

## Development of a GNSS-Based RTLS/IoT Monitoring Terminal for Autonomous Vehicle and Mobile Object Path Tracking

Sam-Taek Kim\*

\*Professor, School of Software, Woosong University, Daejeon, Korea

### [Abstract]

Currently, there is a need to develop a monitoring transceiver terminal that provides an environment for applying and testing algorithms capable of predicting and inferring the expected movement paths and operation times of various moving objects. In this study, a GNSS-based RTLS/IoT location tracking and monitoring terminal was developed by applying a GNSS-INS integrated module to the hardware, combining GNSS data with inertial sensing and velocity/heading sensor information to deliver precise positioning for vehicles and objects. Utilizing this system enables the development and optimization of algorithms for detecting optimal movement paths, ensuring stable management of moving objects, and handling large volumes of logistics within limited timeframes while enhancing algorithm scalability. Furthermore, the developed terminal can be widely utilized in intelligent mobility applications such as autonomous vehicles, unmanned shuttle buses, taxis (e.g., Uber), and freight transport, as well as in unmanned patrol and exploration vehicles for hazardous areas to ensure human safety. It is also applicable in everyday domains such as unmanned indoor and outdoor cleaning systems.

▶ **Key words:** Autonomous vehicles, intelligent vehicle monitoring, movement path tracking, GNSS, RTLS/IoT

### [요 약]

현재, 다양한 이동체의 이동 예상 경로 및 운행 시간 등을 예측하고 추론할 수 있는 알고리즘을 적용하여 테스트할 수 있는 환경인 모니터링 송수신 단말기 개발이 필요하다.

본 논문에서는 GNSS-INS 통합된 모듈을 H/W에 적용하여 차량 및 사물의 GNSS 정보, 관성 감지 및 속도/방위 센서 정보를 결합하여, 이동체의 정확한 위치를 제공할 수 있는 알고리즘 테스트 및 운영 환경인 GNSS 기반 RTLS/IoT 위치 추적 모니터링 단말기를 개발하였다. 이를 활용하여 이동체의 최적화된 이동 경로 탐지를 통해 안정적인 이동체 관리와 제한된 시간에 많은 물동량 처리를 위한 알고리즘을 개발하고 최적화하며 알고리즘의 확장성을 제고할 수 있다. 또한, 개발된 단말기를 통해 지능형 모빌리티의 자율주행 차량 개발과 무인 셔틀버스, 택시(우버)와 화물 등의 운송산업과 위험지역 무인 순찰 차량 및 탐사 등의 영역에서도 인력의 안전 확보를 위해 다양하게 활용될 수 있으며, 무인 실내외 청소등과 같은 생활 분야에도 적용가능하다.

▶ **주제어:** 자율주행차량, 지능형 차량모니터링, 이동경로추적, GNSS, RTLS/IoT

- 
- First Author: Sam-Taek Kim, Corresponding Author: Sam-Taek Kim
  - \*Sam-Taek Kim (stkim@wsu.ac.kr), School of Software, Woosong University
  - Received: 2025. 09. 12, Revised: 2025. 10. 15, Accepted: 2025. 10. 29.

## I. Introduction

인공지능 기술은 무한한 가능성과 빠른 발전을 통해 다양한 산업에 적용되어 두각을 나타내고 있고, 대표적인 산업 분야는 자율주행차량과 다양한 모빌리티로 이동체의 정확한 포지션을 제공 할 수 있는 위치추적과 예측도 개발 요소로 중요시 되고 있다[1].

자율주행은 다양한 센서를 기반으로 인지, 예측, 판단 및 경로 생성 등의 알고리즘을 이용하여 모빌리티의 이동성을 예측하고 활용하고 있으며, 컨테이너등 화물 물동량의 이동과 예측 위치 추적에서도 적용될 수 있다.

기존에 연구되었던 대부분의 자율주행 차량 관련 연구를 보면 비전을 이용한 자동 조향 시스템에 관한 연구와 목표지점까지 계획된 주행 경로가 주어지면 GPS 위치정보를 주행 경로 오차를 줄이면서 목표지점에 도달하는 자율주행에 관한 연구 등이 있다. 이런 연구의 지원을 위해 다양한 이동체의 추적과 차량 및 사물 이동의 누적된 데이터베이스를 기반으로 이동 예상 경로 및 운행 시간 등을 예측하고 추론할 수 있는 모니터링 송수신 단말기 개발이 필요하다[1-3].

