

## Development of Smart driving monitoring device for Personal Mobility through Confusion Matrix verification

Ju-Wan Han\*, Seong-Hyun Park\*\*, Chae-Hyeon Sim\*\*\*, Ju-Won Whang\*\*

\*Student, Dept. of Mechanical Engineering, POSTECH, PoHang, Korea

\*\*Student, Dept. of Computer Science and Engineering, POSTECH, PoHang, Korea

\*\*\*Student, Dept. of Electrical Engineering, POSTECH, PoHang, Korea

\*\*Student, Dept. of Computer Science and Engineering, POSTECH, PoHang, Korea

### [Abstract]

As the delivery industry grew around the restaurant industry along with the COVID-19 situation, the number of delivery workers increased significantly. Along with that, new forms of delivery using personal mobility (PM) also emerged and two-wheeled or PM-related accidents are steadily increasing. This study manufactures a PM's driving analysis device to establish a safe delivery monitoring environment. This system was constructed to process data collected from the driving analysis device and through a cloud server, which would recognize and record special situations (acceleration/deceleration, speed bump) that could occur during the PM's driving situation. As a result, the angular speed, acceleration, and geomagnetic values collected from the IMU in the device were able to determine whether to drive, drive on the sidewalk, and drive on the speed bump. This technology was able to achieve approximately 1600 times more driving information storage efficiency than conventional image-based recording devices.

▶ **Key words:** Personal Mobility, Safety Helmet, Monitoring Device, Driving Analysis, IMU, Confusion Matrix

### [요 약]

배달산업이 COVID-19 상황과 함께 요식업을 중심으로 크게 성장함에 따라 배달업 종사자가 크게 증가했다. 그와 함께 개인형 모빌리티(Personal Mobility: PM)를 활용한 새로운 배달 형태가 등장했으며, 이륜차 혹은 PM 관련 사고는 꾸준히 증가하고 있다. 본 연구는 안전 배달 모니터링 환경을 구축하기 위해 PM의 주행 분석 장치의 제작한다. 이를 위해 주행 분석 장치와 장치에서 수집된 데이터를 클라우드 서버를 통해 처리하는 시스템을 구성했으며, 이 시스템을 통해 PM의 운전상황에서 운전 중 발생할 수 있는 특수한 상황(가/감속, 과속방지턱 통과)을 인식하고 기록하고자 한다. 그 결과 장치 내 측정 센서(IMU)에서 수집한 각속도, 가속도, 지자기 값을 통해 운행 여부 및 인도 주행 여부, 경사로 주행 여부를 판단해 낼 수 있었다. 이 기술은 기존의 영상기반 기록장치보다 약 1600배 이상의 주행 정보 저장 효율을 달성할 수 있었다.

▶ **주제어:** 개인형 이동수단, 안전헬멧, 모니터링 장치, 주행 분석, 관성측정장치, 혼동행렬

- 
- First Author: Ju-Wan Han, Corresponding Author: Ju-Wan Han
  - \*Ju-Wan Han (han0601@postech.ac.kr), Dept. of Mechanical Engineering, POSTECH
  - \*\*Seong-Hyun Park (shpark26@postech.ac.kr), Dept. of Computer Science and Engineering, POSTECH
  - \*\*\*Chae-Hyeon Sim (schyeon78@postech.ac.kr), Dept. of Electrical Engineering, POSTECH
  - \*\*Ju-Won Whang (juwon0018@postech.ac.kr), Dept. of Computer Science and Engineering, POSTECH
  - Received: 2021. 12. 23, Revised: 2022. 02. 04, Accepted: 2022. 02. 04.

## I. Introduction

현재 택배 배송 사업의 발달과 코로나 19의 영향으로 음식 배달 산업이 발전하고 있으며, 이에 따라 배달서비스업 배달근로자의 사고 건수가 증가하고 있다. 통계청에서 발표한 2020년 11월 온라인쇼핑 동향 보고서에 따르면, 음식 서비스(조리되어 배달되는 음식(피자, 치킨 등 배달서비스)) 관련 시장의 규모는 전월 대비 57.4% 증가하였으며, 2019년도 기준 연간 약 10조원의 시장 규모를 갖고 있다 [10,11,13]. 더불어, 코로나 19 이슈가 발생한 이후의 배달 앱 시장규모 동향을 살펴보면, 2020년도 1월 이후 배달앱 이용자수는 꾸준히 증가하여 8월에 1780만명을 넘어섰음을 확인할 수 있다[14]. 증가하는 배달 시장과 이에 따른 배달 건수의 증가로 인해 배달원의 업무량은 많아지지만, 이와 함께 사고의 위험 또한 증가하고 있다. 강원경찰청에 따르면, 이륜차 교통사고 치사율은 약 4.6%로, 승용차 사고 치사율 1.9%보다 4배 가까이 높다[15]. 하지만, 배달 건수가 수익으로 직결되는 시장 구조로 인해 무리한 운행에 따른 난폭 불법운전이 자행되고 있으며, ‘배민커넥트’, ‘부릉프렌즈’라는 어플리케이션을 통해 배달 경험이 없는 사람들 또한 전동 킥보드(퍼스널 모빌리티)에 탑승하여 제한 시간 안에 음식을 배달해 이윤을 얻는 서비스가 제공되고 있기에, 운전 과정에서의 위험 또한 증가하고 있다. 배달 전문 이륜차의 사고율은 2016년부터 꾸준히 증가해 2020년 39.9%를 기록했으며 이는 개인용 이륜차 사고율의 2.7배에 해당한다. 또한, 배달용 이륜차 사고는 2016년 8806건에서 2020년 10793건으로 5년간 23% 증가했다[17].

