파수 변화를 이용하여 순간 속도를 측정하는 방식이다. 본 연구에서는 이러한 기존 속도 단속 원리를 소형 IoT 기반 자동 방지턱 시스템에 적용하기 위해, 로드셀(Load Cell)과 마이크로웨이브 모션 센서(TRM-121A)를 결합한 다중 속도 측정 구조를 설계하였다.

먼저, 고정식 단속 카메라에서 주로 사용되는 루프 코일 방식은 도로에 매설된 두 개의 감지 구간 사이를 차량이 통과하는 데 소요된 시간을 이용하여 평균 속도를 계산한다. 본 시스템에서는 [Fig. 7]의 루프 센서를 대신하여 로드셀을 활용하였다. 로드셀은 차량이 센서 위를 통과할 때 발생하는 하중 변화를 감지할 수 있으므로, 차량의 진입 시점과 이탈 시점을 비교적 명확하게 판단할 수 있다. 이를 통해 두 로드셀 사이의 거리와 차량 통과 시간을 기반으로 구간 속도를 산출할 수 있도록 설계하였다.

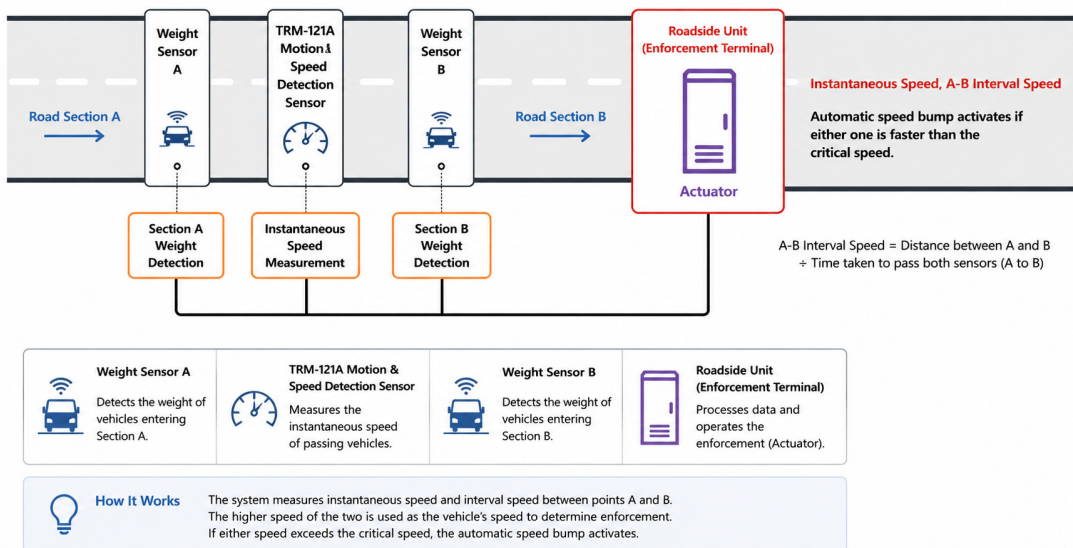
다음으로, 이동식 단속 장비에서 활용되는 레이더 방식은 주행 중인 차량에 전파를 송신하고, 차량에 반사되어 수신되는 전파의 주파수 변화로부터 순간 속도를 계산한다.



[Fig. 7] Fixed speed camera sensor

제안하는 통합 속도 측정 메커니즘은 [Fig. 8]과 같다. 시스템은 두 개의 로드셀(A, B)과 두 로드셀 사이에 배치된 TRM-121A 센서로 구성된다. 차량이 첫 번째 로드셀(A 구간)을 통과하면 시스템 타이머가 작동하고, 차량이 이동하는 동안 중앙에 설치된 TRM-121A 센서가 차량의 순간 속도를 측정한다. 이후 차량이 두 번째 로드셀(B 구간)에 도달하면 타이머가 정지되며, 두 로드셀 사이의 거리를 차량 통과 시간으로 나누어 구간 평균 속도를 산출한다.

이와 같이 본 시스템은 로드셀을 통해 산출한 구간 속도와 TRM-121A 센서를 통해 측정한 순간 속도를 실시간으로 비교·분석한다. 두 속도값 중 하나라도 사전에 설정된 과속 임계값을 초과할 경우, 시스템은 해당 차량을 과속 차량으로 판단하고 매설된 방지턱의 액추에이터를 제어하여 방지턱 기능을 수행한다. 반대로 두 속도값이



[Fig. 8] Speed measurement concept using two sensors

모두 임계값 이하인 경우에는 방지턱을 평면 상태로 유지하여 정상 주행 차량이 불필요한 충격 없이 통과할 수 있도록 한다.

결과적으로 제안한 이중 속도 측정 방식은 단일 센서 기반 측정에서 발생할 수 있는 오차를 보완하고, 차량의 과속 여부를 보다 신뢰성 있게 판단하기 위한 구조이다. 또한 구간 속도와 순간 속도를 병행 측정함으로써 다양한 주행 상황에 대응할 수 있으며, 자동 방지턱의 선택적 동작을 위한 핵심 판단 기준으로 활용된다.