본 논문에서는 차량 및 사물의 GNSS 정보, 관성 감지 및 속도/방위 센서 정보를 결합하여 현재 이동체의 정확한 포지션을 제공할 수 있는 알고리즘을 개발하여 테스트하고 최적화된 알고리즘으로 확장할 수 있는 GNSS 기반 RTLS/IoT 위치 추적 모니터링 단말기를 개발하였다. 이를 활용하여 이동체인 차량 및 사물 뿐만아니라 화물의 이동 경로 탐지를 통해 안정적인 물동량 관리와 제한된 시간에 많은 물동량 처리를 위한 알고리즘을 개발하여 테스트 할 수 있다.

본 논문에서 개발된 단말기는 CAN을 통해 차량 정보수집 시험 환경을 구축하여 시험하였고, 약 5시간의 MMI를 통해 수집한 CAN 로우 데이터 로그와 서버에 누적된 주기적 데이터를 비교하여 100% 정확도를 확인하였으며, 이를 통해 타 단말기에 비해 전송 속도와 정확도가 높다고 판단할 수 있다.

본 논문의 구성은, 2장에서는 관련 연구와 3장에서는 GNSS기반 RTLS/IoT 모니터링 단말기 설계 및 개발 결과를 소개하고 4장에서는 테스트 결과와, 5장에서 결론을 도출하였다.

## II. Preliminaries

### 1. Overview of GNSS

현재 자율주행 분야에서는 무인 운송 수단 및 ICT와 운송 수단을 연결하여 인터넷 접속과 모바일 서비스 등이 가능한 커넥티드 운송 수단의 개발이 진행되고 있는 시점이다.

GNSS는 크게 위성, 지상의 제어국, 사용자로 구성되어 있다. 지상 제어국의 수신장치에서 고도 약 20,000km 중궤도에 위치해 있는 인공위성에서 신호를 받아 100m 이내의 위치정보를 알아낼 수 있는 것이 GNSS의 기본 원리이다. 또한 위성의 위치와 위성시계, 전리층모델, 위성궤도변수, 위성상태 등의 항법정보가 있다면 현재 사용자의 위치를 파악할 수 있다. 즉 위성에서 보내는 신호가 수신기에 도달하기까지 걸리는 시간을 측정해서 위성고 수신기 사이의 거리를 구하고, 사용자의 현재 위치를 계산할 수 있는 것이다[4-6].

GNSS를 기반으로한 차량 및 이동체 위치 파악 기술은 GNSS 음영 지역에서도 차량의 속도 및 방향에 기반한 위치 추적 기술이다.

다음 Fig.1은 GNSS 수신기의 위치 결정에 대한 이상적인 상황에서는, GNSS 수신기가 계산한 위성 신호의 전파 시간은 수신기와 위성 간의 실제 거리와 일치하며, 수신기의 위치는 원(3차원에서는 구)의 교차점으로 결정된다. 그러나 거리 추정치의 오차로 인해 단일 교차점은 존재하지 않고, 대신 수신기의 가능한 위치를 나타내는 교차영역이 형성된다[7].

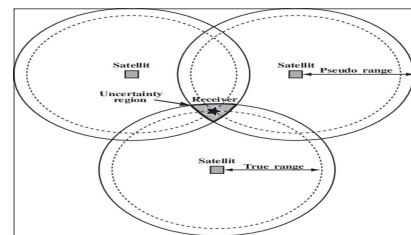


Fig. 1. Concept of Positioning with a GNSS Receiver

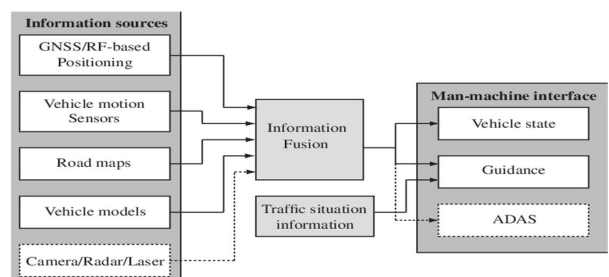


Fig. 2. Conceptual Information Flow for In-Car Navigation Systems

위 Fig. 2는 RTLS/IoT 모니터링 단말기를 설계할 때 참고할 수 있는, 차량 내 내비게이션 시스템을 위한 이용 가능한 정보원과 정보 흐름에 대한 개념적 설명이다. 점선으로 표시된 블록은 일반적으로 현재의 차량 내 내비게이션 시스템에는 포함되지 않지만, 차세대 차량 내 내비게이션 시스템 및 첨단 운전자 지원 시스템(ADAS)에서는 주요 구성 요소가 될 가능성이 높다.