최근 코로나19의 확산으로 붐비는 대중교통 대신 개인형 이동 장치(Personal Mobility: PM)가 새로운 교통수단으로 떠올랐다. 그 중 전동 킥보드가 중소도시까지 서비스 지역을 넓히면서 이용자의 수가 급격하게 늘었으며, 이에 따른 문제점들도 늘어나고 있다. 인터넷에서는 ‘킵라니’라는 용어도 등장하게 될 정도로 전동킥보드에 대한 위험을 경고하고 있다. 한국소비자원의 발표에 따르면, 2017년부터 2020년까지 접수된 사고건수는 1252건이며, 20~30대가 가장 많고, 대부분 운행 중 사고가 발생한 것으로 보고되고 있다[2,3,4,12].

전동 킥보드와 같은 개인형 이동 장치를 안전하게 이용할 수 있는 기반을 마련하고자 여러 가지 노력들을 하고 있는데, 그 중에서 이용자의 실수를 줄일 수 있는 법적인 보호 노력이 대표적이다. 개인형 이동장치와 관련된 법률의 세부 내용은 살펴보면 우선, 원동기 면허 이상의 면허를 소지한 운전자에 대해서만 개인형 이동 장치를 운전할 수 있

도록 하고, 무면허 운전 시 10만 원의 범칙금을 부과한다.

또한 인명 보호장구 미착용(범칙금 2만 원), 승차정원 초과 탑승(범칙금 4만 원) 및 어린이(13세 미만) 운전 시 보호자(과태료 10만 원)에게 범칙금·과태료를 부과함으로써 개인형 이동장치 운전자 주의의무에 대한 이행력을 강화했다.

정부는 강화된 법률의 시행을 계기로 안전한 개인형 이동 장치 이용문화가 정착될 수 있도록 단속 및 캠페인 등 대국민 홍보를 강화할 것이라고 했다[16].

본 연구에서는 이러한 문제점을 기술적인 측면에서 해결해보고자 한다. 이용자의 주행 패턴을 분석하고, 이용자로 하여금 주행 패턴을 보고 자신의 운전 실력을 과신하지 않고 안전 운전을 할 수 있도록 하기 위한 주행분석 장치를 개발하는 것이다. 이런 장치를 통하여 주행 안전 문제와 법률을 준수하기 위한 노력, 헬멧과 같은 안전 장구의 착용을 독려할 수 있다면, 많은 사회적인 문제들을 해결할 수 있을 것으로 기대된다[9].

본 논문에서는 2장에서 개발하고자하는 장치에 대한 분석과 실험과정을 설계하고, 3장에서는 데이터 통신과 모듈 및 알고리즘에 대한 설명을 한다. 4장에서는 실험결과 및 분석을 하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺고자 한다.

## II. Experimental / Materials Theoretical Component

### 2.1 Electric Scooter

본 연구의 목표는 이륜차, 개인형 이동 장치의 주행 분석 장치의 제작을 통한 안전 배달 환경을 구축하는 것이다. 그리고 디바이스의 소형화를 통해 최종적으로는 카드 형태로 제작하여 개인형 이동 장치 탑승 중에 헬멧에 부착하더라도 부담이 없게 하는 것이 목표이다. 이후 많은 데이터 자료와 알고리즘의 고도화를 이룬다면 개인형 이동 장치의 자율주행을 위한 데이터 수집에도 기여할 수 있을 것이라 기대한다.

본 연구에서 사용하는 개인형 이동 장치(PM)는 전동 스쿠터이다. 전동 스쿠터를 선택한 이유는 크기, 최대속도, 무게 등의 특성이 보편적으로 사람들이 사용하는 것과 비슷하여 본 연구의 목적을 달성하는 데에 적합하다고 판단했기 때문이다.

카메라 없이 관성 측정 장치를 활용한 물리 데이터를 통해 주행 상황을 관측할 수 있는 장치를 제작하고, 장치를 통해 얻은 데이터로 실시간 주행상황을 판단할 수 있는지

그 가능성을 확인하고자 한다[1,5,8]. 마지막으로 진동패턴 분석을 통해 다른 이동수단에 비해 질량이 작은 이륜차, 퍼스널 모빌리티에 최적화할 수 있도록 구성한다.

### 2.2 IMU Device

관성 측정 장치(Inertial Measurement Unit: IMU)는 자이로센서, 가속도계, 자력계를 통해 데이터를 수집하며, 최종적으로 제작하고자 하는 데이터 수집 장치는 IMU로부터 수집된 데이터를 안드로이드 디바이스로 전송할 수 있도록 개발하고자 한다. 데이터 수집 장치의 역할은 전동 스쿠터에 부착되어 주행 정보를 측정하고 이를 블루투스 통신을 통해 스마트폰을 거쳐 자체 서버로 전송하는 것이다. 이때 전동 스쿠터 탑승자는 자체 어플리케이션을 통해 서버로 전송되는 IMU의 측정값을 실시간으로 확인할 수 있다[7].