2.3 공무 수행 차량 인식 기능

기존 고정식 과속방지턱은 차량의 종류나 운행 목적과 관계없이 항상 동일한 물리적 저항을 제공한다. 이로 인해 구급차, 경찰차 등 긴급 출동이 필요한 공무 수행 차량도 방지턱을 통과할 때 감속이 불가피하며, 이는 긴급 상황에서 골든타임 확보에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 한계를 보완하기 위해 객체 탐지(Object Detection) 알고리즘을 활용한 공무 수행 차량 인식 기능을 설계하였다.

객체 탐지는 입력 영상에서 특정 객체의 종류를 분류(Classification)하고, 해당 객체의 위치를 식별(Localization)하는 기술이다. 객체 탐지 방식은 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째는 객체 후보 영역을 먼저 추출한 뒤 각 영역에 대해 분류와 위치 보정을 수행하는 Two-stage Detector 방식이며, 대표적인 모델로 Faster R-CNN이 있다. 두 번째는 객체의 분류와 위치 예측을 하나의 네트워크에서 동시에 수행하는 One-stage Detector 방식이며, 대표적인 모델로 YOLO(You Only Look Once)가 있다[4-8].

본 연구에서는 실시간 차량 인식이 요구되는 자동 방지턱 시스템의 특성을 고려하여 One-stage Detector 방식의 YOLO 모델을 적용하였다. YOLO는 입력 영상을 한 번의 신경망 연산으로 처리하여 객체의 클래스 확률과 위치 좌표를 동시에 예측하므로, Two-stage 방식에 비해 상대적으로 빠른 탐지 속도를 제공한다. 이러한 특성은 주행 중인 차량을 실시간으로 식별해야 하는 본 시스템에 적합하다.

YOLO 모델은 합성곱 계층(Convolutional Layers)을 통해 입력 영상의 특징을 추출하고, 이후 출력 계층에서 객체의 클래스 확률과 바운딩 박스 좌표를 예측한다. 이를 통해 영상 내에 존재하는 차량의 종류와 위치를 동시에 판단할 수 있다.

연구에서는 일반 차량과 구급차, 경찰차 등 긴급 공무

수행 차량을 구분하기 위해 YOLO 기반 객체 인식 기능을 구현하였다. 카메라를 통해 입력된 도로 영상을 Jetson Nano에서 분석하고, 인식 결과에 따라 방지턱의 동작 여부를 결정한다. 일반 차량으로 인식된 경우에는 속도 측정 결과를 기반으로 과속 여부를 판단하여 방지턱을 작동시키며, 구급차 또는 경찰차와 같은 공무 수행 차량으로 인식된 경우에는 방지턱을 평면 상태로 유지하여 신속한 통행이 가능하도록 한다.

또한 본 시스템은 임베디드 환경에서 동작해야 하므로 연산량과 메모리 사용량을 줄이는 것이 중요하다. 이를 위해 기존 YOLOv5 모델보다 연산량(FLOPs), 메모리 사용량, 파라미터 수를 줄이면서도 높은 프레임 처리 성능을 제공할 수 있는 YOLOv5-Lite 모델을 사용하였다[9-12].

결과적으로 공무 수행 차량 인식 기능은 자동 방지턱 시스템이 단순히 차량의 속도만을 기준으로 동작하는 것이 아니라, 차량의 종류와 운행 목적까지 고려하여 선택적으로 제어될 수 있도록 하는 핵심 기능이다. 이를 통해 과속 일반 차량에는 감속 효과를 제공하고, 긴급 공무 수행 차량에는 평탄한 주행 환경을 제공함으로써 도로 안전성과 긴급 대응 효율성을 동시에 향상시킬 수 있다.

2.4 웹 관제 시스템

본 연구에서는 자동 방지턱의 동작 상태와 도로 상황을 원격으로 확인하고 제어하기 위해 웹 기반 관제 시스템을 설계하였다. 웹 관제 시스템은 Jetson Nano와 CSI(Camera Serial Interface) 카메라를 통해 수집된 도로 영상을 기반으로 차량 객체 인식 결과를 실시간으로 제공하며, 차량 통과 시 측정된 속도 정보를 함께 표시하도록 구성하였다.

제안 시스템에서는 CSI 카메라로 입력된 영상을 Jetson Nano에서 처리하고, YOLO 기반 객체 인식 알고리즘을 통해 일반 차량과 긴급 공무 수행 차량을 구분한다. 이러한 객체 인식 결과와 로드셀 및 마이크로웨이브 모션 센서를 통해 측정된 차량 속도값은 웹 관제 시스템으로 전달된다. 관리자는 웹페이지를 통해 현재 도로 상황, 차량 종류, 차량 속도, 방지턱 동작 상태를 실시간으로 확인할 수 있다.