## 2. Application of Sensor Fusion Algorithms

칼만 필터는 여러 센서로부터 얻은 정보를 예측과 갱신 단계를 거쳐 결합함으로써, 더 정확하고 안정적인 상태 추정을 가능하게 하는 알고리즘이다. 본 논문에서 개발된 단말기를 사용하는 알고리즘 개발 시 칼만 필터를 적용한다면 GNSS 정보, 관성 감지 및 속도/방위 센서 정보의 데이터를 결합할 수 있다. 다음과 같이 빠르면서도 정확한 위치 예측 단계는 이전 시점의 상태와 입력 데이터를 기반으로 현재 상태를 예측할 수 있다.

$$\hat{x}_k|_{k-1} = F\hat{x}_{k-1}|_{k-1} + Bu_k$$

$$P_k|_{k-1} = F P_{k-1}|_{k-1} F^T + Q$$

여기서 F는 상태 전이 행렬, B는 제어 입력 행렬, Q는 프로세스 노이즈 공분산을 의미한다.

갱신단계에서는 센서로부터 실제 측정값을 받아 예측값을 보정한다.

$$K_k = P_k|_{k-1} H^T (H P_k|_{k-1} H^T + R)^{-1}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k|_{k-1} + K_k (z_k - H\hat{x}_k|_{k-1})$$

$$P_k = (I - K_k H) P_k|_{k-1}$$

여기서 H는 측정 행렬, R은 측정 노이즈 공분산,  $K_k$ 는 칼만 이득을 의미한다[7].

## III. RTLS/IoT Monitoring Terminal for Movement Path Tracking

### 1. Design of an RTLS/IoT Monitoring Terminal

RTLS/IoT 모니터링 단말기는 GNSS-INS 통합된 모듈을 H/W에 적용하여 차량 및 사물의 GNSS 정보, 관성 감지 및 속도/방위 센서 정보를 결합하여 현재 대상체의 정확한 포지션을 제공할 수 있도록 설계 한다. 또한, GNSS의 신호수신이 중단된 경우 센서정보를 활용하여 차량 및 사물의 포지션을 계산할 수 있고, GNSS 신호는 센서 드리프트(Drift) 상황에 대한 업데이트 및 수정, 가능하도록 설

계하였다.

차량 및 화물 자율주행차의 위치추적 알고리즘을 적용한 단말기 주요 기능은 GNSS 및 추측 항법(DR, Dead Reckoning)을 이용하여 위치 자동 전송 기능과 CAN I/F 채용하여 차량 내 정보 수집, 시간, 장소 및 이동경로 등 추적 및 학습이다. 또한, 와이파이 망 인터페이스를 통해 정보를 전달하고, 운행 위치에 따른 기후 환경적인 요인을 감안하여, 내진성/내구성/내습성 등의 조건을 만족하도록 단말기 형태 및 내부를 구성하였다[8-10].

단말기 펌웨어는 여러 상황에 대한 대처가 가능하도록 구성하였고, IoT 환경에서 데이터 수집에 용이하도록 산업용 표준인 PLC 인터페이스 (Modbus/TCP) MQTT 프로토콜 등을 채용하였다.

### 2. Design of a Vehicle Location Tracking System

GNSS 기반의 차량 위치 파악 기술과 음영 지역에서도 차량의 속도 및 방향에 기반한 위치를 추적하는 기술을 기반으로, 차량 및 사물의 GNSS 정보, 관성 감지 및 속도/방위 센서 정보를 결합하여 현재 이동체의 정확한 포지션을 제공할 수 있는 알고리즘을 적용할 수 있도록 개발하였다. 또한, GNSS의 신호수신이 중단된 경우 센서정보를 활용하여 차량 및 사물의 포지션을 계산할 수 있고, GNSS 신호는 센서 드리프트 상황에 대한 업데이트 및 수정이 가능하도록 개발하였다[11-15].