IMU device를 설계하는 과정에서 전동 스쿠터의 주행 상태를 파악하기 사용된 센서는 MPU9250이다. 이 센서를 부착한 이유는 9축 자유도를 가지고 있어 전동 스쿠터의 운동 상태를 종합적으로 파악하기에 적합하다고 생각했기 때문이다. 또한 리튬 이온 배터리와 자체 PCB를 사용하여 무게가 100g 정도로 가볍고 크기 또한 작게 설계했는데, 이는 헬멧에 부착할 수 있는 소형 장치로 구성하기 위함이다. 그림 1이 연구 과정에서 자체 개발한 IMU 장치이다.

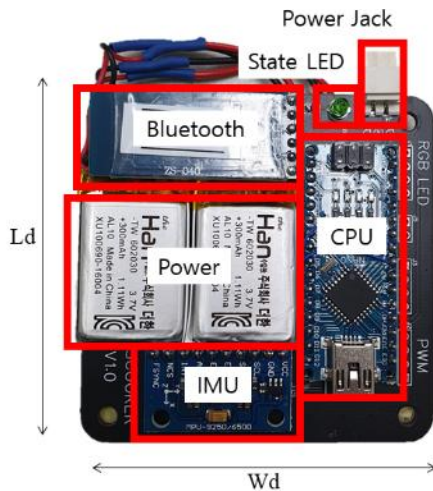


Fig. 1. IMU Device

### 2.3 Experimental Design

주행 중 일어날 수 있는 모든 상황은 아래의 표 1에 제시한 내용 중에 포함된다고 가정한다. 주행 중 일어날 수 있는 경우에 대한 실 데이터(raw data)를 수집하고, 이를 활용하여 전동 스쿠터의 주행 상황을 판단할 수 있는 알고리즘을 개발한다. 표 1에서 STATE는 주행 상태를 의미하

며, 임의의 시점에서 주행자는 항상 인도 혹은 도로를 주행하고, 평지 혹은 경사로를 주행하고 있음을 의미한다. EVENT의 경우 주행 시에 발견되는 특이적 운동 특성으로 특정 시점에서 가속, 감속, 과속방지턱 통과, 턱 통과를 했음을 의미한다.

Table 1. state and event condition

STATE		EVENT
Road/ Guidance	Flat/ Up-Downward	Acceleration, Deceleration, Bump, Speed bump, etc

실험에 필요한 실 데이터를 얻기 위해 POSTECH 주변 환경을 활용해 데이터를 수집하였으며, 수집에서 사용된 장소는 다음의 그림 2와 같다.

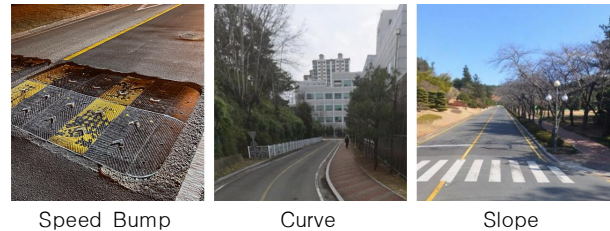


Fig. 2. Experimental environment

측정 도구로는 위에서 설명한 IMU device와 자체 어플리케이션을 활용했다. 어플리케이션의 경우 버튼을 통해 특정 시간의 정보를 스마트폰에 저장할 수 있기 때문에 보다 정확한 측정이 가능하다. 궁극적으로는 정확한 시간 정보를 바탕으로 이벤트를 라벨링하고 정확한 시점의 데이터를 이용할 수 있기 때문에 알고리즘의 정확성이 높아진다고 예상할 수 있다.



Fig. 3. Experimental Application

그림 3은 데이터 수집을 위해 제작한 어플리케이션의 화면 캡처 사진으로, 연구자의 위치 정보와 관정 측정 정보를 실시간으로 확인할 수 있으며, 좌측에 있는 1-4번까지의 버튼으로 주행자의 이벤트를 라벨링할 수 있도록 제작되었다.

실험에 사용된 데이터는 2020년 9월 30일부터 2021년 1월 4일까지 측정되었으며, 그림 4와 같이 포항공과대학교 근교를 직접 답사하여 횡단보도, 과속방지턱, 경사로, 인도영역을 라벨링해 사용하였다. 데이터 수집에 이용된 모빌리티는 총 3대를 이용했으며 직접 개발한 디바이스와 어플리케이션, 데이터 서버를 이용해 수집한 데이터를 저장하고 분석하였다.