또한 웹 관제 시스템은 현장 상황에 따라 과속 판단 기준이 되는 임계값을 조절할 수 있도록 설계하였다. 도로 환경이나 시간대에 따라 적절한 제한 속도 기준이 달라질 수 있으므로, 관리자가 웹페이지에서 임계값을 변경함으로써 시스템의 운용 유연성을 확보할 수 있다. 이

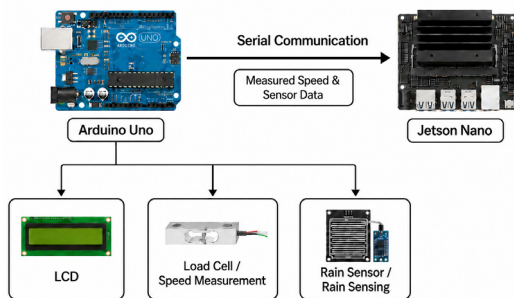
와 함께 방지턱 작동 오류나 긴급 상황이 발생할 경우를 대비하여 액추에이터를 수동으로 제어할 수 있는 기능을 제공한다.

이를 통해 본 시스템은 단순히 자동 방지턱의 동작 여부를 판단하는 것에 그치지 않고, 도로 상황 분석, 실시간 모니터링, 원격 제어 기능을 통합적으로 제공한다. 따라서 웹 관제 시스템은 자동 방지턱 시스템의 안정적인 운영을 지원하는 관리 도구로 활용될 수 있으며, 향후 스마트 시티 환경에서 도로 안전 시설물을 효율적으로 관리하기 위한 기반 기술로 적용될 수 있다.

3. 구현

3.1 시스템 흐름도

본 연구에서 구현한 자동 방지턱 시스템은 Arduino Uno[13]와 Jetson Nano[14]를 중심으로 구성된다. Arduino Uno는 로드셀, 빗물 감지 센서, LCD 등 비교적 단순한 센서 입력과 출력 장치를 제어하며, Jetson Nano는 CSI 카메라 기반 객체 인식, 마이크로웨이브 모션 센서 데이터 처리, 액추에이터 제어 및 웹 관제 시스템과의 데이터 연동을 담당한다. 빗물 감지 센서는 강우 여부를 감지하여, 비가 오는 날에는 노면 미끄러짐 등 안전 문제를 고려해 자동 방지턱이 작동하지 않도록 제어하는 데 사용된다. 각 보드의 전체 동작 흐름은 [Fig. 9]와 [Fig. 10]에 나타내었다.



[Fig. 9] Arduino Uno operation flowchart

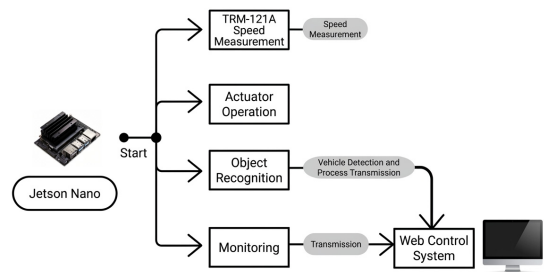
[Fig. 9]는 Arduino Uno의 동작 흐름도를 나타낸다. Arduino Uno는 로드셀을 통해 차량이 지정된 구간을 통과하는 시점을 감지하고, 두 로드셀 사이의 통과 시간을 기반으로 차량의 구간 속도를 산출한다. 또한 빗물 감지 센서를 통해 도로 주변의 환경 정보를 수집하고, 필요한 상태 정보를 LCD에 출력한다. Arduino Uno에서 측

정 및 처리된 센서 데이터는 Jetson Nano로 전달되어 이후 방지턱 제어 판단에 활용된다.

Arduino Uno와 Jetson Nano 간의 데이터 전달은 시리얼 통신을 통해 수행된다. 미리 컴파일된 Arduino Uno 프로그램은 전원 공급 및 데이터 송수신을 위해 Jetson Nano와 연결되며, Arduino Uno에서 측정된 구간 속도값과 센서 상태값은 직렬 통신 방식으로 Jetson Nano에 전송된다. 이를 통해 Jetson Nano는 Arduino Uno에서 수집한 센서 데이터와 자체적으로 처리한 객체 인식 결과를 통합적으로 활용할 수 있다.

[Fig. 10]은 Jetson Nano의 동작 흐름도를 나타낸다. Jetson Nano는 CSI 카메라로부터 입력된 영상을 YOLO 기반 객체 인식 알고리즘으로 분석하여 차량의 종류를 판단한다. 또한 TRM-121A 센서를 통해 차량의 순간 속도를 측정하고, Arduino Uno로부터 전달받은 구간 속도값과 함께 과속 여부를 판별한다. 이후 차량 종류와 속도 판단 결과를 종합하여 액추에이터의 동작 여부를 결정한다.

최종적으로 Jetson Nano는 차량 속도, 차량 종류, 센서 상태, 방지턱 동작 상태 등의 데이터를 웹 관제 시스템으로 전달한다. 웹 관제 시스템에서는 해당 정보를 기반으로 도로 상황을 실시간으로 표시하고, 관리자가 과속 임계값 조절이나 방지턱 수동 제어를 수행할 수 있도록 한다. 이와 같이 본 시스템은 Arduino Uno의 센서 데이터 수집 기능과 Jetson Nano의 객체 인식 및 제어 기능을 연동함으로써 자동 방지턱의 실시간 동작과 원격 관제가 가능하도록 구현하였다.