### 3. Development of an RTLS/IoT Monitoring Terminal

#### 3.1 Firmware Source Design

단말기의 동작 변경이나 프로토콜의 확장이 필요한 경우에 원격으로 펌웨어를 다운로드하고 자동으로 업데이트를 할 수 있는 OTA 펌웨어 업데이트 기능을 개발하였다. 이때 단말기의 안정적인 동작을 위하여 펌웨어는 듀얼 부팅이 가능하도록 하여 업데이트 도중에 실패가 발생하더라도 단말기의 동작이 멈추는 상황을 회피할 수 있다.

#### 3.2 MMI - Addition of Serial Log Reception and Mass Production Test Functions

MMI PC 프로그램은 시리얼 인터페이스를 통해 단말기로부터 로그를 수집하고 분석한다. 주요 로그에는 단말기의 위치 및 교정 정보, 와이파이 연결 정보, 단말기와 연결된 모니터링 대상의 각종 상태 정보 등이 포함된다. 로그는 따로 파일로 저장할 수 있으며 위치 정보 만을 추출하여 단말기의 트래킹 정보로 활용할 수 있다.

MMI PC 프로그램의 또다른 주요 기능 중의 하나는 단말기 양산 라인에서 단말기의 초기 동작 점검을 할 수 있다. 단말기 초기화와 함께 기본 동작이 잘 되는지 확인하고 불량 발생 시에는 알람을 표시한다.

### 3.3 RTLS/IoT Terminal Bootloader Workflow Diagram

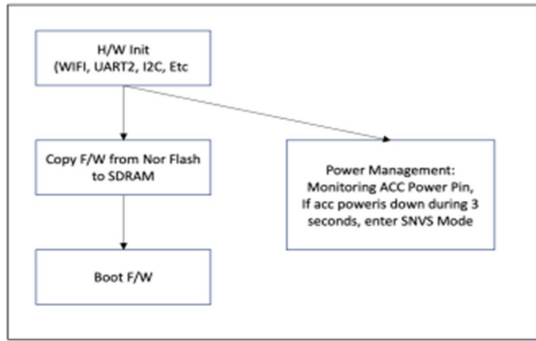


Fig. 3. Bootloader Workflow Diagram

위 Fig. 3은 부트로더는 단말기의 각종 I/O 장치 초기화를 실행한 후에, NOR 플래시의 펌웨어를 SDRAM으로 복사하고 해당 펌웨어를 실행하도록 한다. 이때 단말기가 전원 오프 스위치가 검출되는 경우에는 부팅 절차를 생략하고 곧바로 전원 오프 상태로 진입하여 단말기의 안정성을 확보하도록 한다.

## 4. RTLS/IoT Terminal Task Execution

### 4.1 RTLS/IoT Terminal Device Initialization Sequence

아래 Fig. 4의 펌웨어는 각종 디바이스를 초기화하는데 이 펌웨어 RTOS에서 해당 디바이스를 제어할 수 있도록 해준다. 전원, LED, 시리얼, MMI 프로그램 연결, 메모리 검증, 이더넷/와이파이/GNSS 등의 I/O 장치를 초기화하며 최종적으로는 FRAM에 저장된 최종 정보를 바탕으로 펌웨어의 초기 동작을 결정한다.