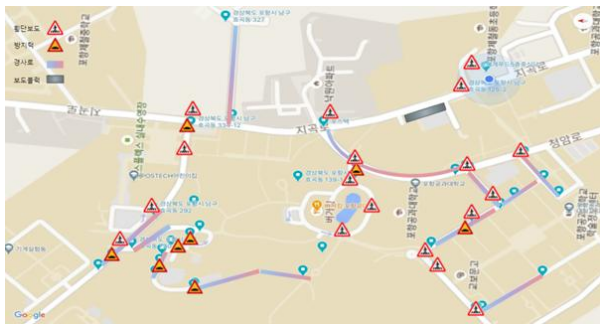


Fig. 4. Experimental environment labeled map

### 2.4 Confusion Matrix

혼동 행렬 (Confusion Matrix)이란 다중 분류기에서 주로 사용되는 분류기의 성능 검증 방법론으로[9], 지도학습을 통해 훈련된 분류 알고리즘의 성능을 시각화 할 수 있다. 일반적으로 각 열은 분류 알고리즘을 통해 예측된 결과를, 각 행은 예측된 결과의 실제값을 나타낸다. 이 행렬에 속한 값을 통해 분류 알고리즘의 정확도(Accuracy), 정밀도(Precision), 민감도(Sensitivity)등의 지표를 얻을 수 있다. 수식 1은 민감도라 불리는 True Positive Rate이다. 민감도는 특정 분류가 맞다고 예측해 맞은 항목의 수(True Positive: TP)와 특정 분류가 아니라고 예측해 틀린 항목의 수(False Negative: FN)의 합으로 TP값을 나눈 값으로 계산한다.

해당 행렬에서 얻을 수 있는 지표 중, F1 Score는 정밀도와 재현도의 조화평균으로 분류 알고리즘에 입력되는 정보의 분포가 균일하지 않을 때 정확도보다 알고리즘의 성능을 더 잘 반영한다고 알려져 있다. 수식 2는 계산된 정밀도(Precision)과 재현도(Recall)값을 이용해 F1 Score를 구하는 방법을 설명한다.

단, 연구의 특성상 주행 중 발생한 이벤트를 잘 감지하는 것이 목표이기 때문에 주요 Class에 대해 정확히 예측했는가를 반영하는 True Positive Rate을 지표로 삼았다.

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}$$

Equ. 1. True Positive Rate (Sensitivity)

$$F1 - Score = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall}$$

Equ. 2. F1 Score

## III. Data Communication and Networking system

### 3.1 System Structure

전체적인 시스템은 크게 1) IMU device 2) Android App 3) Cloud Server로 이루어져 있다. IMU device는 자체 센서로 동작하며, 블루투스를 통하여 센서 데이터를 중간 단계인 Android App로 전송한다. 차량 혹은 신체에 부착할 수 있는 경량화된 기기를 제작했으며, IMU device에서 Cloud Server로 정보를 직접 올리기 위해서는 IMU device가 크고 무거워지기 때문에 이 과정에서 Android App을 사용했다. Android App을 사용함으로써 IMU device의 경량화가 가능해졌으며, 그 과정에서 Cloud Server로의 안정적인 데이터 송신이 가능해졌다. Cloud Server로 데이터를 수집하게 되어, 여러 대의 장치를 운용하더라도 각 데이터간의 간섭없이 독립적으로 서버에 데이터를 저장 및 관리할 수 있으며, 이는 초기에 가정했던 ‘배달시장’ 상황에 부합한 시스템을 구성하였다.

Cloud Server는 네이버 클라우드 플랫폼의 KR-2 지역 Ubuntu-18.04 Server를 사용했으며, AWS(Amazon Web Service)와 구글 클라우드 플랫폼도 한국 지역에 있는 서버가 있었지만 비교적 속도가 비교적 빠르다는 점에서 네이버 클라우드 플랫폼을 선택했다.

그림 5는 측정환경을 그림으로 나타낸 것이다. 좌측에는 측정 디바이스가, 중심에는 연구자(주행자)의 휴대전화기, 우측에는 중앙 데이터 서버가 표현되어 있고 화살표를 통해 각 요소가 어떻게 상호작용하는지를 나타내었다.

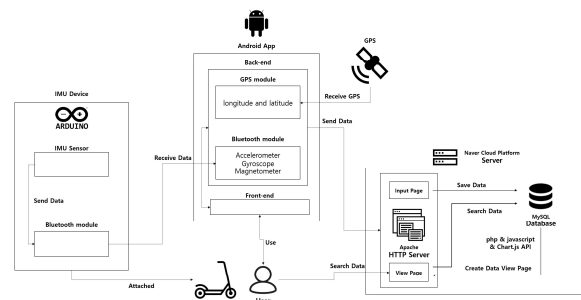


Fig. 5. System Structure

### 3.2 Module Design

IMU device에서 App으로 데이터를 전송할 때는 bit로 구성된 숫자 데이터를 String형으로 변환하여 전송한다. 이때, IMU device는 slave mode로, 핸드폰은 Master mode로 작동된다. IMU device에서 전송하는 모든 데이터 사이에는 특정 문자로 구분되어 전송되며, 9축 자유도에 해당하는 값이 모두 전송되면 전송의 1 cycle이 완료되고, 5ms동안 대기 시간을 주어 시스템의 안정성을 높인다. 데이터 전송 시에는 측정 단위의 소수점 뒤 2자리까지 전송하며, 데이터 패킷의 구조는 표 2와 같다.