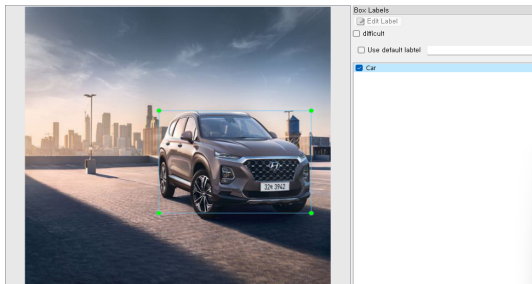
[Fig. 10] Jetson Nano operation flowchart

3.2 차량 인식 모델 학습

본 연구에서는 자동 방지턱의 선택적 동작을 위해 차량 종류를 일반 차량, 급급차, 경찰차의 3개 클래스로 구분하여 학습을 진행하였다. 모든 차량 종류를 대상으로 학습하기보다는, 방지턱 동작 여부 판단에 직접적으로

필요한 일반 차량과 긴급 공무 수행 차량을 중심으로 학습 클래스를 구성하였다. 이를 통해 제한된 임베디드 환경에서도 효율적인 객체 인식이 가능하도록 하였다.

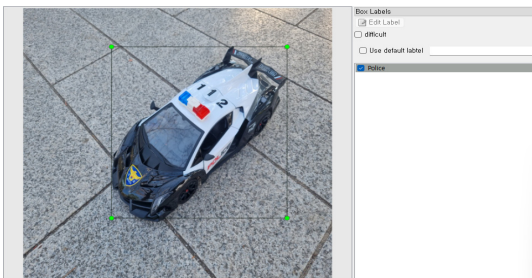
학습 데이터 구축을 위해 객체 라벨링 도구인 LabelImg를 사용하였다. 먼저 일반 차량, 구급차, 경찰차에 해당하는 라벨 클래스를 정의한 뒤, 각 이미지에서 차량 객체의 위치를 바운딩 박스로 지정하고 해당 클래스명을 부여하였다. [Fig. 11], [Fig. 12], [Fig. 13]은 각각 일반 차량, 구급차, 경찰차에 대한 라벨링 예시를 나타낸다.



[Fig. 11] General vehicle labeling



[Fig. 12] Ambulance labeling



[Fig. 13] Police car labeling

일반 차량의 경우 차량 종류와 외형이 다양하고 공개 이미지 자료가 비교적 풍부하므로, 배포된 이미지 자료와 실제 시연에 사용된 무선 조종 자동차를 다양한 환경

과 각도에서 촬영한 이미지를 함께 활용하였다. 반면 구급차와 경찰차는 확보 가능한 공개 이미지 수가 상대적으로 제한적이므로, 실제 시연용 무선 조종 자동차를 여러 방향과 거리에서 촬영하여 학습 데이터를 보완하였다. 이를 통해 각 클래스별 이미지의 다양성을 확보하고, 실제 구현 환경에서의 인식 성능을 높이고자 하였다.

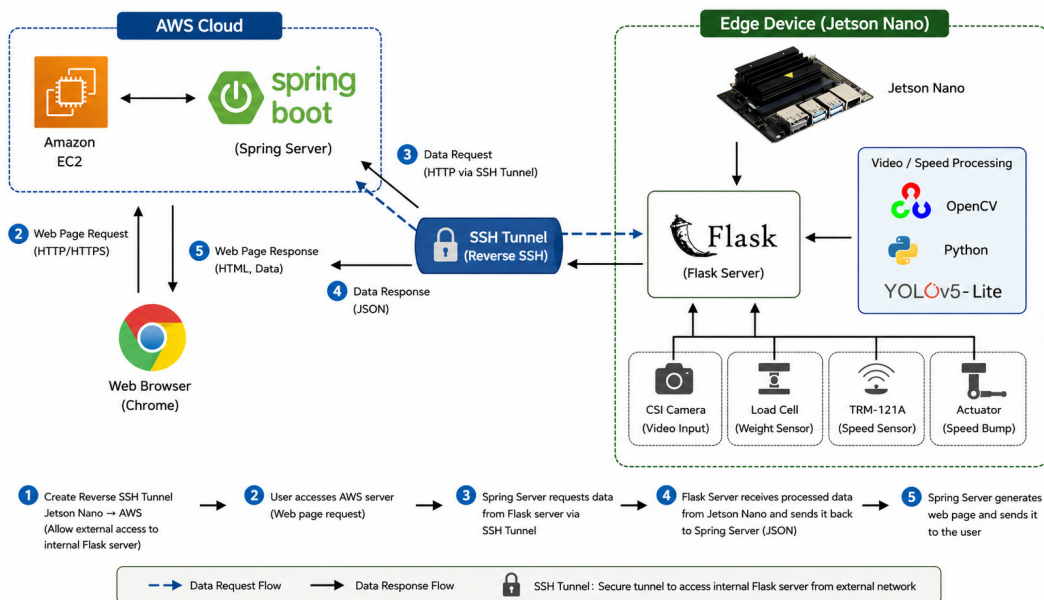
라벨링을 완료한 전체 데이터는 총 16,500장으로 구성하였다. 이 중 약 85%에 해당하는 14,100장은 학습 데이터(Train Data)로, 약 15%에 해당하는 2,400장은 검증 데이터(Validation Data)로 분할하였다. 이후 YOLO 학습 구조에 맞게 이미지와 라벨 파일의 경로를 구성하고, 학습에 사용될 클래스 수와 클래스명을 정의한 YAML(Yet Another Markup Language) 파일을 작성하였다. YAML 파일에는 학습 데이터 및 검증 데이터의 경로와 함께 일반 차량, 구급차, 경찰차의 클래스 정보를 명시하여 모델 학습에 필요한 환경을 설정하였다.