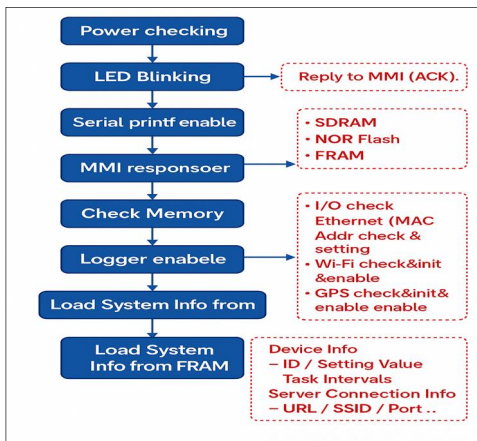


Fig. 4. Device Initialization Sequence

### 4.2 RTLS/IoT Terminal Task Execution Sequence

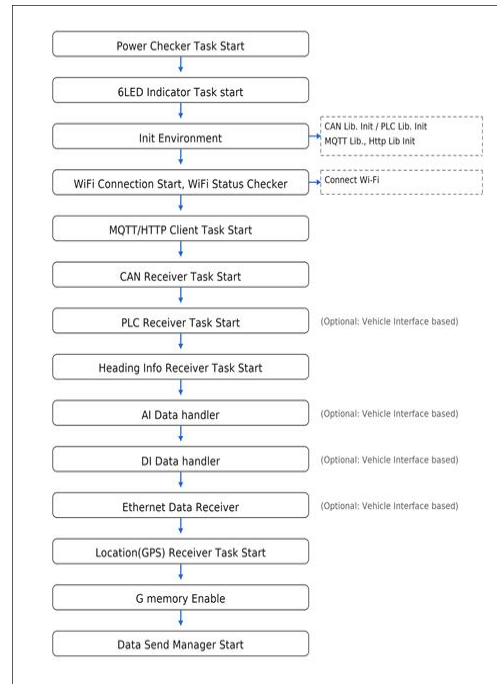


Fig. 5. Task Execution Sequence

위 그림 Fig. 5와 같이 펌웨어의 각종 기능은 해당 태스크가 독립적으로 수행하며, 서로 간의 통신은 공유 메모리를 통하여 이루어진다. 태스크의 종류에는 전원 제어, LED 표출, CAN/와이파이/이더넷, 통신, PLC 통신, 아날로그 및 디지털 I/O 담당, GNSS 위치 정보 관리 및 서버와의 프로토콜을 주고받는 프로토콜 태스크가 있다. 각 태스크는 우선순위를 가지며, 가장 높은 우선순위를 갖는 전원관리 태스크가 주기적으로 시스템의 상태를 점검하도록 하였다. 공유 메모리에 대한 접근은 세마포어를 통해 보호되며 이 공유메모리에는 현재 단말기의 최신 상태 정보를 유지함으로써 서버 프로토콜 태스크가 상태 정보를 수집할 수 있도록 한다.

### 4.3 RTLS/IoT Terminal Data Collection and Transmission

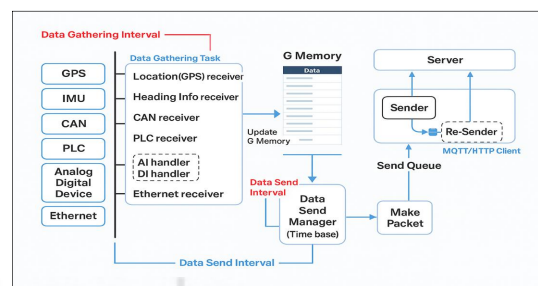


Fig. 6. Data Acquisition and Transmission Design

위 그림 Fig. 6에서 데이터 수집 대상에는 현재 위치 정보를 포함하여 차량의 회전 정보, CAN을 통한 차량 내 주행 정보, OPC-UA/MODBUS-TCP 등의 PLC 인터페이스를 통한 모니터링 대상의 상태 정보, 아날로그 및 디지털 입력에 대한 정보 등이 포함된다. 이들 정보는 모두 아래에서 설명할 공유메모리에 저장된다. 각 태스크는 자신이 수집한 정보를 독립적으로 공유 메모리에 저장하며, 프로토콜 태스크가 이를 접근하여 서버 전송 패킷을 구성하도록 한다.

#### 4.4 RTLS/IoT Terminal Shared Memory

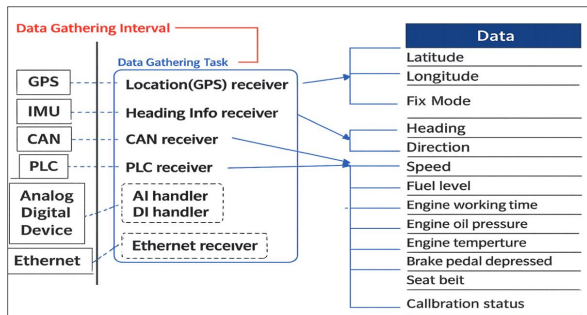


Fig. 7. Shared Memory Architecture Design

Fig. 7과 같이 단말기가 관리하는 공유 메모리 데이터의 종류를 다시 세분하면 단말기의 위/경도 정보, 위치 교정 플래그, 차량의 진행 방향 및 전후진 정보, 차량의 속도/연료 잔량/총 주행거리/연료 압력/브레이크 페달 상태 정보/의자 벨트 정보/타이어 압력 정보 등이 포함된다. 이들 데이터는 세마포어에 의해 보호되어 여러 태스크에 의한 동시 읽기/쓰기 적합성이 보장된다.