Table 2. structure of data packet

Accelerometer Value	Gyroscope Value	Magnetometer Value	End
20 (bit)	27	14	1
Ax, Ay, Az	Gx, Gy, Gz	Mx, My, Mz	\n

앱에서 블루투스 연결 과정은 블루투스 권한을 확인하고 기기가 블루투스를 지원하는지 확인한다. 이후 블루투스가 활성화 되어있는지 확인하고 휴대폰과 페어링 되어 있는 기기를 검색하고 리스트를 만든다. 사용자가 기기를 선택하면 블루투스 소켓을 생성하여 기기와 연결하고 생성된 소켓을 이용하여 데이터를 전송한다.

사용자 또는 개발자들이 DB에 기록된 데이터들의 조회/분석을 비교적 쉽게 하도록 Apache Web Server의 웹 페이지를 통해 데이터들을 시각화했다. 특히 Chart.js API를 사용하여 Degree, Angular Velocity, Acceleration 3개의 그래프를 출력했다. 위치 정보는 카카오 Map API key를 발급받아 사용하였다. 일정 시간마다 지도에 마커를 표시하고 이동 경로를 선으로 나타내었다.

그림 6은 현재 운영 중인 키포드/이륜차에 부착된 장치의 값에 대해 이후 소개될 알고리즘의 판단 결과를 실시간으로 볼 수 있는 페이지이다. 운행 여부, 도로 종류, 장착 위치, 경사, 변속 여부, 장애물 여부 6가지 결과를 표시하며, 새 로고침을 통해 Database에서 6초 전부터 현재까지의 정보를 가져와 Chart.js를 이용해 데이터를 시각화한다.



Fig. 6. Android App demo page

## IV. Measurement Result and Data Analysis

### 4.1 Goal

본 연구에서 분류하고자 하는 목표는 아래의 표 3과 같다. 분류는 대분류(Major Class: STATE/EVENT)와 그에 따른 소분류(Subclass)로 구분된다. 분류하기 위한 대조군(Control Class)는 정상적인 상태로 가장 높은 빈도를 보일 것으로 예상되는 항목을 의미하며, 실험군(Test Class)은 비정상적인 상태로 검출해내고자 하는 항목을 의미한다.

Table 3. Classification List

Major class	Subclass	Control Class	Test Class	
STATE	Driving	Stop	Drive	
	Mounting	Vehicle	Helmet	Hand-held
	Road	Driveway	Guidance	
	Slope	Flat	Upward	Downward
EVENT	Shifting	Constant	Acceleration	Deceleration
	Obstacle	None	Bump	Speed Bump

### 4.2 state Classification

#### 4.2.1 Driving Classification

운행 구분의 경우 Gyroscope(Gyro) / Accelerometer (Accel)의 값을 기준으로 구분할 수 있다. 정지상태의 경우와 운행 중 상태의 경우에서 Gyro와 Accel의 측정값에서 뚜렷한 차이를 보인다. Gyro와 Accel의 값이 변함없는 경우 정지되어 있다고 판단하고 측정값들이 변화가 존재하는 경우 운행 중이라 판단할 수 있다. 모집단의 수를 36개로 하여 표준편차를 구하여 임계치를 0.2로 설정하여 구분하였다.

#### 4.2.2 Mounting Classification

장치의 장착 구분은 차량/헬멧/손으로 이루어지며, 그림 7은 위에서부터 순서대로 1) 주행 장비에 부착되어 있을 때, 2) 헬멧에 부착되어 있을 때, 3) 손에 들고 있을 때 중력(빨간색 화살표)와 측정 디바이스 내 좌표축(파란색 화살표)의 관계를 나타낸 것이다. 장착 구분은 중력 벡터 g와 Gyro의 z방향 벡터 사이의 각도를 통해 판단한다. 그림 7에서 보는 바와 같이 두 벡터 사이의 각도가 160°-200° 사이일 때 디바이스는 차량에 부착되었다고 판단하고 70°-110° 사이일 때 헬멧에 부착되어 있다고 판단하며 그 이외의 각도일 때는 손에 들려있다고 판단한다.

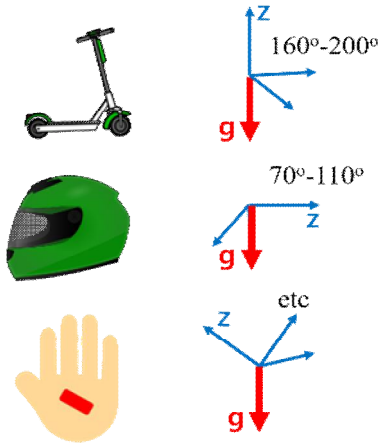


Fig. 7. Device Mount State

4.2.3 Classification of Road Types

도로의 구분은 차도와 인도로 구분한다. 같은 시간동안 차도, 인도를 주행한 데이터를 그림 8과 같이 겹쳐 놓고 분석했을 때 Accel[Z]의 값이 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 인도와 도로의 거칠기를 비교했을 때 인도의 경우가 더 울퉁불퉁하기 때문이라고 추측할 수 있다. Accel[Z] 측정값의 표준편차를 계산하여 도로의 종류를 구분할 수 있다는 가설을 세우고 연구를 진행하였다. 모집단의 개수는 자연시간이 가장 적은 36개의 데이터 이용하여 표준편차를 구하였다.