최종적으로 구축된 데이터셋을 기반으로 YOLO 모델 학습을 수행하였으며, 학습된 모델은 Jetson Nano에서 CSI 카메라로 입력되는 영상의 차량 종류를 실시간으로 판별하는 데 활용된다. 이를 통해 일반 차량이 제한 속도를 초과할 경우 방지턱을 작동시키고, 구급차 또는 경찰차와 같은 긴급 공무 수행 차량이 감지될 경우 방지턱을 평면 상태로 유지하도록 시스템과 연동하였다.

3.3 웹 관제 시스템 구현

본 연구에서는 자동 방지턱 시스템의 동작 상태와 도로 상황을 원격으로 확인하고 제어하기 위해 웹 관제 시스템을 구현하였다. Jetson Nano는 CSI 카메라 영상, 객체 인식 결과, 차량 속도값, 센서 상태 및 액추에이터 동작 정보를 처리하며, 이러한 데이터를 웹 관제 시스템으로 전달한다. 웹 서버는 Jetson Nano의 제한된 연산 자원과 메모리 사용량을 고려하여 직접 구동하지 않고, AWS(Amazon Web Services) 기반 서버 환경을 활용하여 구성하였다[15].

Jetson Nano에서 처리된 데이터를 외부 서버와 연동하기 위해 Flask 기반의 로컬 서버를 구성하였다. Flask 서버는 Jetson Nano 내부에서 객체 인식 결과와 센서 데이터를 수집하고, AWS 서버와의 데이터 교환을 담당한다. 외부망에 위치한 AWS 서버가 내부망의 Jetson Nano Flask 서버에 접근할 수 있도록 Reverse SSH Tunnel을 적용하였다. Reverse SSH Tunnel은 외부 서버에서 내부 장치의 특정 포트에 접속할 수 있도록 포트 포워딩을 수행하는 기술이다.



[Fig. 14] Web server operation flowchart

본 시스템의 웹 관제 데이터 전달 과정은 다음과 같다. 먼저 Jetson Nano에서 AWS 서버로 Reverse SSH Tunnel을 생성하여, AWS 서버가 Jetson Nano의 Flask 서버와 통신할 수 있는 경로를 확보한다. 예를 들어 다음과 같은 명령어를 통해 AWS 서버의 5001번 포트를 Jetson Nano의 로컬 5001번 포트와 연결할 수 있다. (ssh -i capstone.pem -R 5001:localhost:5001 ec2-user@ec2-13-209-45-118.ap-northeast-2.compute.amazonaws.com)

이와 같이 터널링이 설정되면, AWS 서버는 5001번 포트를 통해 Jetson Nano에서 실행 중인 Flask 서버에 접근할 수 있다. 이후 사용자가 Chrome과 같은 웹 브라우저에서 AWS 서버의 웹 주소로 접속하면, 브라우저는 Spring 서버에 웹페이지를 요청한다. Spring 서버는 웹 페이지 구성에 필요한 실시간 데이터를 얻기 위해 Reverse SSH Tunnel을 통해 Jetson Nano의 Flask 서버에 데이터를 요청한다.

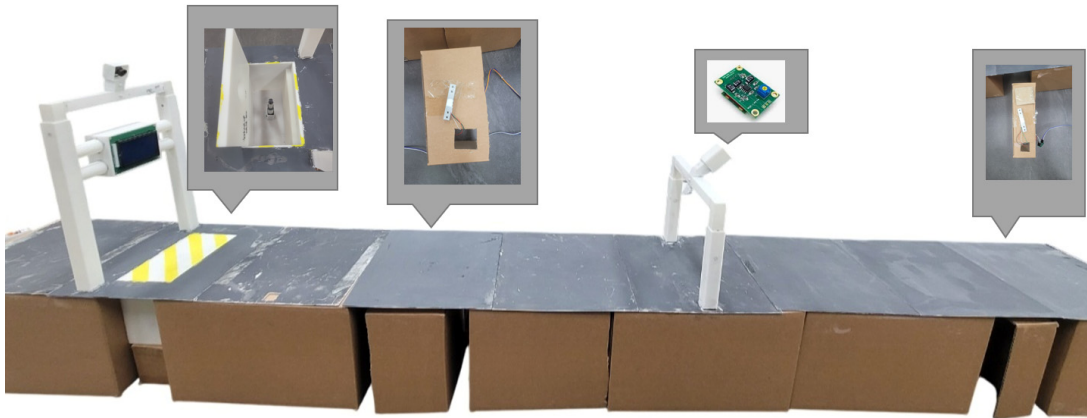
Flask 서버는 Jetson Nano에서 처리한 차량 인식 결과, 속도 측정값, 센서 상태, 액추에이터 동작 상태 등을 Spring 서버로 전달한다. Spring 서버는 전달받은 데이터를 기반으로 웹페이지를 구성하고, 이를 사용자의 웹 브라우저로 전송한다. 관리자는 웹 관제 화면을 통해 도로 상황을 실시간으로 확인할 수 있으며, 과속 임계값 조절 및 방지턱 수동 제어 기능을 수행할 수 있다.