#### 4.5 RTLS/IoT Terminal Device Status Indication Using LEDs

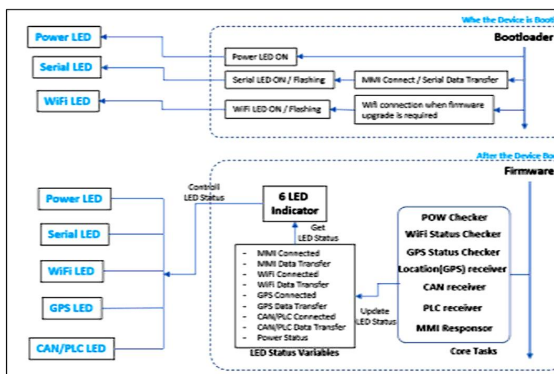


Fig. 8. Device Status Indication Diagram Using LED

위 그림 Fig. 8에서와 같이 단말기의 상태 정보를 LED를 통해서 표출하는데, LED는 정상 상태와 에러 상태에 따라 색깔과 깜박임 주기를 변화시킨다. 전원, 시리얼 디바이스 연결 및 통신 상태, 와이파이 연결 및 통신 상태, GNSS 데이터 수신 상태, CAN/PLC 연결 및 통신 상태를 6개의 LED를 통해 표출하도록 하였다.

### 5. RTLS/IoT Monitoring Terminal Fabrication and Assembly Completion



Fig. 9. Internal Diagram of RTLS/IoT Monitoring Terminal



Fig. 10. External View of RTLS/IoT Monitoring Terminal

위의 그림 Fig. 9, 10과 같이 RTLS/IoT 모니터링 시스템의 시제품은 펌웨어의 기능이 제대로 동작하는지와 개발한 알고리즘의 유효성 여부를 판단하기 위하여 제작하였으며, 실제 현장에 적용하여 테스트를 진행하였다. 시제품 목적은 LED와 외장 안테나를 채용하였으며, 차량 내 장착으로 고려하여 내구성과 방수에 대한 내성을 갖도록 하였다.

## IV. RTLS/IoT Monitoring Terminal Testing

### 1. Test Environment for Vehicle Data Collection via CAN

CAN을 통해 수집된 차량/이동체 정보는 1초에 한 번씩 서버로 전송된다. RTLS/IoT 모니터링 단말기가 전송한

패킷 수와 서버가 수신한 패킷 수를 비교하여 패킷 전송률 및 데이터 유효성이 99% 이상인지 확인한다.

### 2. Test Sequence

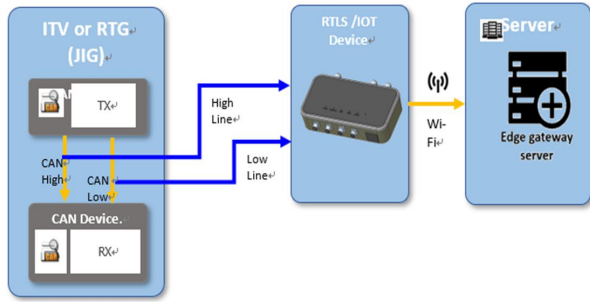


Fig. 11. Test Sequence for RTLS/IoT Monitoring Device

Fig. 11에서와 같이 장비에 ITV 펌웨어를 설치하고, Terburg can DB를 필터링 할 수 있도록 세팅하고 CAN JIG 장비에 Terburg can DB를 적용하여 임의의 데이터를 송신하도록 세팅한다.

Table. 1. Data Table Received According to Test Items

ID	내용	Data	Freq
CFE6CEE	TCO1 (Forward / Reverse)	52 00 00 00 FF FF FF FF	
18FEE500	Engine working time	23 14 00 00 BA 35 00 00	
18FEFC28	Fuel Level	FF 43 FF FF FF FF FF FF	
18FEEE00	Engine Coolant temperature	78 6E 3E 2C F8 FF FF FF	
18FD7D00	Seat Belt	F3 BB 88 88 8B 88 88 88	
18FEF128	Brake Pedal pressed	FF 00 00 FF FF FF FF FF	

또한, 장비에 ITV 펌웨어를 설치하고, Terburg can DB를 필터링 할 수 있도록 세팅하고 CAN JIG 장비에 Terburg CAN DB를 적용하여 임의의 데이터를 송신하도록 세팅한다.