실험에서 얻은 실 데이터를 위의 기준으로 계산하면 그림 8과 같은 결과가 도출된다. 표준편차 값을 종합적으로 고려할 때 도로의 경우에는 표준편차 값이 0.2이하, 인도의 경우에는 0.2초과로 판단할 수 있다. 그림 8에서 파란색은 도로를 주행한 그래프이며, 빨간 색은 인도를 주행한 그래프이다.

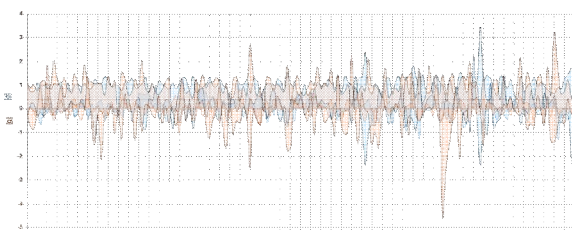


Fig. 8. comparing road and guidance graph

4.2.4 Classification of Road Slope

도로 경사의 경우 아래의 그림 9와 같은 실 데이터를 얻었을 때 degree 값에서 특징을 발견할 수 있다. Degree[X] 데이터는 아래에서 볼 수 있듯 내리막길에서 감소하고 오르막길에서 증가하는 경향을 보인다. 따라서 이 특성을 이용하면 주행 장치가 주행하고 있는 도로가 평지/오르막/내리막 중 어떤 도로인지 판단할 수 있을 것이다.

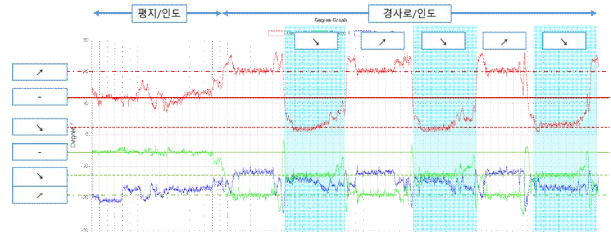


Fig. 9. Measurement Result of slope

이 방법에서 해결해야하는 문제는 측정 장치에 따른 데이터 이동을 해결하는 것이다. 이 현상의 원인은 Calibration 과정에서 발생하는 오류라고 추측할 수 있는데 이는 새로운 Calibration Method를 찾거나, 평지에서 얻은 데이터를 바탕으로 기준을 재설정하는 방법으로 해결할 수 있다.

4.3 Event Classification

4.3.1 Classification of Driving State

변속 구분의 경우 주행 장치의 등속/가속/감속 여부를 판단하는 것이 목적이다. 이를 위해 측정된 데이터를 분석하면 Accel의 차이가 가속/감속에서 불분명한 것을 알 수 있다. 반면 Gyro값을 분석하면 주행 장치가 등속으로 주행하고 있을 때는 Gyro[Z]값이 다른 경우보다 작아 판별이 가능하지만 다른 경우에 가속/감속 여부를 알 수 없다. 결과적으로, Z축 방향 Gyro값이 30이상일 경우 가속/감속 상황이라 판단할 수 있다.

4.3.2 Obstacle Classification

장애물 구분이 경우 장애물의 유무를 감지하고 그 장애물이 턱인지 과속 방지턱인지 구분하는 것이 최종 목적이다. 이를 위해 측정된 데이터를 분석하면 과속방지턱의 경우 역치가 0.5g 이라고 설정할 수 있으며 일반 턱(인도-도로의 경계)의 경우 역치가 1.5g 이상이라고 설정할 수 있다. 그림 10에서 보는 바와 같이 장애물을 지난 구간에서는 Accel[X]의 값이 크게 났던 것을 확인할 수 있다.

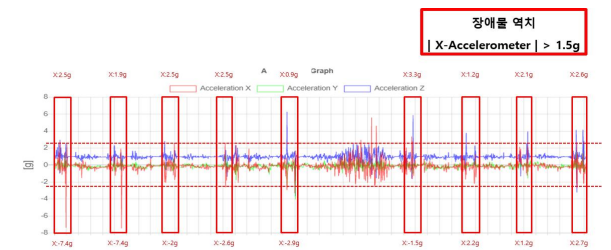


Fig. 10. result of when scooter cross an obstacle

4.4 result estimation

본 연구에서 사용된 분류 알고리즘을 검증하기 위하여 수집한 데이터에 적용하여 예측 값과 데이터의 실제 값을

발생 빈도를 나열하여 분석하는 혼동행렬(Confusion Matrix)을 이용하여 분석하였다. 전체 데이터를 117개로 하여 Drive, Mount, Road, Slope, Shift, Obstacle 등의 자료를 분석했을 때 표 4와 같은 결과를 도출할 수 있었다. 해당 결과를 자세히 분석하면, 운행 여부(92.3%), 디바이스 부착 위치(97.4%), 내리막길(89.7%), 가/감속 여부(82.8%)를 식별해 정확도가 높다고 판단할 수 있다. 하지만 운행 여부에서는 정지 데이터가 없었으며, 이와 반대로 디바이스 부착의 위치의 경우 대부분의 데이터들은 전동 스쿠터에 IMU device를 부착하여 측정이 이루어졌다. 표 5은 표 4에 제시된 평가항목을 계산할 때 사용된 혼동행렬이다. 각 열은 분류기가 예측한 결과이며, 각 행은 정답 데이터의 분류를 의미한다. 표에 적힌 숫자는 예측과 정답에 부합하는 데이터의 개수를 의미한다.