따라서 본 웹 관제 시스템은 Jetson Nano에서 처리되는 현장 데이터를 외부 서버와 연동하여 원격 모니터링 및 제어가 가능하도록 구현한 구조이다. 이를 통해 관리자는 방지턱 설치 구간의 차량 통행 상태와 시스템 동작 여부를 실시간으로 파악할 수 있으며, 현장 상황에 따라 능동적으로 대응할 수 있다. 해당 데이터 흐름과 웹 서버 구성 과정은 [Fig. 14]에 나타내었다.

4. 구현 결과 및 기능 검증

본 연구에서는 제안한 자동 방지턱 시스템의 구현 가능성을 확인하기 위해 3D 모델링 기반의 도로 환경을 제작하고, 로드셀, 마이크로웨이브 모션 센서, CSI 카메라, Jetson Nano, Arduino Uno 및 액추에이터를 연동하여 시스템을 구성하였다. 구현된 도로 환경은 차량의 주행 상태를 감지하고, 속도 측정 및 차량 인식 결과에 따라 방지턱이 가변적으로 동작할 수 있도록 제작하였다. [Fig. 15]는 센서와 제어 보드가 통합된 자동 방지턱 실험 환경을 나타낸다.

먼저, 학습된 차량 인식 모델의 동작을 확인하기 위해 차량을 정지 상태에서 인식시키는 실험을 수행하였다. 실험 결과, 일반 차량, 구급차, 경찰차에 대해 객체 인식이 수행됨을 확인하였다. [Fig. 16]은 일반 차량 인식 결



[Fig. 15] Automatic speed bump with integrated sensor and control board

과를, [Fig. 17]은 구급차 인식 결과를, [Fig. 18]은 경찰차 인식 결과를 나타낸다. 이를 통해 학습된 모델이 본 시스템에서 요구하는 차량 종류 구분 기능을 수행할 수 있음을 확인하였다.

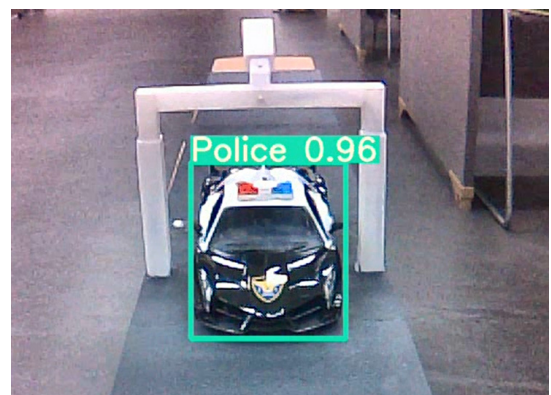
다음으로, 차량이 실제로 주행하는 상황에서 객체 인식 기능과 속도 측정 기능을 함께 연동하여 방지턱 동작 여부를 검증하였다. 시스템은 로드셀을 통해 차량의 구간 속도를 측정하고, 마이크로웨이브 모션 센서를 통해 순간 속도를 측정한 뒤, 사전에 설정된 과속 임계값과 비교하여 과속 여부를 판단하였다. 또한 CSI 카메라와 YOLO 기반 객체 인식 모델을 통해 차량의 종류를 판별하였다.