위의 Table. 1은 테스트 항목에 따라 수집된 데이터이다.

### 3. Evaluation Criteria

각 데이터들에 대해서 적용된 공식에 따라 실제 데이터가 주기적 데이터의 각 필드에 정확하게 반영되었는지 서버의 로그와 비교하여 정확도를 측정한다.

### 4. Test Results

약 5시간의 MMI 를 통해 수집한 CAN 로우 데이터 로그와 서버에 누적된 주기적 데이터를 비교하여 본 결과

100% 정확도를 만족시켰다. 그 데이터는 다음 Fig. 12와 같다.

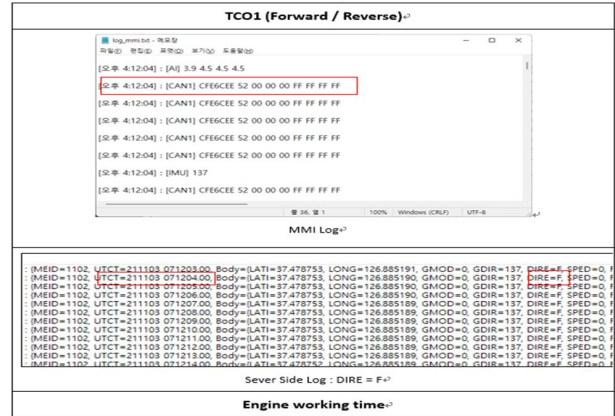


Fig. 12. Test Results Data of RTLS/IoT Monitoring Device

## V. Conclusions

현재 자율주행 분야에서는 무인 운송 수단 및 ICT와 운송 수단을 연결하여 인터넷 접속과 모바일 서비스 등이 가능한 커넥티드 운송 수단의 개발이 진행되고 있다.

본 논문에서는 차량 및 사물의 이동 경로 추적과 누적된 데이터 베이스를 기반으로 이동 예상 이동 경로 및 운행 시간 등의 예측 및 추론에 관한 알고리즘을 개발하여 테스트하고 이를 적용하여 사물체 이동 경로를 추적 할 수 있는 플랫폼인 GNSS기반 RTLS/IoT 모니터링 단말기를 개발하였다.

개발된 모니터링 단말기 테스트를 위해 CAN을 통해 차량 정보수집 시험 환경을 구축하여 시험하였고, 약 5시간의 MMI 를 통해 수집한 CAN 로우 데이터 로그와 서버에 누적된 주기적 데이터를 비교하여 본 결과 100% 정확도를 만족시켰다.

본 논문에서 개발한 GNSS 단말기를 통해 운전자의 조작이 없이 미리 정해진 경로를 따라 주행 가능한 자율주행 차량 개발에서 무인 셔틀버스, 택시(우버) 및 화물 등의 운송 산업 외에도 위험지역 무인 순찰 차량 및 탐사 등의 영역에서 인력의 안전 확보를 위해 다양하게 활용될 수 있다.

앞으로는, 본 논문에서는 구현된 RTLS/IoT 모니터링 단말기를 활용하여 자율주행 차량 및 이동체 경로를 효과적으로 추적할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이를 이용한 성능평가를 수행하지 못하였다.

다음 연구에서는 이러한 한계점을 극복하기 위해 본 논문에서 개발된 단말기를 활용하여 이동체를 위한 최적의

알고리즘 개발 및 학습 알고리즘 확장성을 제고하여야 할 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research is based support of 2025 Woosong University Academic Research Funding.