이러한 연유로 Accuracy가 비교적 높게 나온 것으로 분석되기에 Mount의 Precision, True Positive Rate를 위한 데이터를 확보하면 나은 결과를 얻을 수 있으리라 생각된다. Accuracy가 낮은 항목들의 경우도 더 많은 데이터를 수집해 분석을 진행한다면, 수집된 데이터를 참고해 판단 기준을 보완할 수 있고 결과적으로 Accuracy가 높아질 것이라 예상된다.

Table 4. Confusion Matrix Estimation

Class	Target	Accuracy (%)	Precision (%)	True Positive Rate(%)
Drive	Drive	92.3	100	92.3
Mount	Mount	97.4	-	-
Road	Guidance	66.7	70.0	41.2
Slope	Upward	66.7	0.00	0.00
	Downward	89.7	74.1	80.0
Shift	Ac/Dc	83.8	0.00	0.00
Obstacle	Bump	65.0	39.5	53.1
	Speed Bump	59.8	37.7	71.9

Table 5. Confusion Matrix, Total N= 117

Drive classification			Mount classification				Road classification			
Predict Actual	Stop	Drive	Predict Actual	Vehicle	Helmet	Hand	Predict Actual	Driveway	Guidance	
Stop	0	0	Vehicle	114	0	3	Driveway	57	9	
Drive	9	108	Helmet	0	0	0	Guidance	30	21	
			Hand	0	0	0				
Slope classification				Shift classification			Obstacle classification			
Predict Actual	Flat	Up	Down	Predict Actual	Constant	Ac/De	Predict Actual	None	Bump	Speed bump
Flat	54	2	4	Constant	98	16	None	2	17	34
Up	29	0	3	Ac/De	3	0	Bump	11	17	4
Down	4	1	20				Speed bump	0	9	23

State Classification 중 Slope 데이터에서 평지, 내리막 데이터는 비교적 잘 판단하는 모습을 보였다. 오르막은 Precision이 0%로 분류는 수행했지만, 분류 모델이 연구에 의도에 맞지 않았다는 것을 알 수 있다. 표 5의 Slope Confusion Matrix를 살펴보면 대부분의 오르막 데이터가 평지로 판단되었음을 알 수 있으므로, 평지와 오르막을 구분하는 경계값을 basis+5보다 낮은 숫자를 사용하여 조정한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

Event Classification 중 가/감속 데이터는 총 개수가 3개밖에 되지 않아 판단 기준과 수치의 적합성을 평가하기에 미흡하다는 것이 본 연구의 아쉬운 점이다. 또 방지턱, 턱을 감지하기 위해서 구간 내 Max 값을 사용해 판단하였기에 턱 또는 과속 방지턱이 없는 일반적인 주행에서도 감지될 수 있다는 점이 현재 알고리즘의 한계이다.

## V. Conclusion

본 연구 결과를 토대로 여러 개인형 이동수단의 주행 상황을 모니터링 해 이후 운전자의 안전 운행여부를 판단할 수 있고 이 정보를 바탕으로 운전자의 운행 정보를 알 수 있다. 실제로, 데이터의 연산 측면에서 현재 적용되어 있는 영상기반형 모니터링 방식이 분당 약 40Mb/min (HD-1280x720 해상도, 30fps기준) 일 때, 연구에서 진행한 System은 24Kb/min(1회 측정 당 324bit 송신, 10Hz Sampling Rate 기준)의 정보를 사용하기 때문에 서버로의 정보 전송 및 연산이 용이하고, 보다 객관적인 물리값을 얻을 수 있기 때문에 분석에서 강점을 갖는다. 또한 충분한 데이터 셋을 구성한다면, 머신러닝 및 딥러닝 통해

Classification 능력을 향상시킬 수 있을 것이고, Personal Mobility의 자율주행 기술 개발에도 기여를 할 수 있다. RIDI 알고리즘[7]과 본 기술이 병행된다면 실내 측위 및 Event를 실시간으로 판단 가능하기 때문에 관성 항법장치를 기반으로 한 실내 자율주행 기술에 반영될 수 있는 기술이다.

한계점으로는 본 연구는 1~2종류의 개인형 이동수단을 기반으로 진행되었기 때문에 더 넓은 적용을 위해서는 더 많은 질량과 구조를 가진 개인형 이동수단을 이용한 측정이 필요하다. 또한 본 연구에서 Data Set을 얻을 때 측정하지 못했던 주행 상황들에 대해서도 측정을 진행하고, 기존의 공유 모빌리티 기업과 협력해 정보를 수집한다면 더 정교한 분류기를 개발할 수 있다. 이를 통해 더 많은 개인형 이동수단과 환경에서 측정된 방대한 데이터를 수집할 수 있다면 모든 소형 모빌리티에서 사용할 수 있는 일반화된 분류 모델을 빅데이터 분석법을 이용해 도출해낼 수 있다고 기대한다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by 2020 Undergraduate Group Research Program(UGRP) through POSTECH.