[Fig. 17] Ambulance recognition



[Fig. 16] General vehicle recognition



[Fig. 18] Police car recognition



[Fig. 19] Automatic speed bumps for general vehicles



[Fig. 20] Automatic speed bumps for vehicles performing emergency duties

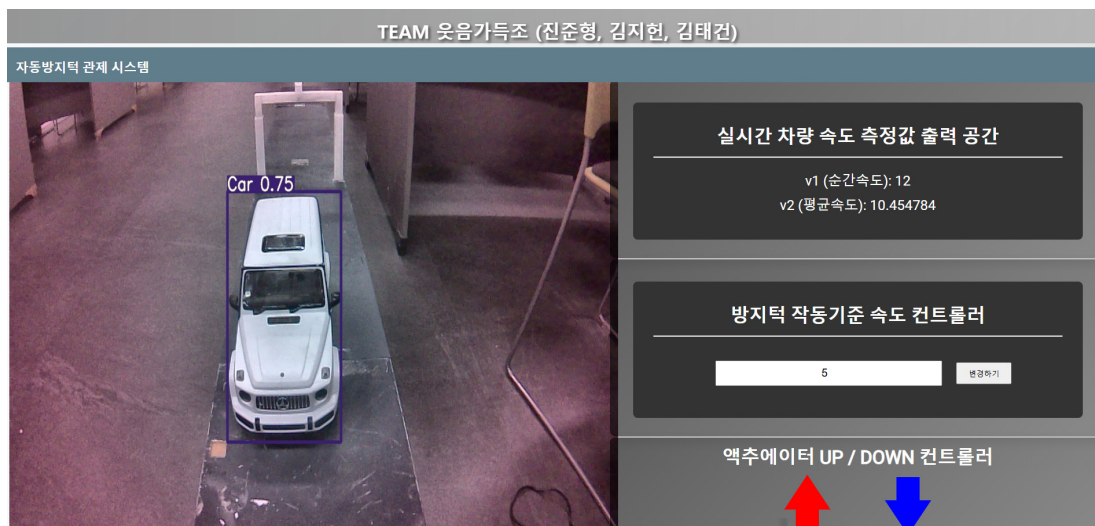
실험 결과, 일반 차량이 제한 속도를 초과하여 주행하는 경우 액추에이터가 작동하여 방지턱 기능이 수행됨을

확인하였다. 반면 구급차 또는 경찰차와 같은 긴급 공무 수행 차량으로 인식된 경우에는 차량의 신속한 통행을 위해 방지턱이 평면 상태를 유지하도록 동작하였다. [Fig. 19]는 일반 차량 주행 시 방지턱이 작동하는 결과를 나타내며, [Fig. 20]은 긴급 공무 수행 차량 주행 시 방지턱이 작동하지 않고 평면 상태를 유지하는 결과를 나타낸다. 이를 통해 제안한 시스템이 차량의 종류와 과속 여부에 따라 선택적으로 방지턱을 제어할 수 있음을 확인하였다.

마지막으로, 웹 관제 시스템의 동작을 확인하였다. 구현된 웹 관제 시스템은 카메라가 설치된 도로의 실시간 영상과 차량 객체 인식 과정을 웹페이지에 표시하고, 차량 통과 시 측정된 속도값을 함께 제공하도록 구성하였다. [Fig. 21]은 자동 방지턱 시스템의 웹 관제 화면을 나타낸다.

웹페이지에서는 지나간 차량의 속도값을 확인할 수 있으며, 과속 판단 기준이 되는 임계값을 조절할 수 있도록 구현하였다. 또한 방지턱의 작동 오류나 긴급 상황에 대응하기 위해 액추에이터를 수동으로 제어할 수 있는 기능을 제공하였다. 이를 통해 관리자는 도로 상황과 방지턱 동작 상태를 원격으로 모니터링하고, 필요에 따라 시스템을 직접 제어할 수 있음을 확인하였다.

이상의 구현 결과를 통해 제안한 자동 방지턱 시스템은 차량 인식, 속도 측정, 액추에이터 제어, 웹 기반 관제 기능을 통합적으로 수행할 수 있음을 확인하였다. 특히 일반 차량과 긴급 공무 수행 차량을 구분하고, 과속 여부



[Fig. 21] Web control system

에 따라 방지턱을 선택적으로 동작시킴으로써 지능형 자동 방지턱 시스템의 실제 구현 가능성을 검증하였다.

5. 결론

본 논문에서는 인공지능 기반 객체 인식 기술과 사물인터넷(IoT) 기술을 활용한 지능형 자동 방지턱 시스템을 제안하고, 데모 환경에서의 구현 가능성을 확인하였다. 제안한 시스템은 로드셀과 마이크로웨이브 모션 센서를 이용하여 차량의 속도를 측정하고, CSI 카메라와 경량화된 YOLO 모델을 통해 일반 차량과 긴급 공무 수행 차량을 식별하도록 설계하였다. 또한 측정된 속도와 차량 인식 결과를 바탕으로 액추에이터를 제어하여, 과속 일반 차량에는 방지턱 기능을 수행하고 정상 주행 차량 및 긴급 차량에는 평면 도로와 같은 주행 환경을 제공하도록 구현하였다.

구현 결과, 제안 시스템은 차량의 과속 여부와 차량 종류에 따라 방지턱을 선택적으로 제어할 수 있음을 확인하였다. 이를 통해 기존 고정식 과속방지턱이 가지는 정상 주행 차량에 대한 불필요한 충격, 긴급 차량의 주행 지연, 규격 미준수 방지턱으로 인한 안전 문제 등을 보완할 수 있는 가능성을 확인하였다. 특히 생활도로, 이면도로, 어린이보호구역 등 차량 감속이 요구되는 구간에 적용될 경우, 도로 안전성을 향상시키는 동시에 긴급 공무 수행 차량의 신속한 이동을 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 본 연구에서는 웹 기반 관제 시스템을 구축하여 도로 상황, 차량 속도, 객체 인식 결과, 방지턱 동작 상태를 실시간으로 확인할 수 있도록 하였다. 관리자는 웹 관제 시스템을 통해 과속 임계값을 조절하고 액추에이터를 수동으로 제어할 수 있으며, 이를 통해 방지턱 설치 구간의 상태를 원격으로 관리할 수 있다. 이러한 기능은 향후 사고 다발 구간 관리, 방지턱 손상 여부 확인, 긴급 상황 대응 등 스마트 시티 기반 도로 안전 인프라로 확장될 수 있다.