## REFERENCES

- [1] Rashid, Md. Mamunur, et al. "Real-Time GPS Tracking System for IoT-Enabled Connected Vehicles." *E3S Web of Conferences (ICIES'11 2023)*, vol. 412, 2023, p. 01095. EDP Sciences, DOI:10.1051/e3sconf/202341201095.
- [2] Islam, Md. Ashrafur, et al. "Cost-Effective and User-Friendly Vehicle Tracking System Using GPS and GSM Technology Based on IoT." *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 28, no. 3, 2022, pp. 1826-1833. Institute of Advanced Engineering and Science, DOI:10.11591/ijeecs.v28.i3.pp1826-1833.
- [3] Sari, Rini, et al. "Vehicle Tracker System Design Based on GSM and GPS Interface Using Arduino as Platform." *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 23, no. 1, 2021, pp. 258-264. Institute of Advanced Engineering and Science, DOI:10.11591/ijeecs.v23.i1.pp258-264.
- [4] Kumar, Ramesh, et al. "IOT Based Vehicle Tracking and Monitoring System Using GPS and GSM." *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, vol. 8, no. 2S11, 2019, pp. 123-127. Blue Eyes Intelligence Engineering and Sciences, DOI:10.35940/ijrte.B1275.0982S1119.
- [5] Choudhury, Pradip Kumar, et al. "SMS Enabled Smart Vehicle Tracking Using GPS and GSM Technologies: A Cost-Effective Approach." *Smart Systems and IoT: Innovations in Computing*, vol. 141, Springer, 2019, pp. 65-77, DOI:10.1007/978-981-13-8406-6\_6.
- [6] Zhang, Geng, et al. "A Low-Cost Civil Vehicular Seamless Navigation Technology Based on Enhanced RISS/GPS Between the Outdoors and an Underground Garage." *Electronics*, vol. 9, no. 1, 2020, p. 120. MDPI, DOI:10.3390/electronics9010120.
- [7] Farag, W. "Real-Time Autonomous Vehicle Localization Based on Particle and Unscented Kalman Filters." *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 2021. DOI:10.1007/s40313-020-00666-w.
- [8] Jeon, Jinhwan, et al. "Lane Detection Aided Online Dead Reckoning for GNSS-Denied Environments." *Sensors*, vol. 21, no. 20, 2021, p. 6805. MDPI, DOI:10.3390/s21206805.
- [9] Bevely, David M., et al. "A Wheel-Mounted MEMS IMU-Based Dead Reckoning System." *arXiv*, 2019, DOI:10.48550/arXiv.1912.07805.
- [10] Zhao, Xiangwei, et al. "Learning Attitude and Velocity for Vehicular Dead-Reckoning Using Smartphone IMU." *Satellite Navigation*, 2025, DOI:10.1186/s43020-025-00168-7.
- [11] Zhang, Geng, et al. "A Low-Cost Civil Vehicular Seamless Navigation Technology Based on Enhanced RISS/GPS Between the Outdoors and an Underground Garage." *Electronics*, vol. 9, no. 1, 2020, p. 120. MDPI, DOI:10.3390/electronics9010120.
- [12] Jhin, Eun-Hwan, et al. "Multi-Sensor Integrated Navigation/Positioning Systems Using Data Fusion: From Analytics-Based to Learning-Based Approaches." *Information Fusion*, vol. 91, 2023, pp. 287-302. Elsevier, DOI:10.1016/j.inffus.2023.01.025.
- [13] Saha, Sujun Kumar, et al. "IoT-Based Vehicle Tracking System for Khulna University." *Khulna University Studies, Special Issue (ICSTEM4IR)*, 2022, pp. 234-242. Khulna University, DOI:10.53808/KUS.2022.ICSTEM4IR.0234-se.
- [14] Patel, Ketan, et al. "GPS and GSM Based Vehicle Tracking System." *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, vol. 3, no. 6, 2019, pp. 1578-1582, DOI:org/10.31142/ijtsrd23718.
- [15] Zhang, Fengyun, Li Yang, Yuhuan Liu, Yulong Ding, Shuang-Hua Yang, and Hao Li. "Design and Implementation of Real-Time Localization System (RTLS) Based on UWB and TDoA Algorithm." *arXiv*, Dec. 2021, DOI:abs/2112.04839..

## Authors



Sam-Taek Kim received his master's and doctoral degrees from Chung-Ang University in 1987 and 2005 from the Department of Computer Science and Engineering at Chung-Ang University.

Dr. Kim joined the faculty of the School of Software at Woosong University, Daejeon, Korea, in 1995. He is currently a Professor in School of Information Technology Convergence at Woosong University. He is interested in mobile computing, IoT, Big Data and cloud computing.