## REFERENCES

- [1] García-Vallejo, Daniel & Schiehlen, Werner & Blanco, Alfonso. 'Dynamics, Control and Stability of Motion of Electric Scooters', *Advances in Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks*(books), pp 1199-1209, 2020. DOI:10.1007/978-3-030-38077-9\_139.
- [2] Junho Seo, Jongryul Lee, Jonghyeok Lee, Jaehwan Lim, Hyunsu Nam, Ru Yang, Yonghwan Jeong, Dongkyun Kim, 'Development of Detachable Modules and Android Application for Smart Personal Mobility including Electric transportation', *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp. 567-568, 2020.
- [3] Seijun Chung, Gee Won Shin, Sungho Kim, Myung Hwan Yun, 'A Preliminary Study on Analysis of Personal Mobility Device Rider's Hazardous Situation Awareness and Reaction', *Proceedings of Ergonomics Society of Korea*, pp. 181-182, 2019.
- [4] SONG, Jaeyong, RYU, Ingon, Lee Seunghyeon, CHOI, Keechoo, 'A Study on the User Characteristics and Perception-reaction Time of Personal Mobility', *Proceedings of the KOR-KST Conference*, pp. 288-292, 2019.
- [5] Ravanbakhsh, Hadi & Sankaranarayanan, Sriram. "Learning Control Lyapunov Functions from Counterexamples and Demonstrations.", *Autonomous Robots*. 43. pp.275-307, February, 2019. DOI: 10.1007/s10514-018-9791-9.
- [6] Youngho Lee, Seong-Yun Hong, "A machine learning approach to the prediction of individual travel mode choices" *Journal of the Korean Data And Information Science Society*, vol. 30(5), pp. 1011-1024, 2019.
- [7] Hang Yan, Qi Shan, and Yasutaka Furukawa, "RID: Robust IMU Double Integration", *European Conference on Computer Vision, ECCV-2018*, pp. 641-656, 2018. DOI: 10.1007/978-3-030-01261-8\_38
- [8] JingRong Yu, Meihong Cheng, Dahe Gao, Ying Gu, jiaqi Yu, "A Lyapunov Stability Theory-Based Control Strategy for Three-Level Shunt Active Power Filter", *2016 35th Chinese Control Conference (CCC)*, pp 8683-8687, 2016.
- [9] SangHun Lee, Hwang, Pyung, 'Industrial and Technological Trends of Personal Mobility in Korea and Abroad', *AUTO JOURNAL : Journal of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 37(1), pp. 36-45, 2015.
- [10] Jeomsan Kim, Miyeong Bin, Eungrae Cho, Jeryong Song, Eulsik Kim, Yeongjo Sung, Taegyeong Kim, "Smart Mobility Services: Issue and Policy Implications", *Gyeonggi Research Institute, Policy research*. 2020.
- [11] Korea Internet Self-Governance Organization, ""Shared Electric Kickboard" trends in Korea and their expected effects.", *Korea Internet Self-governance Organization Journal*, Vol 36, pp 31-36, 2019.
- [12] Korea Consumer Agency, 'Investigation on the Safety Status of Personal Mobility', *Safety Report.*, 2018.12.
- [13] Statistics Korea, [https://kostat.go.kr/portal/korea/kor\\_nw/1/12/3/index.board?bmode=download&bSeq=&aSeq=387422&ord=2](https://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/1/12/3/index.board?bmode=download&bSeq=&aSeq=387422&ord=2)
- [14] Nielsen Korean Click, [http://www.koreanlick.com/insights/news/letter\\_view.html?code=topic&id=591&page=2&utm\\_source=board&utm\\_medium=board&utm\\_campaign=topic&utm\\_content=20200925](http://www.koreanlick.com/insights/news/letter_view.html?code=topic&id=591&page=2&utm_source=board&utm_medium=board&utm_campaign=topic&utm_content=20200925)
- [15] KBS news, <https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=4433233>
- [16] Korean Policy Briefing. <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156451125>
- [17] Samsung Traffic Safety Research Institute, [https://cnews.smartfn.co.kr/view.php?ud=202109131556366430c69d936ad8\\_46](https://cnews.smartfn.co.kr/view.php?ud=202109131556366430c69d936ad8_46)

## Authors



Ju-Wan Han is currently in the third grade of Mechanical Engineering at the POSTECH(Pohang University of Science and Technology). He is interested in Machine Learning, XAI(explainable Artificial

Intelligence) and Computer Vision.

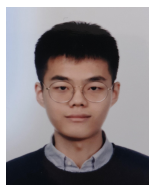


Seong-Hyun Park is currently in the third grade of Computer Science and Engineering at the POSTECH(Pohang University of Science and Technology). He is interested in Machine Learning and Artificial Intelligence.



Chae-Hyeon Sim is currently in the third grade of Electrical Engineering at the POSTECH(Pohang University of Science and Technology). Her research interests include Artificial Internet of Thing(AIoT) and

Control System Engineering.



Ju-Won Whang is currently in the third grade of Computer Science and Engineering at the POSTECH (Pohang University of Science and Technology). He is interested in Computer Vision and Computer audition.