향후 연구에서는 실제 도로 환경에서의 장기적인 실증 실험을 통해 다양한 차량 속도, 기상 조건, 조도 변화, 차량 종류에 따른 인식 정확도와 시스템 안정성을 검증할 필요가 있다. 또한 방지턱 구조물의 내구성, 유지보수성, 실제 설치 기준과의 적합성 등을 추가적으로 분석한다면, 제안한 지능형 자동 방지턱 시스템의 실용화 가능성을 더욱 높일 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] J.H.Jin, J.H.Kim, T.G.Kim and T.K.Kim, "Automatic bump system design using IoT(Internet of Things)," Proceedings of the Korea Internet of Things Society Conference Vol.9, No.1, pp.84-86, 2024.
- [2] W.S.Han, M.B.Kim, C.S.Hyun and S.J.Yu, "The Enforcement Scheme of the Overspeeding vehicle by Travel Speed," Journal of Korean Society of Transportation Vol.23, No.1, 2005.
- [3] J.J.Park, Y.M.Lee, J.B.Park and J.G.Kang, "The Effect of Point to Point Speed Enforcement Systems on Traffic Flow Characteristics," Journal of Korean Society of Transportation, Vol.26, No.3, pp.85-95, 2008.
- [4] B.Peng, T.K.Kim, "YOLO-HF: Early Detection of Home Fires Using YOLO," IEEE ACCESS, Vol.13, pp.79451-79466, 2025.
- [5] E.S.Oh, S.R.Gwon, J.M.Oh, B.Peng and T.K.Kim, "Implementation of a real-time public transportation monitoring system," Journal of Internet of Things and Convergence Vol.10, No.4, pp.9-19, 2024.
- [6] J.Redmon, S.Divvala, R.Girshick, A.Farhadi, "You Only Look Once:Unified, Real-Time Object Detection," Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (CVPR), pp.779-788, 2016.
- [7] S.B.Park, Y.J.Jeong, D.E.Lee, T.K.Kim, "A Study on the Elevator System Using Real-time Object Detection Technology YOLOv5," Journal of Internet of Things Convergence, Vol.10, No.2, pp.103-108, 2024.
- [8] ultralytics, yolov5[Internet], <https://github.com/ultralytics/yolov5>
- [9] H.S.Kim and J.H.Moon, "A Real-Time Wildlife Roadkill Detection Approach Using YOLOv8," Journal of Internet of Things and Convergence Vol.10, No.5, pp.185-196, 2024.
- [10] Intelliz, [Deep learning technology trends] Yolo V5 - Deep learning[Internet], <https://blog.naver.com/PostView.naver?blogId=intelliz&logNo=222824372526&photoView=2>
- [11] X.Xu, X.Zhang, T.Zhang, "Lite-yolov5: A lightweight deep learning detector for on-board ship detection in large-scene sentinel-1 sar images," Remote Sensing Vol.14, No.4, pp.1018, 2022.
- [12] paddy696, YOLOv5-Lite-Pytorch[Internet], <https://github.com/paddy696/YOLOv5-Lite-Pytorch>
- [13] Arduino[Internet], <https://www.arduino.cc/>
- [14] Nvidia, Nvidia Developer[Internet], <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano>
- [15] T.K.Kim, "Spatial Crowdedness Measurement System using IoT and Amazon Web Services", (JKIOTS) Journal of Internet of Things and Convergence Vol.9, No.4, pp.15-20, 2023.

진 준 형(Jun-Hyeong Jin)

[준회원]



- 2019년 3월 ~ 현재 : 국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부

<관심분야>

사물인터넷, 정보통신, 웹 개발

김 태 국(Tae-Kook Kim)

[종신회원]



- 2004년 8월 : 고려대학교 전기전자전파공학부(공학사)
- 2006년 8월 : 고려대학교 메카트로닉스학과(공학석사)
- 2014년 8월 : 고려대학교 모바일솔루션학과(공학박사)

- 2016년 3월 ~ 2022년 2월 : 동명대학교 AI학부 교수

- 2022년 3월 ~ 현재 : 국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 교수

<관심분야>

사물인터넷(IoT), 콘텐츠 전송 네트워크(CDN), 이동성, 인공지능(AI), 빅데이터(big data), 모바일 서비스

김 지 현(Ji-Heon Kim)

[준회원]



- 2019년 3월 ~ 현재 : 국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부

<관심분야>

사물인터넷, 인공지능

김 태 건(Tae-Gun Kim)

[준회원]



- 2019년 3월 ~ 현재 : 국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부

<관심분야>

사물인터넷, 정보통신